

Suvi Ollikainen

# **BETONI- JA TIILIJÄTTEEN HYÖDYNTÄMINEN SÄHKÖASEMIEN MAARAKENTAMISESSA**

Diplomityö  
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta  
Tarkastaja: Professori Jukka Rintala  
Tarkastaja: Yliopisto-opettaja Hannele Auvinen  
Kesäkuu 2021

# TIIVISTELMÄ

Suvi Ollikainen: Betoni- ja tiilijätteen hyödyntäminen sähköasemien maarakentamisessa  
Diplomityö  
Tampereen yliopisto  
Ympäristö- ja energiatekniikan DI-tutkinto-ohjelma  
Kesäkuu 2021

---

Yhdyskuntien rakentaminen tuottaa noin 25 % maailman hiilidioksidipäästöistä ja suuria määriä jätettä vuosittain. Rakentaminen myös kuluttaa luonnonkiviaineita, jotka ovat uusiutumattomia luonnonvaroja. Tietyillä jätelajeilla, kuten betoni- ja tiilimurskeella pystytään korvaamaan luonnonkiviaineita esimerkiksi väylien, kenttien sekä teollisuus- ja varastorakennusten pohjarakenteissa. Betonimurske vastaa monilta ominaisuuksiltaan luonnonkiviainesta ja sen kuormituskestävyys on jopa parempi, kuin luonnonkiven. Lisäksi betonimurske toimii hiilinieluna sitoen itseensä ilmakehän hiilidioksidia.

Tässä diplomityössä tutkittiin Suomen kantaverkkoyhtiö Fingrid Oyj:n sähköasemien perusrannushankkeiden yhteydessä syntyvän purkubetoni- ja tiilijätteen hyödyntämistä maarakentamisessa. Työn tavoitteina oli selvittää purkubetonijätteen hyödyntämisen kannattavuus kasvihuonekaasupäästöjen ja kustannusten osalta, sekä tutkia jätteen hyödyntämiseen vaadittavan viranomaisluvan hakemista. Päästö- ja kustannuslaskenta suoritettiin tapaustarkasteluna kahdeksalle jo toteutuneelle sähköasemahankkeelle. Laskennassa vertailtiin betonimurskeen ja luonnonkiviaineksen käytöstä aiheutuvia kasvihuonekaasupäästöjä ja kustannuksia. Jätteen hyödyntämiseen vaadittavan viranomaisluvan hakemista tarkasteltiin kirjallisuustutkimuksena. Lisäksi mennettelytavan valintaa varten luotiin prosessikaavio, joka liitettiin osaksi sähköasemasuunnittelua ja -rakentamista.

Työssä laaditut laskelmat osoittavat, että betonimurskeen hyödyntäminen maarakentamisessa voi vähentää merkittävästi sähköasemahankkeiden kasvihuonekaasupäästöjä ja kustannuksia. Lisäksi betonimurskeen hyödyntäminen vähentää luonnonkiviaineksen tarvetta ja täten edistää luonnonvarojen kestävästä käytöstä sekä kiertotaloutta. Suurimmat hyödyt päästöjen ja kustannusten kannalta saavutetaan hankkeissa, joissa purkubetonia syntyy yli 500 tonnia. Purkubetonia ei kuitenkaan aina voida hyödyntää murskeena, esimerkiksi betonin sisältämien haitta-aineiden tai maarakennuskohteen sijainnin, kuten pohjavesialueen takia. Tällöin päästöjä ja kustannuksia voidaan minimoida lyhentämällä purkubetonin ja luonnonkiviaineksen kuljetusmatkoja.

Betonimurskeen hyödyntämistä varten tarvitaan aina viranomaislupa. Lupaa voidaan hakea MARA-asetuksen (VNa 843/2017) rekisteröinti-ilmoituksella, ympäristöluvalla ja kunnan ympäristönsuojeluviranomaisen myöntämällä jätteen pienimuotoisen hyödyntämisen luvalla. Lupamenettelyn määräytymistä ohjaa hyödynnettävän betonimurskeen määrä ja ominaisuudet sekä maarakennuskohteen ominaisuudet.

Avainsanat: Betoni- ja tiilijäte, betonimurske päästölaskenta, kustannuslaskenta, maarakentaminen, sähköasema

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

# ABSTRACT

Suvi Ollikainen: Utilization of concrete and brick waste in earthworks of substations  
Master of Science Thesis  
Tampere University  
Master's degree in Environmental and Energy Engineering, MSc (Tech)  
June 2021

---

Construction activities produce about 25 % of the world's carbon dioxide emissions and large amounts of waste each year. They also consume natural aggregates which are non-renewable resources. Certain types of waste, such as crushed concrete and brick aggregates can replace natural aggregates in earthworks, for example in structural layers of roadways, fields, and industrial buildings. Crushed concrete aggregate corresponds natural aggregate by its characteristics and its load-bearing capacity is even better than natural stone's. In addition, crushed concrete aggregate acts as a carbon sink by sequestering carbon dioxide from the atmosphere.

This master's thesis was conducted to Finland's transmission system operator, Fingrid Oyj. There was studied utilization of concrete and brick demolition waste generated in renovation projects of substations. Objectives of this study were to determine greenhouse gas (GHG) emissions and costs related to use of demolition concrete and brick waste in earthworks, and to examine the application process of an authority permit required for the use of waste materials in earthworks. Emission and cost calculations were performed as a case study for eight substation projects which had been completed between 2017 and 2019. In the calculations, there were compared GHG emissions and costs from the use of crushed concrete aggregates and natural aggregates. The application process of an authority permit for recovery of waste material was examined as a literature study. In addition, a flow chart for the selection procedure of authority permit was created and integrated into the substation design and construction.

Results from the calculations show that use of crushed concrete aggregate in earthworks can significantly reduce the GHG emissions and costs of substation projects. In addition, utilization of crushed concrete aggregate reduces the need for natural aggregates and, thus promotes the sustainable use of non-renewable resources as well as circular economy. The greatest benefits in term of GHG emissions and costs are achieved in projects with more than 500 tonnes of demolition concrete. However, demolition concrete cannot always be utilized as crushed concrete aggregate, for example due to contaminants in the concrete or the location of the earth construction site, such as a groundwater area. In this case, emissions and costs can be minimized by reducing the transporting distances of demolition concrete and natural aggregates.

The use of crushed concrete aggregate always requires a permit from authorities. The permit can be applied via registration notification under the Government Decree on the Recovery of Certain Wastes in Earth Construction (843/2017), via an environmental permit and via a permit for small-scale recovery of waste issued by the municipal environmental protection authority. Selection of the correct permit procedure is guided by the amount and properties of the crushed concrete aggregate to be utilized and the properties of the earth construction site.

Keywords: Concrete and brick waste, crushed concrete aggregate, calculation of greenhouse gas emissions, cost accounting, earthworks, substations

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

# ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Tampereen yliopistolla Suomen kantaverkkoyhtiö Fingrid Oyj:n toimeksiantona. Haluan kiittää Fingridiä mahdollisuudesta työskennellä mielenkiintoisen ja ajankohtaisen aiheen parissa. Erityiskiitokset ohjaajalleni Fingridin Maija Nurmelle aiheen ideoinnista ja avusta työn toteutuksen kanssa. Kiitokset kuuluvat myös Tampereen yliopiston ohjaajilleni, professori Jukka Rintalalle ja yliopisto-opettaja Hannele Auviselle työn kommentoinnista ja kehittävästä ideoista.

Tampereella, 21.6.2021

Suvi Ollikainen

# SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO .....	1
1.1	Työn tausta.....	1
1.2	Työn tavoitteet.....	2
2.	SÄHKÖASEMA.....	4
2.1	Sähköasema osana Suomen sähköjärjestelmää .....	4
2.2	Sähköaseman rakenteet.....	6
2.2.1	Kytkinkentän perustukset.....	7
2.2.2	Muuntajan suojabunkkeri .....	8
2.2.3	Valvomorakennus .....	9
2.3	Sähköasemien perusparannushankkeet.....	10
3.	BETONI- JA TIILIMURSKE MAARAKENNUSMATERIAALINA .....	12
3.1	Betoni.....	12
3.2	Tiili.....	14
3.3	Betoni- ja tiilimurskeen ympäristövaikutukset.....	15
3.4	Betoni- ja tiilimurskeen valmistus purkutyömaalla .....	16
3.4.1	Haitta-ainetutkimukset ja lajitteleva purku .....	17
3.4.2	Betonijätteen murskaus.....	19
3.4.3	Murskeen laadunvarmistus .....	21
4.	JÄTTEEN HYÖDYNTÄMISEEN LIITTYVÄ LAINSÄÄDÄNTÖ .....	22
4.1	Jätelainsäädäntö .....	22
4.2	Ympäristönsuojelulaki.....	23
4.3	MARA-asetus .....	24
4.4	CE-merkintä .....	25
4.5	Jätteeksi luokittelun päättyminen (EoW –menettely) .....	26
5.	BETONI- JA TIILIJÄTTEEN HYÖDYNTÄMISEEN TARVITTAVA VIRANOMAISLUPA .....	27
5.1	Kunnan ympäristönsuojeluviranomaisen myöntämä jätteen pienimuotoisen hyödyntämisen lupa.....	27
5.2	MARA-asetuksen rekisteröinti-ilmoitus.....	28
5.3	Ympäristölupa.....	29
5.4	Yhteenveto lupamenettelystä.....	31
6.	AINEISTO JA MENETELMÄT .....	33

6.1	Tarkasteltavat sähköasemahankkeet.....	33
6.2	Sähköasemahankkeiden kasvihuonekaasupäästöjen laskenta.....	38
6.2.1	Lähtötiedot.....	38
6.2.2	Kuljetukset, lastaukset ja murskeiden valmistus.....	42
6.3	Sähköasemahankkeiden kustannuslaskenta .....	44
7.	TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU .....	45
7.1	Sähköasemahankkeiden kasvihuonekaasupäästöt.....	45
7.2	Sähköasemahankkeiden kustannukset.....	49
7.3	Yhteenveto tuloksista.....	53
8.	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	56
	LÄHTEET .....	58
	LIITE A: MARA-ASETUKSEN HAITALLISTEN AINEIDEN RAJA-ARVOT	

## LYHENTEET JA MERKINNÄT

AIS	air insulated switchgear, ilmaeristetty kytkinlaitteisto
CaCO <sub>3</sub>	kalsiumkarbonaatti, kalkkikivi
CaO	kalsiumoksidi
CE	ransk. Conformité Européenne
CH <sub>4</sub>	metaani
CO <sub>2</sub>	hiilidioksidi
CO <sub>2</sub> ekv.	hiilidioksidiekvivalentti
ELY	Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus
EoW	End of Waste, jätteeksi luokittelun päättyminen
GIS	gas insulated switchgear, kaasueristetty kytkinlaitteisto
kV	kilovoltti
LIPASTO	Suomen liikenteen pakokaasupäästöjen ja energiankulutuksen las- kentatietojärjestelmä
MARA	Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maara- kentamisessa (843/2017)
MPa	megapascal
N <sub>2</sub> O	typpioksiduuli
PAH	polysykliset aromaattiset hiilivedyt
PCB	polyklooratut bifenyylit
SF <sub>6</sub>	rikkiheksafluoridi
SFS	Suomen standardisoimisliitto
SYKE	Suomen ympäristökeskus
VNa	Valtioneuvoston asetus
VTT	Teknologian tutkimuskeskus
YSL	Ympäristönsuojelulaki (527/2014)

# 1. JOHDANTO

## 1.1 Työn tausta

Ilmastonmuutos, luonnonvarojen ylikulutus ja luonnon monimuotoisuuden köyhtyminen ovat ihmiskunnan suurimpia ongelmia 2020-luvulla. Yhdyskuntien rakentaminen tuottaa noin 25 % maailman hiilidioksidipäästöistä ja suuria määriä jätettä vuosittain (Dettenborn ym. 2017). Pelkästään Suomessa rakennusjätettä kertyi lähes 16 miljoonaa tonnia vuonna 2018 (Tilastokeskus 2020). Lisäksi rakentaminen kuluttaa suunnattomasti luonnonvaroja.

Kiviainekset eli hiekka, sora, kalliomurske ja sepeli ovat uusiutumattomia luonnonvaroja, joita käytetään rakentamiseen Suomessa noin 80 miljoonaa tonnia vuosittain. Kiviainesten käyttö on välttämätöntä yhdyskuntien rakentamisen ja ylläpidon kannalta, sillä niitä tarvitaan esimerkiksi rakennusten ja väylien perustamiseen, rakentamiseen ja kunnossapitoon (Huhtinen ym. 2018). Suomen kiviainestuotanto perustuu suurimmaksi osaksi harjukiviaineksen ja kalliokiviaineksen ottoalueisiin, jotka sijaitsevat kasvukeskusten ulkopuolella. Suurten kaupunkien lähiympäristöissä harjukiviaineksen saatavuus on heikkoa, sillä esimerkiksi pääkaupunkiseudun läheisyydessä esiintyvät hiekka- ja soraharjut on käytetty loppuun. Kasvukeskuksissa rakentaminen taas painottuu yhä enemmän alueille, joilla ei ole kantavia maalajeja (Inkeröinen ym. 2010). Tämä lisää kiviainesten tarvetta entisestään, jonka seurauksena kiviainesten otto, kuljetusmatkat ja liikenteen päästöt kasvavat (Huhtinen ym. 2018).

Tietyillä jätelajeilla, kuten betoni- ja tiilimurskeella sekä energiateollisuuden tuhkillä pystytään korvaamaan luonnonkiviaineksia maarakentamisessa. On arvioitu, että rakentamiseen mahdollisesti sopivia uusiomateriaaleja tuotetaan vuosittain lähes yhtä paljon kuin luonnonkiviaineksia (Inkeröinen ym. 2010). Esimerkiksi betonijätettä muodostuu Suomessa purkutyömailla ja betoniteollisuudessa vuosittain noin 1,5–2,5 miljoonaa tonnia, josta noin 80 % hyödynnetään pääosin murskeena maarakentamisessa esimerkiksi väylien tai pohjarakenteiden rakennekerroksissa (Dettenborn ym. 2019; Saarinen 2015). Betonimurske vastaa monilta teknisiltä ominaisuuksiltaan luonnonkiviainesta ja sen kuormituskestävyys on jopa parempi kuin luonnonkiven (Dettenborn ym. 2019). Lisäksi



betonijäte on usein mahdollista murskata ja hyödyntää lähellä purkutyömaata, jolloin kuljetusmatkat vähenevät huomattavasti.

Suomessa betonimursketta on uusiokäytetty maarakentamisessa jo 1990-luvun alusta lähtien, mutta sitä ei ole suosittu samalla tavalla kuin luonnonkiviaineksia betonimurskeen jätestatuksen takia (Dettenborn ym. 2019). Viime vuosina uusiomateriaalien käyttöä maarakentamisessa on kuitenkin pyritty edistämään muun muassa uudistetulla lainsäädännöllä ja erilaisilla selvityksillä. Valtioneuvoston uudistettu asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa (MARA-asetus 843/2017) tuli voimaan vuoden 2018 alussa. Asetuksen tavoitteena on lisätä jätteiden hyödyntämistä maarakentamisessa keventämällä jätteiden hyödyntämiseen vaadittua lupamenettelyprosessia, ja sitä kautta edistää luonnonvarojen kestäväää käyttöä ja kiertotaloutta (VNa 2017).

Betoni- ja tiilimurskeen hyödyntämistä tukevat myös uusiomaarakentamisen UUMA-ohjelmat, joiden tavoitteena on saavuttaa toimintatapa, jossa jättepohjaiset materiaalit ja luonnonkiviainekset ovat markkinoilla tasavertaisessa asemassa (Motiva 2021). Uusimpana selvityksenä on vuoden 2021 alussa Valtioneuvoston julkaisema strateginen kiertotalousohjelma, jonka tavoitteena on muun muassa kaksinkertaistaa materiaalien kiertotalousaste vuoteen 2035 mennessä (Valtioneuvosto 2021).

## 1.2 Työn tavoitteet

Tämän diplomityön tarkoituksena on tutkia Fingrid Oyj:n sähköasemien perusparannushankkeiden yhteydessä syntyvän purkubetoni- ja tiilijätteen hyödyntämistä maarakentamisessa. Työn ensimmäisenä tavoitteena on selvittää purkubetonijätteen hyödyntämisen kannattavuutta kasvihuonekaasupäästöjen ja kustannusten osalta. Selvitystyöllä pyritään myös toteuttamaan Fingridin asettamaa ympäristötavoitetta purkumateriaalien kierrätysasteen nostamisesta 90 % vuoteen 2025 mennessä. Jätteen hyödyntämisen kannattavuutta tarkastellaan tapaustutkimuksen muodossa kahdeksan jo toteutuneen sähköasemahankkeen pohjalta.

Työn toisena tavoitteena on tutkia betoni- ja tiilijätteen hyödyntämiseen vaadittavan viranomaisluvan hakemista. Tällä hetkellä luvan hakemiseen liittyy epäselvyyttä, sillä luvan voi saada kolmella eri tavalla: MARA-asetuksen rekisteröinti-ilmoituksella, ympäristöluvalla tai kunnan ympäristönsuojeluviranomaisen myöntämällä jätteen pienimuotoisen hyödyntämisen luvalla. Tämän vuoksi oikean menettelytavan valintaa pyritään selkeyttämään luomalla prosessikaavio lupaviranomaisen määräytymisestä, joka voidaan

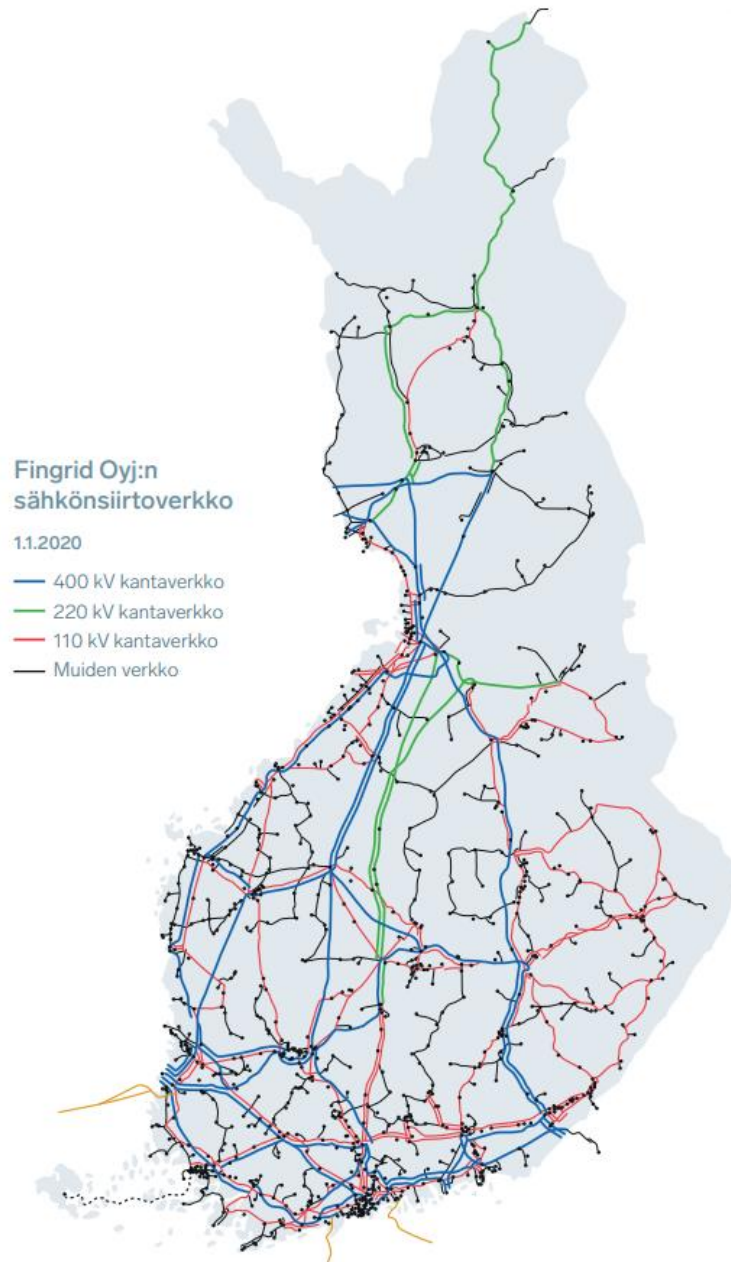
liittää osaksi sähköasemasuunnittelua ja -rakentamista. Jätteen hyödyntämiseen vaadittavan viranomaisluvan määräytymistä tarkastellaan kirjallisuustutkimuksena.

## 2. SÄHKÖASEMA

Tässä luvussa tarkastellaan lyhyesti Suomen sähköjärjestelmää ja sähköasemien roolia järjestelmässä. Luvussa käydään myös läpi sähköaseman rakenteita, joista keskitytään erityisesti kytkinkenttien perustuksiin, muuntajien suojabunkkereihin ja valvomorakennuksiin.

### 2.1 Sähköasema osana Suomen sähköjärjestelmää

Suomen sähköjärjestelmä koostuu voimalaitoksista ja sähkön kuluttajista sekä näitä yhdistävistä kantaverkosta, suurjännitteisistä jakeluverkoista ja jakeluverkoista. Sähköä siirretään kantaverkossa voimalaitoksilta suoraan suurkäyttäjille, kuten teollisuuslaitoksille ja kulutusalueille edelleen jaettavaksi. Pienkäyttäjille sähkö siirretään paikallisesti jakeluverkoissa. Sähköjärjestelmän runkona on Fingrid Oyj:n hallitsema kantaverkko, johon kuuluvat 400 ja 220 kilovoltin (kV) sekä sähkönsiirron kannalta keskeisimmät 110 kV voimajohtot sekä niihin liittyvät sähköasemat (kuva 1). Kantaverkkoon kuuluu noin 14 000 kilometriä voimajohtoja ja lähes 120 sähköasemaa. Maanlaajuisen kantaverkon kautta kulkee noin 77 % kaikesta Suomessa siirretystä sähköstä. (Fingrid 2019a; Fingrid 2020a)



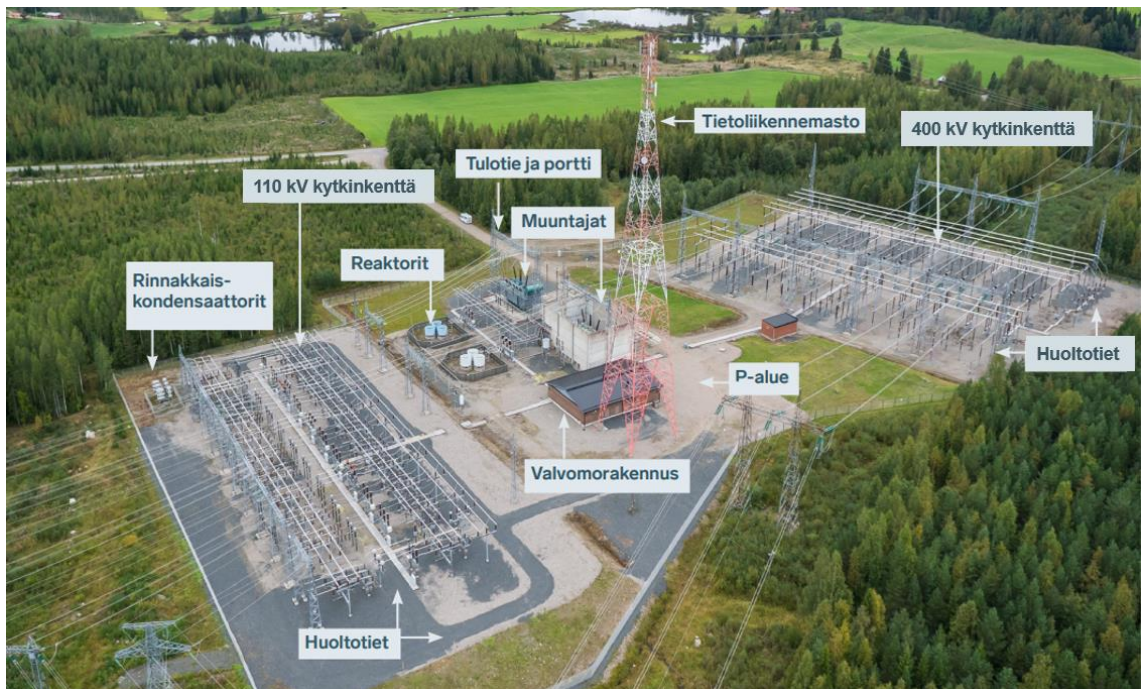
**Kuva 1.** Fingridin sähkösiirtoverkko (Fingrid).

Sähköasemat ovat sähköverkon solmukohtia, joiden tehtävänä on muuntaa virtaa ja jakaa sitä eri jännitetasoihin. Sähköasemat voidaan lajitella kytkinlaitoksiin ja muuntoasemiin. Kytkinlaitokset yhdistävät saman jännitetaso johtoja, kun taas muuntoasemat yhdistävät eri jännitetaso johtoja (Heikkilä 2004). Kantaverkossa kytkinlaitoksia tarvitaan, kun on tarve tehdä kytkentöjä sekä siirtää ja jakaa sähköenergiaa eri voimajohdoille. Kytkinlaitokset voivat olla ilmaeristeisiä ulkokytkinlaitoksia (AIS) tai SF<sub>6</sub>-kaasueristeisiä sisäkytkinlaitoksia (GIS) (Naumanen 2011). Muuntoasemia kantaverkossa puolestaan tarvitaan jännitteen muuntamisessa yleisimmin 400/110 kV tai 220/110 kV välillä. Tällöin sähköasema koostuu molempien jännitetasojen kytkinkentistä ja muuntajasta.

## 2.2 Sähköaseman rakenteet

Sähköaseman rakenne voi vaihdella paljon riippuen sen käyttötarkoituksesta. Pääsääntöisesti se voidaan kuitenkin jakaa neljään osaan: päälaitteistoihin, apulaitteistoihin, muihin laitteistoihin ja rakenteisiin (Haveri 2006). Päälaitteistot ovat sähköverkon voimajohtoihin liitetyjä laitteita, joiden kautta sähköenergia kulkee, kuten kytkinkentät, tehomuuntajat, kompensointilaitteet sekä muut suurjännitelaitteet. Apulaitteistot ovat päälaitteistoja tukevia sähkölaitteita, kuten suojaus- ja ohjausjärjestelmät, sähköaseman omakäyttöjärjestelmä ja automaatiojärjestelmät. Muita laitteistoja ovat puolestaan sähköaseman toimintaa varmistavia laitteita, kuten LVI-, palo- ja rikosilmoitinjärjestelmät. Rakenteet, kuten sähköaseman perustukset, kulkutiet, aidat, terästelinet sekä muuntajien suojabunkkerit toimivat taas alustana ja suojana sähköaseman laitteille. Tässä työssä keskitytään sähköasemien rakenteisiin, erityisesti kytkinkentän perustuksiin, muuntajien suojabunkkeriin ja valvomorakennuksiin.

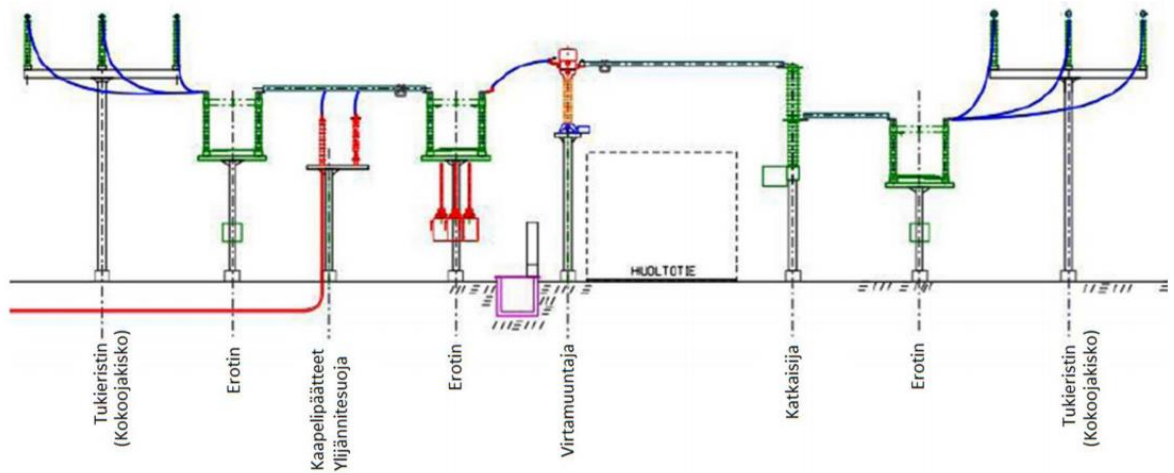
Kuvassa 2 on esitetty sähköasema, jossa on kaksi kytkinkenttää 110 kV ja 400 kV jännitteille sekä kenttiä yhdistävät tehomuuntajat. Voimajohdot ja muuntajat liitetään sähköaseman kytkinkentällä sijaitseviin ns. kokoojakiskostoihin kytkinlaitteiden avulla (Heikkilä 2004). Kuvan sähköasemalta löytyy myös valvomorakennus.



**Kuva 2.** 400/110 kV sähköasema (Fingrid).

## 2.2.1 Kytkinkentän perustukset

Kytkinkentät koostuvat kokoojakiskoista, kytkinlaitteista, mittamuuntajista sekä niihin liit-  
tyvistä ohjaus- ja suojausjärjestelmistä sekä apusähkölaitteista. Kuvassa 3 on esitetty  
leikkaus tyypillisestä 110 kV ilmaeristeisestä kytkinkentästä. Kytkinkentän molemmilla  
laidoilla on kokoojakiskot, joihin voimajohdot kiinnittyvät. Kokoojakiskojen väliin on sijoit-  
tettu kytkinlaitteet ja mittamuuntajat. Kytkinlaitteisiin kuuluu katkaisijat ja erottimet. Kat-  
kaisijoiden avulla pystytään katkaisemaan ja sulkemaan kuorma- ja vikavirtoja. Erotti-  
milla puolestaan tehdään kytkinlaitoksen osat jännitteettömäksi, jolloin sähköasemalla  
on turvallista työskennellä. Mittamuuntajilla, eli jännite- ja virtamuuntajilla pystytään mit-  
taamaan sähköasemalla esiintyviä jännitteitä ja virtoja. (Naumanen 2011; Heikkilä 2004)



**Kuva 3.** Leikkauskuva ilmaeristeisestä 110 kV kytkinkentästä (Fingrid kuva-ar-  
kisto).

Kytkinkentän laitteiden tukirakenteet ovat usein teräsrakenteisia pilareita, palkkeja tai  
ristikoita. Teräsrakenteet kiinnitetään betonisten perustusten päälle, jotka voivat olla pai-  
kallavalettuja tai elementtirakenteita. Betonin määrä perustuksissa on hyvin tapauskoh-  
taista, ja vaihtelee mm. kannateltavan rakenteen ja sähköasema-alueen maaston mu-  
kaan. Korkeilla rakenteilla on suurempi tuulikuorma, jolloin ne myös tarvitsevat vahvem-  
man perustuksen. Mikäli sähköasema-alueen maaperä on kallioinen, voidaan perustuk-  
sista tehdä kallionvaraisia. Tällöin käytettävän betonin määrä on pienempi, kuin maan-  
varaisissa perustuksissa. (Wirén 2021)

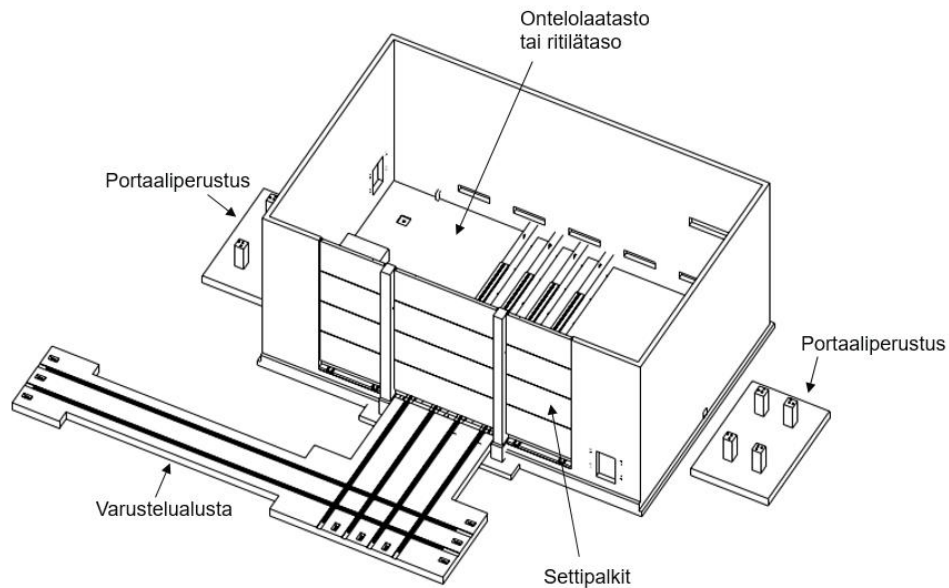
## 2.2.2 Muuntajan suojabunkkeri

Muuntajan tehtävänä on mahdollistaa sähköenergian siirto ylemmästä jännitetasosta alempaan jännitetasoon tai toisin päin (Ojanen 2011). Kantaverkossa järjestelmämuuntajat on kytketty 400, 220 ja 100 kV verkkojen välille. Suurjänniteverkkoon kuuluvien muuntajien ympärille on useimmiten rakennettu betoninen suojabunkkeri (kuva 4). Suojabunkkerin tärkeimpänä tehtävänä on suojata muita ympärillä olevia sähköaseman laitteita ja rakenteita mahdolliselta tulipalolta (Fingrid 2019b). Suurjännitemuuntajat sisältävät noin 100 tonnia öljyä eristysmateriaalina, jonka takia muuntajien palokuorma on merkittävä. Lisäksi on tärkeää, että bunkkeri suojaa muuntajaa mahdolliselta ilkivallalta ja muilta ulkoisilta iskuilta, koska muuntaja on yksi sähköaseman kalleimpia komponentteja.



**Kuva 4.** Muuntaja betonisen suojabunkkerin sisällä (vasemmalla) ja suojabunkkeri ulkoapäin kuvattuna (oikealla) (Fingrid kuva-arkisto).

Suojabunkkeri koostuu suojaseinistä, perustuksesta ja valuma-altaasta, sekä muuntajan siirto-, purku ja varustelualustasta. Suojaseinien korkeuden tulee olla vähintään sama, kuin muuntajan enimmäiskorkeus on (Fingrid 2019b). Muuntajan koko puolestaan vaihtelee sen mukaan, kuinka suurta jännitettä se muuntaa. Suojabunkkerin etuseinä koostuu settipalkeista, kuten kuvasta 5 voidaan havaita. Betoninen settiseinä pystytään irrottamaan muuntajan ulosottoa varten esimerkiksi muuntajan huoltotarpeen takia (Wirén 2021). Suojarakennuksen edessä on betoninen varustelualusta, jossa on raidekiskot. Raidekiskojen avulla muuntaja voidaan siirtää tarpeen vaatiessa. Bunkkerin molemmin puolin on myös perustukset portaaleille, jotka ovat teräksisiä ristikkorakenteita, joihin voimajohdot kiinnittyvät.



**Kuva 5.** 3D-piirustus muuntajan suojabunkkerista (Fingrid 2019b).

Suojabunkkerin perustus koostuu maan alle valetusta betonilaatasta, jonka tulee kestää muuntajan ja muuntajavarusteiden, kuten paisuntasäiliön, kiskosto- ja laiterakennelmien sekä suojaseinien painon aiheuttamia rasituksia. Näiden laitteiden ja rakenteiden yhteispaino on yli 500 tonnia (Fingrid 2019b). Muuntajan valuma-altaaseen on mahdollista koko muuntajan sisältämä öljymäärä sekä sade- ja sammutusvesiä. Valuma-altaan keskiosassa on aluspalkit, joiden päällä on joko ontelolaatasto tai ritilätaso, joka koostuu teräsverkosta ja kiviaineksesta (Wirén 2021). Näiden rakenteiden läpi mahdollinen öljyvuoto valuu valuma-altaaseen.

### 2.2.3 Valvomorakennus

Sähköaseman valvomorakennus sisältää yleensä rele-, apusähkö-, akku- ja varastohuoneet sekä WC-, eteis- ja kaapelitilat (Fingrid 2021). Valvomorakennukset rakennetaan betonisandwich-elementeistä ja julkisivupintana käytetään betonia. Aikaisemmin, erityisesti 1960- ja 1980-luvuilla rakennettujen valvomorakennusten julkisivupintana on usein käytetty tiiliverhous (Wirén 2021). Kuvassa 6 on esitetty tyypillinen tiiliverhoiltu valvomorakennus. Valvomorakennuksien koko vaihtelee tarvittavien huoneiden määrän mukaan. Pääsääntöisesti uudet valvomorakennukset ovat kuitenkin huomattavasti pienempiä, kuin 1960–80-luvuilla rakennetut. Tämä on seurausta siitä, että sähköasemat eivät ole nykyisin miehitettyjä, vaan niitä valvotaan etäyhteyksin (Nurmi 2021).





**Kuva 6.** Tiiliverhoiltu valvomorakennus (Fingrid kuva-arkisto).

### 2.3 Sähköasemien perusparannushankkeet

Sähköasemakomponenttien odotettu käyttöikä on 30 ja 60 vuoden välillä riippuen komponentista (taulukko 1). Kytäkenttien laitteiden, kuten katkaisijoiden, erottimien, mittamuuntajien ja ylijännitesuojien eliniänodote on 35–40 vuoden välillä (Fingrid 2019a). Muuntajat ovat sen sijaan pitkäikäisempiä. Sähköasemat rakennetaan harvoin heti lopulliseen laajuuteensa, mikä lisää laitteiden ikäjakaumaa.

**Taulukko 1.** Sähköaseman laitteiden ja betonirakenteiden elinikäodotteet (Fingrid 2019a).

Sähköaseman rakenne	Elinikäodote
Laite	
- Muuntajat	60 v
- Katkaisijat	40 v
- Erottimet	40 v
- Mittamuuntajat	35 v
- Ylijännitesuojat	40 v
- Kondensaattorit	40 v
- Öljyreaktorit	45 v
- Kuivareaktorit	30 v
Betonirakenne	
- Kytäkentän perustukset	50 v tai 100 v
- Valvomorakennus	50 v tai 100 v
- Muuntajan suojabunkkeri	50 v tai 100 v

Valvomorakennukset, betoniset perustukset, muuntajien suojabunkkerit, teräsrakenteet ja muut rakennustekniset osat vanhenevat myös muun kantaverkon mukana (Heinonen 2011). Suomessa on vuodesta 2005 lähtien edellytetty betonirakenteiden käyttöikäsuunnittelua. Käyttöikäsuunnittelulla tarkoitetaan rakenteiden kestävyuden suunnittelua säilyvyyden osalta. Kantavat betonirakenteet mitoitetaan normaalisti joko 50 tai 100 vuoden käyttöiällä huomioiden rakenteisiin kohdistuvat ympäristörasitukset, kuten betonin karbonatisoituminen, pakkasrasitus, kloridien tunkeutuminen ja kemiallinen rasitus (Punkki 2017). Käyttöikä määritellään aina projektikohtaisesti, mutta lähtökohtaisesti talonrakennuksien ja muiden tavanomaisten rakenteiden viitteellinen suunniteltu käyttöikä on 50 vuotta (RIL 201-1-2017). Vastaavasti taas monumentaalisten rakennuksien, siltojen ja muiden maa- ja vesirakennuskohteiden viitteellinen suunniteltu käyttöikä on 100 vuotta.

Sähköaseman laitteet ja rakenteet pyritään uusimaan oikea-aikaisesti niiden elinkaaren lähestyessä loppuaan (Fingrid 2019a). Tällöin vältetään mahdollisista vaurioista ja lisääntyvistä vioista aiheutuvat haitat. Uusimisajankohtaan vaikuttavat myös muut asiat, kuten sähköaseman käyttökeskeytyksen mahdollisuus. Erityisesti 2020-luvulla elinkaarensa loppua lähestyvät 1980-luvulla rakennetut sähköasemat. Kiivain sähköverkon rakentamisaika ajoittui 1970–80-luvuille (Heinonen 2011), jonka takia uudistettavien asemien määrä on suuri seuraavien vuosien aikana.

Perusparannushankkeita tehdään myös sähköntuotantorakenteen muuttumisen takia. Uusiutuvan energian, erityisesti tuulienergian osuuden kasvaessa nykyisiä sähköasemia laajennetaan. Vastaavasti fossiilisen energiantuotannon vähentyessä esimerkiksi hiilivoimalaitosten yhteyteen rakennettuja sähköasemia uudistetaan, kun niiden käytön merkitys muuttuu voimalaitoksia purettaessa. (Fingrid 2019a)

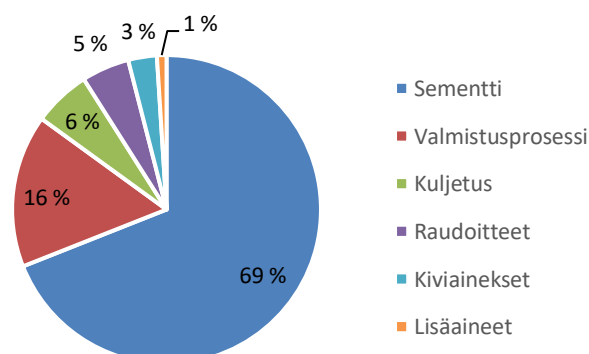
### 3. BETONI- JA TIILIMURSKE MAARAKENNUS- MATERIAALINA

Tässä luvussa tarkastellaan betonia ja tiiltä materiaaleina sekä niiden ominaisuuksia murskeena, ympäristövaikutuksia ja murskeen valmistusprosessia purkutyömaalla.

#### 3.1 Betoni

Betonin pääraaka-aineet ovat kiviaines, vesi ja sementti. Kiviaines toimii betonin runko-aineena ja sen osuus on noin 80 % betonin massasta. Suomessa betonin valmistukseen käytetään eri raekokoisia luonnonkiviaineita, kuten soraa, kalliomurskettä ja hiekkaa. Sementti puolestaan toimii betonissa sidosaineena. Lisäksi betonissa käytetään erilaisia lisä- ja seosaineita muun muassa betonin työstettävyyden, lujuuden ja säilyvyysominaisuuksien parantamiseksi. (BY 201 2018)

Betonin aiheuttamat ympäristökuormitukset voidaan jakaa kolmeen osaan: betonin raaka-aineisiin, betonituotteiden valmistukseen ja betonituotteiden kuljetukseen (kuva 7). Raaka-aineista erityisesti sementin aiheuttamat päästöt ovat merkittävät. Suomen hiilidioksidipäästöistä noin 1,2 % aiheutuu sementin valmistuksesta ja maailmanlaajuisesti sementin päästöt ovat noin 5 % kaikista CO<sub>2</sub>-päästöistä. Sementin valmistuksessa suurimmat päästöt puolestaan aiheutuvat kalkkikiven kalsinoinnista, joka tapahtuu sementtiklinkkerin polton yhteydessä. Kalsinointireaktiossa sementin pääraaka-aine, kalkkikivi (CaCO<sub>3</sub>) hajoaa kalsiumoksidiksi (CaO) ja hiilidioksidiksi (CO<sub>2</sub>). (BY 201 2018)

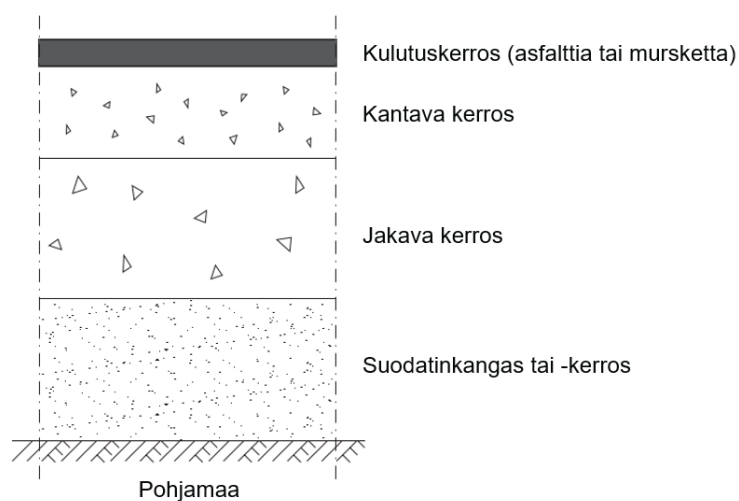


Arvot saattavat vaihdella  $\pm 30\%$  riippuen tuotetyypistä, sideaineen määrästä ja laadusta, raudoituksesta ja kuljetusmatkasta.

**Kuva 7.** Tyypillinen betonielementin CO<sub>2</sub>-päästöjen jakautuminen (BY 201 2018).

Betonimursketta valmistetaan murskaamalla betonijätettä, joka on pääosin peräisin rakenteiden purkamisesta. Osa betonijätteestä taas muodostuu betoniteollisuudesta, esimerkiksi ontelolaattatuotannossa rikkoutuneista laatoista ja katkaisun yhteydessä syntyneistä hukkapaloista (Pajukallio ym. 2011). Betonimurske vastaa monilta teknisiltä ominaisuuksiltaan luonnonkiviainesta, jonka takia se soveltuu hyvin maarakentamiseen. Murskattu betoni sisältää reagoimatonta sementtiä, jonka ansiosta se lujittuu käytössä ja saavuttaa paremman kantavuuden eli kuormituskestävyyden kuin luonnonkiviaines (Vakkuri 2011). Pitkäaikaistutkimuksissa on havaittu, että tien rakennekerrokset, joissa on käytetty betonimursketta saavuttavat noin 15–25 % suuremman kantavuuden, kuin luonnonkiviaineksilla rakennetut rakennekerrokset (Dettenborn 2013). Betonimursketta tarvitaan parhaimmillaan vain puolet suhteessa luonnonkiven määrään saman kantavuuden aikaansaamiseksi (Vakkuri 2011).

Betonimursketta käytetään pääasiallisesti katu-, tie-, ja kenttärakenteiden kantavissa ja jakavissa kerroksissa (Rudus 2017) (kuva 8). Kantava kerros sijaitsee kulutuskerroksen alapuolella ja sen tehtävänä on nimensä mukaisesti lisätä maarakenteen kantavuutta (Väylävirasto 2020). Jakava kerros on puolestaan kantavan kerroksen alapuolella ja siinä käytetään isorakeisempaa kiviainesta, kuin kantavassa kerroksessa. Karkea kiviaines lisää maarakenteen kantavuutta ja rajoittaa veden kapillaarista nousua pohjamaasta. Viimeisenä kerroksena ennen pohjamaata on suodatinkangas tai hiekasta tehty suodatinkerros, jonka tarkoituksena on estää jakavan kerroksen karkean kiviaineksen sekoittumista saven tai muun hienorakeisen pohjamaan kanssa. Hiekasta tehty suodatinkerros estää myös kosteutta nousemasta kapillaarisesti pohjamaasta ja siten se rajoittaa routavaurioiden syntymistä.



**Kuva 8.** Maarakennekerrokset (MaaRYL 2010).

Betonimurske lajitellaan sen ominaisuuksien mukaan neljään eri luokkaan BeM I - BeM IV (taulukko 2). Eri laatuluokissa olevia betonimurskeita voidaan käyttää eri maaraken-teissa. Kantaviin kerroksiin käytetään pääasiallisesti BeM I ja II-luokan murskeita, sillä ne sisältävät vähiten epäpuhtauksia. Jakaviin kerroksiin soveltuvat BeM I ja II-luokan lisäksi BeM III-luokka. Pengertäyhteisiin käytetään pääosin puolestaan BeM IV-luokan mursketta, joka on laadultaan heikointa sen sisältämien epäpuhtauksien vuoksi. (Rudus 2017)

**Taulukko 2.** *Betonimurskeen laatuluokitus (SFS 5884:2018).*

Ominaisuus	BeM I	BeM II	BeM III	BeM IV
Raaka-ainelähde	Betoni-teollisuus	Betoniteollisuus, rakennus- tai purkutyömaa	Betoniteollisuus, rakennus- tai purkutyömaa	Betoniteollisuus, rakennus- tai purkutyömaa
Hienoainespitoisuus	< 7 %	< 7 %	Vaihtelee	Vaihtelee
Puristuslujuus	> 1,2 MPa	> 0,8 MPa	-	-
Routivuus	Routimaton	Routimaton	Vaihtelee	Vaihtelee
Tiilen maksimiosuus	10 paino-%	10 paino-%	10 paino-%	30 paino-%
Muiden materiaalien maksimiosuus <sup>1</sup>	< 1 paino-%	< 1 paino-%	< 1 paino-%	< 1 paino-%
Kelluvat materiaalit <sup>2</sup>	< 5 cm <sup>3</sup> /kg	< 10 cm <sup>3</sup> /kg	< 10 cm <sup>3</sup> /kg	Ei määritetty

<sup>1</sup> esimerkiksi metallit, kellumattomat puut, muovit, kumit yms.

<sup>2</sup> esimerkiksi solumuovit ja mineraalivilla

## 3.2 Tiili

Suomessa valmistetaan kahta erilaista tiilityyppiä: poltettuja savitiiliä ja kalkkihiekkatiiliä. Poltetun tiilen raaka-aineet ovat savi, hiekka, sahanpuru ja vesi. Polttoprosessissa raaka-aineista muotoiltu tiiliahio sintraantuu tiileksi. Poltettua tiiltä käytetään erityisesti rakennusten julkisivumateriaalina sekä tulisija- ja hormirakenteisiin. Kalkkihiekkatiilet puolestaan koostuvat poltetusta kalkista, kvartsipitoisesta hiekasta ja vedestä. Raaka-aineseoksesta puristetaan korkean paineen avulla tiiliraakileet, jotka lopuksi poltetaan autoklaavissa. Kalkkihiekkatiiltä käytetään enimmäkseen väliseinärakenteissa, koska sillä ei ole yhtä korkeaa kuumankestävyyttä kuin poltetulla tiilellä. (Rakennustuoteteollisuus; Tiiliteollisuus 2021)

Tiilet muurataan toisiinsa kiinni laastilla. Laastit luokitellaan sideaineensa perusteella kalkki-, kalkkisementti-, sementti- ja muurausmenttilaasteihin. Kalkin ja sementin lisäksi muina raaka-aineina toimivat yleensä hiekka ja vesi. Muurauslaasti päätyy rakenteiden purkamisvaiheessa tiilijätteen sekaan. Laastin määrä tiilijätteen seassa vaihtelee

saumojen paksuuden mukaan, mutta yleisesti ottaen saumojen osuus on noin 20 % tiiliseinän pinta-alasta. (Rakennustuoteteollisuus; Tiiliteollisuus 2021)

Tässä työssä tiiltä käsitellään osana betonimursketta. Betonimurske saa sisältää MARA-asetuksen (VNa 843/2017) mukaan enintään 30 painoprosenttia tiiltä.

### 3.3 Betoni- ja tiilimurskeen ympäristövaikutukset

Betoni- ja tiilimurskeen käytöllä maarakentamisessa on monia ympäristöhyötyjä. Sen käyttö vähentää luonnonvarojen käyttöä ja syntyvän jätteen määrää. Betonimurske on kevyempi ja kantavampi materiaali kuin luonnonkiviaines, jolloin tarvittavan kiviainesmateriaalin tarve on pienempi ja kuljetusmäärät vähenevät huomattavasti (Vakkuri 2011). Lisäksi betonirakenteiden murskaus on mahdollista purkutyömaalla, jolloin mursketta ei tarvitse kuljettaa erilliselle murskausasemalle.

Betonimurske toimii myös hiilinieluna sitoen itseensä ilmakehän hiilidioksidia. Tätä kutsutaan karbonatisoitumiseksi, joka on käänteinen reaktio sementin kalsinoitumiselle. Karbonatisoitumisessa ilman hiilidioksidi reagoi betonin emäksisten yhdisteiden kanssa, josta syntyy reaktiotuotteena kalsiumkarbonaattia ( $\text{CaCO}_3$ ) eli kalkkikiveä (Concrete Solutions 2020). Karbonatisoitumista tapahtuu jo betonin toimiessa rakenteena, jolloin se on ei-toivottu ilmiö, koska se saattaa aiheuttaa betonirakenteen sisällä olevien terästen ruostumista (BY 201 2018). Luonnollinen karbonatisaatio tapahtuu betonirakenteen pinnassa, jolloin betonia murskatessa reagoimattoman betonin pinta-ala kasvaa ja hiilidioksidin sitoutuminen kiihtyy. Eri tutkimusten mukaan betoni pystyy koko elinkaarensa aikana sitomaan itseensä jopa 70–75 % sementin valmistuksessa vapautuneesta hiilidioksidista (Concrete Solutions 2020).

Betoni- ja tiilimurskeen käyttöön liittyy kuitenkin myös ympäristöriskejä, jotka kohdistuvat pääasiassa maaperään ja pohjaveteen. Erityisesti purkutyömailta peräisin oleva betoni- ja tiilimurske voi sisältää erilaisia haitta-aineita, kuten raskasmetalleja, sulfaatteja, asbestia, PCB- ja PAH-yhdisteitä sekä öljyhiilivetyjä (Lehtonen 2019). Ontelolaattatuotannosta muodostuva betonimurske on puolestaan puhtaampaa materiaalia ja se ei pääsääntöisesti sisällä haitta-aineita tai muita epäpuhtauksia (Pajukallio ym. 2011). Osa haitta-aineista on peräisin betonissa ja tiilessä käytettävistä raaka-aineista. Esimerkiksi raskasmetallien pitoisuudet riippuvat betonissa käytettävistä seosaineista, joita voivat olla teollisuuden sivutuotteet, kuten lentotuhka ja masuunikuona (Engelsen ym. 2017). Osa haitta-aineista, kuten öljyhiilivedyt sekä PCB- ja PAH-yhdisteet voivat taas olla peräisin rakenteiden käytön aikaiselta ajalta. Rakennuksissa on esimerkiksi voitu teollisen

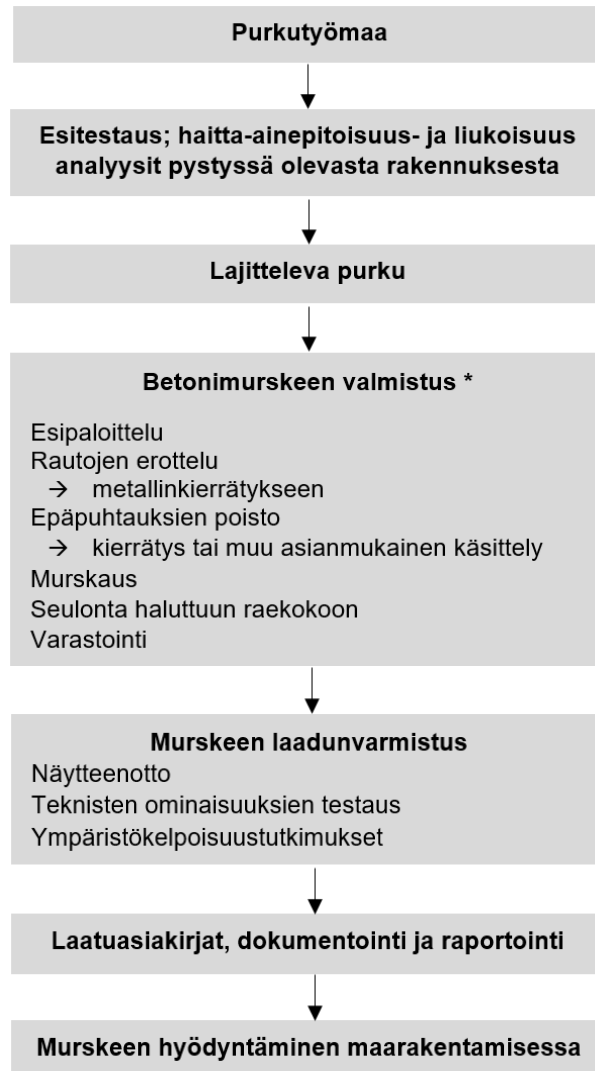
toiminnan yhteydessä käsitellä öljyä, jonka seurauksena öljyhiilivetyjä on imeytynyt betonin huokosiin (Ng & Engelsen 2018).

Betoni on myös emäksinen materiaali sen sisältämän sementin takia. Betonin huokosveden pH on noin 13, jonka takia betonimurskekerroksen läpi suotautuvan veden pH nousee (Ng & Engelsen 2018). Karbonatisoitumisreaktiossa hapan hiilidioksidi kuitenkin neutraloi betonimurskeen huokosveden likimain arvoon 8. Tällöin murskekerroksen läpi suotautuvan veden pH laskee ajan myötä. Betonimurskeen sisältämien metallien liukemisen on myös todettu vähentyvän merkittävästi betonin huokosveden neutraloimisen seurauksena (Engelsen ym. 2017). Useimmiten betonimurskeen metallipitoisuudet pysyttelevät kuitenkin alhaisina.

Haitta-aineita voi kulkeutua murskekerroksen läpi syvemmälle maaperään ja mahdollisesti jopa pohjaveteen asti sadeveden suotautumisen seurauksena. Haitta-aineiden kulkeutumisesta voi aiheutua merkittävää haittaa ympäristölle, joten on tärkeää, että murskeen ympäristökelpoisuutta arvioidaan eri tavoin. MARA-asetuksessa (VNa 843/2017) on määritetty raja-arvot eri haitta-aineiden pitoisuuksille ja muille epäpuhtauksille. Raja-arvot on esitetty työn lopussa löytyvästä liitteestä A. Lisäksi asetus rajoittaa betoni- ja tiilimurskeiden käyttöä pohjavesialueilla sekä vesistöjen läheisyydessä. Haitta-ainetutkimuksista ja murskeen laadunvarmistuksesta kerrotaan lisää luvussa 3.4.

### **3.4 Betoni- ja tiilimurskeen valmistus purkutyömaalla**

Betoni- ja tiilimurskeen valmistusprosessi purkutyömaalla koostuu esitestauksesta, lajittelevasta purusta, murskeen valmistuksesta ja murskeen laadunvarmistuksesta (kuva 9). Maankäyttö- ja rakennuslain mukaisesti rakennuksen tai rakenteen purkamiselle pitää olla purkulupa, jota haetaan kunnan rakennusvalvontaviranomaiselta. Purkulupaa ei kuitenkaan tarvita, jos purkaminen liittyy rakennuslupaun tai tie- tai ratasuunnitelman toteuttamiseen. Mikäli purkaminen on vähäistä, purkuilmoitus kunnan rakennusvalvontaviranomaiselle on riittävä. (Lehtonen 2019)



\* kaikkia vaiheita ei välttämättä toteuteta kaikille tuotteille.

**Kuva 9.** *Betoni- ja tiilimurskeen valmistusprosessi purkutyömaalla (SFS 5884:2018).*

### 3.4.1 Haitta-ainetutkimukset ja lajitteleva purku

Rakenteiden purkamisessa purkujärjestyksellä ja -tekniikoilla on suuri merkitys valmistettavan betoni- ja tiilimurskeen laadun kannalta. Haitta-ainetutkimukset tulisi tehdä mahdollisimman kattavasti rakenteille jo ennen purkutöitä, jolloin saadaan selville, onko purettavia rakenteita mahdollista hyödyntää murskeena (Lehtonen 2019). Haitallisia aineita, kuten asbestia, lyijyä, PAH- ja PCB-yhdisteitä sisältävät rakenteet tulisi purkaa ennen muuta purkua (RT 18-11245 2016). Haitta-aineita löytyy useimmiten tietyillä aikakausilla rakennetuista rakenteista ja rakennusmateriaaleista. Yleensä ympäristökelpoi-



suuden kannalta merkittävimmät haitta-aineet sijaitsevat purettavien rakenteiden pinnassa, esimerkiksi maaleissa, eristeissä tai pintaan kertyneessä liassa rakenteen käytön aikaiselta ajalta (taulukko 3) (Dettenborn ym. 2019).

**Taulukko 3.** *Haitta-ainekartoituksessa huomioitavia vaarallisia aineita ja esimerkkejä rakennusmateriaaleista, joissa haitta-aineita saattaa esiintyä (Hradil ym. 2019).*

Vaarallinen aine tai materiaali	Esimerkkejä rakennusmateriaaleista, joissa saattaa esiintyä haitta-aineita
Asbesti	<ul style="list-style-type: none"> <li>- eristeet (palo-, lämpö, ääni- ja putkieristeet)</li> <li>- julkisivupinnoitteet ja julkisivujen saumausmateriaalit</li> <li>- peltikattojen bitumipohjaiset maalit</li> <li>- kattojen bitumihuovat ja bitumikattoliimat</li> <li>- kosteiden tilojen vedeneristysmateriaalit</li> <li>- asbestisementtilevyt (sisäverhouslevyt, kattolevyt)</li> <li>- vinyylilaattojen liima</li> <li>- joustovinyylimatot</li> <li>- keraamisten laattojen kiinnityslaastit</li> <li>- rappauslaastit</li> <li>- akryylimassalattioiden jalkalistat</li> <li>- tiivistemateriaalit</li> </ul>
PCB	<ul style="list-style-type: none"> <li>- maalit</li> <li>- saumausmassat (elementtisaumat)</li> <li>- lämpölasit ja ikkunakitit</li> <li>- sähkölaitteiden kondensaattoriöljy</li> </ul>
PAH & kreosootti	<ul style="list-style-type: none"> <li>- terva-, kivihiiliterva ja bitumitervapohjaiset maalit</li> <li>- bitumi- ja kattopahvit, kosteuseristeet, hyörysulkumateriaalit,</li> <li>- kapillaarikatkot</li> <li>- sähköjohtojen eristemateriaali</li> <li>- piiput (noki)</li> <li>- kreosoottikyllästetty puu</li> </ul>
Hiilivedyt, öljyt	<ul style="list-style-type: none"> <li>- öljyvuodot esim. lattioille</li> </ul>
Haitalliset metallit	<ul style="list-style-type: none"> <li>- painekyllästetty puu (arseeni, kupari, kromi)</li> <li>- elektroniikka</li> <li>- lamput (energiansäästölamput, loistelamput, elohopeahöyrylamput)</li> <li>- vanhat maalit (lyijy, kadmium, sinkki ym.)</li> </ul>

Lain (VNa 98/2015) mukaan asbestikartoitus vaaditaan kaikilta purettavilta ja saneerattavilta rakennuksilta, jotka on rakennettu ennen vuotta 1995. Muista haitta-aineista ei ole erikseen säädettyä lainsäädäntöä, mutta on suositeltavaa, että laajempi haitta-ainekartoitus suoritetaan rakennuksille, jotka on joko rakennettu ennen vuotta 1995 tai niiden lattiapinta-ala on suurempi kuin 100 m<sup>2</sup> (Hradil ym. 2019). Näytteenotto purettavista rakenteista voidaan tehdä esimerkiksi timanttikorakoneella (Dettenborn ym. 2019).

Haitallisia aineita sisältävien rakenteiden poistamisen jälkeen muut rakenteet tulisi myös purkaa järjestelmällisesti ja lajitella eri jätejakeisiin. Erityisesti rakennuksien sisäpintojen purkaminen ennen kantavien rakenteiden purkua vaikuttaa merkittävästi betoni- ja tiili-jätteen puhtauteen ja siten niiden kierrätyskelpoisuuteen. (Lehtonen 2019)

### 3.4.2 Betonijätteen murskaus

Rakenteiden haitta-ainekartoituksen ja lajittelevan purun jälkeen betonijäte esikäsittelyä murskausta varten. Esikäsittelyssä betonijätteen palakokoa pienennetään kaivinkoneeseen kiinnitettävillä lisälaitteilla, kuten hydraulisella iskuvasaralla, leikkurimurskaimella tai pulveroijalla (Hotanen 2005) (kuva 10). Esikäsittelyn katsotaan kuuluvan rakenteiden purkutoimintaan, sillä usein purkutyömaalla syntyvän betonijätteen palakokoa on pienennettävä sen poiskuljetuksen mahdollistamiseksi, mikäli betonia ei hyödynnetä murskeena.



**Kuva 10.** Betonin pulverointia (Gles 2021b).

Tyypillisesti betonijätteen koko ennen esikäsittelyä on 300–700 mm ja esikäsittelyn jälkeen 100–150 mm (Hotanen 2005). MARA-asetuksen mukaisesti hyödynnettävän betonimurskeen suurin sallittu raekoko on 90 mm (VNa 843/2017). Näin ollen pulveroitua betonia voidaan käyttää maarakentamisessa vain ympäristöluvalla tai kunnan ympäristönsuojeluviranomaisen myöntämällä pienimuotoisen jätteen hyödyntämisen luvalla. Kappalekoon pienentämisen ohella esikäsittelyn tavoitteena on katkoa ja poistaa osa betonin teräsraudoituksista, jotka saattaisivat haitata murskausprosessia (Hotanen 2005). Esikäsittelyn avulla saadaan myös vähennettyä betonijätteen yhteydessä esiintyvien muiden epäpuhtauksien määrää.

Betonijätteen murskaus voidaan suorittaa kaivinkoneeseen liitettävällä murskakauhalla (kuva 11) tai erillisellä siirrettävällä murskauslaitoksella, johon betonijätettä syötetään esimerkiksi kaivinkoneella (Dettenborn ym. 2019) (kuva 12). Murskauksen avulla beto-

nimurskeesta saadaan tasalaatuisempaa materiaalia, kuin pelkällä esikäsitteilyllä. Betonimurskeen laadun kannalta paras lopputulos saadaan murskauslaitoksilla. Murskauslaitokset koostuvat murskaimista ja seuloista, joiden avulla laite pystyy erottelemaan loputkin metallit betonista (Hotanen 2005). Murskauslaitoksella pystytään murskaamaan betonia 125–170 tonnia tunnissa (Häkämies ym. 2018). Murskakauhalla murskettua pystytään puolestaan valmistamaan pienempiä määriä, noin 42 tonnia tunnissa. Kauhalla murskattaessa metallit pitää erotella erikseen magneetilla murskauksen jälkeen, johon kuluu noin puolet murskausajasta. Toisaalta murskakauhan etuna on, että se vaatii huomattavasti vähemmän tilaa, kuin siirrettävä murskauslaitos. Purkutyömailla tilaa onkin usein vain rajoitetusti.



**Kuva 11.** Betonin murskausta murskakauhalla (Gles 2021a).



**Kuva 12.** Betonin murskausta siirrettävällä murskauslaitoksella (Gles 2021a).

### 3.4.3 Murskeen laadunvarmistus

Valmiin betonimurskeen laatu varmistetaan näytteenotolla. Näytteenotto jakautuu teknisten ominaisuuksien laadunvalvonnan näytteenottoon ja ympäristökelpoisuuden tutkimiseen liittyvään näytteenottoon (SFS 5885:2018). MARA-asetus vaatii vain betonimurskeen ympäristökelpoisuuden osoittamisen (Ympäristöministeriö 2019).

Teknisten ominaisuuksien laadunvalvontaa varten otetaan edustava ja riittävä määrä näytteitä, jotka kuvaavat tutkittavaa erää. Näytekoot määräytyvät betonimurskeen rae-koon ja testattavan ominaisuuden mukaan. Betonimurskeesta tutkitaan seuraavanlaisia teknisiä ominaisuuksia: routivuus, rakeisuus, optimivesipitoisuus, maksimikuivatilavuuspaino, kiintotiheys, puristuslujuus, iskunkestävyys eli ns. Los Angeles -luku sekä murskeen osa-aineiden luokittelu. (SFS 5885:2018)

Murskeen ympäristökelpoisuus puolestaan tutkitaan kokoomanäytteellä valmiista betonimurskeesta. Yhdellä kokoomanäytteellä voidaan tutkia enintään 10 000 tonnia murskettä. Yhtä kokoomanäytettä varten tarvitaan kuitenkin 20 osanäytettä, joista tutkitaan MARA-asetuksessa määritetyt haitalliset aineet. Haitta-aineiden lisäksi betoni- ja tiilimurskeen muita laatuvaatimuksia ovat materiaalijakauma ja epäpuhtaudet. Betonijäte voi sisältää korkeintaan 30 painoprosenttia tiili- tai kaakelijätettä. Epäpuhtauksilla tarkoitetaan esimerkiksi puuta, kumia, metallia ja muoveja, joita betoni- ja tiilijätteessä saa olla enintään yksi painoprosentti. (Ympäristöministeriö 2019)

Rakennus- ja purkutyömailla valmistettavan betonimurskeen ympäristökelpoisuus tutkitaan purkukohdekohtaisesti. Tällä tarkoitetaan esimerkiksi yksittäisellä kiinteistöllä sijaitsevia käyttötarkoitukseltaan samankaltaisia rakennuksia, joiden rakennusmateriaalien laatu ei eroa toisistaan. Mikäli taas samalla kiinteistöllä on useampi rakennus, joiden rakennusmateriaalien laatu poikkeaa toisistaan, luokitellaan rakennukset erillisiksi purkukohteiksi. (Ympäristöministeriö 2019)

## 4. JÄTTEEN HYÖDYNTÄMISEEN LIITTYVÄ LAINSÄÄDÄNTÖ

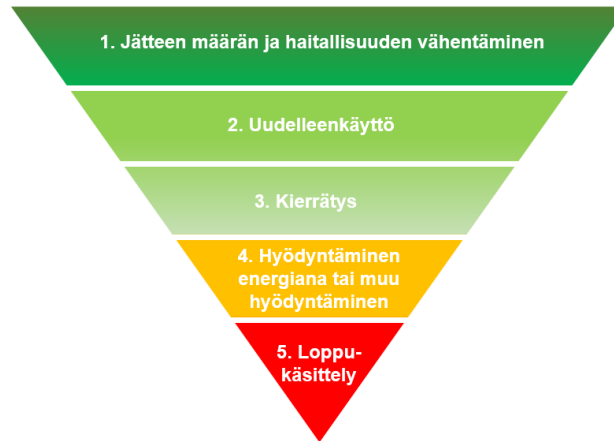
Tässä luvussa käydään läpi keskeisin lainsäädäntö ja määräykset, jotka liittyvät jätteen hyödyntämiseen. Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maaraken- tamisessa (VNa 843/2017) eli ns. MARA-asetus on merkittävin betonimurskeen hyödyn- tämistä määräävä säädös. Jätteen käsittelyä ohjaavia lakeja ovat jätelaki ja ympäristön- suojelulaki. Muita betoni- ja tiilimurskeen käyttöön liittyviä säädöksiä ovat mm. CE-mer- kintä ja jätteeksi luokittelun päättyminen.

### 4.1 Jätelainsäädäntö

Suomen nykyinen jätelaki tuli voimaan vuonna 2012 ja se perustuu Euroopan Unionin jätedirektiiviin (2008/98/EY). Jätelaki uudistetaan vuoden 2021 aikana, mutta sitä ei tar- kastella tässä työssä. Jätelain tarkoituksena on ehkäistä jätteistä ja jätehuollosta aiheu- tuvaa vaaraa ja haittaa terveydelle ja ympäristölle sekä vähentää jätteen määrää ja hai- tallisuutta. Lisäksi lain tavoitteena on edistää luonnonvarojen kestävää käyttöä, varmis- taa toimiva jätehuolto ja ehkäistä roskaantumista. (Jätelaki 646/2011)

Jätelaki määrittelee jätteeksi aineen tai esineen, jonka sen hallussapitäjä on poistanut tai aikoo poistaa käytöstä tai on veloitettu poistamaan käytöstä. Tällöin purkutyömaalla syntyvä betoni- ja tiilimurske kuuluu jätelainsäädännön soveltamisalaan, sillä se on pois- tettu sen alkuperäisestä käytöstä rakennusmateriaalina. (Jätelaki 646/2011)

Jätelainsäädännön periaatteena on jätehierarkia eli etusijajärjestys (kuva 13), jonka mu- kaan on ensisijaisesti vähennettävä jätteen syntyä. Jos jätettä kuitenkin syntyy, se on valmisteltava uudelleenkäyttöä varten tai toissijaisesti kierrätettävä. Mikäli jätettä ei voida kierrättää, se on hyödynnettävä muulla tavoin, kuten energiana. Viimeisenä vaihtoeht- onä on loppukäsittely, joka useimmiten tarkoittaa kaatopaikkasijoittamista. (Jätelaki 646/2011)



**Kuva 13.** Jätehuollon etusijajärjestys (Ympäristöministeriö 2012).

Kaatopaikkasijoittamista on pyritty vähentämään jäteverolailla (1126/2010), jonka mukaan veroa maksetaan 70 euroa jokaisesta kaatopaikalle toimitettavasta tonnista (Jäteverolaki). Jäteveroa ei kuitenkaan tarvitse maksaa lajitellusta jätteestä, joka hyödynnetään kaatopaikalla sen perustamiseen, käytön tai käytöstä poistamisen kannalta välttämättömissä rakenteissa ja rakennuksissa (Peuranen 2017). Etenkin betoni- ja tiilijätteitä on hyödynnetty kaatopaikkojen pohja-, pinta- ja tukirakenteissa, niiden muotoilussa sekä esi- ja välipeittokerroksissa. Vuonna 2016 asetetun orgaanisen jätteen kaatopaikkauskiellon jälkeen kaatopaikkarakenteisiin hyödynnettävän jätteen tarve on kuitenkin vähentynyt huomattavasti (Korhonen ym. 2018). Kaatopaikkojen sulkeminen edistääkin betoni- ja tiilijätteen uusiokäyttöä merkittävästi.

Valtioneuvoston jäteasetuksen (2012/179) mukaan rakennus- ja purkujätteen hallussapitäjän on järjestettävä erilliskeräys siten, että mahdollisimman suuri osa jätteestä voidaan valmistella uudelleenkäyttöön tai kierrättää tai hyödyntää materiaalina. Lisäksi jäteasetus velvoittaa erilliskeräyksen järjestämistä mm. betoni-, tiili-, kivennäislaatta- ja keramiikkajätteille. (VNa 2012/179)

## 4.2 Ympäristönsuojelulaki

Ympäristönsuojelulakia (527/2014) sovelletaan toimintaan, josta aiheutuu tai saattaa aiheutua ympäristön pilaantumista sekä toimintaan, jossa syntyy jätettä ja käsitellään jätettä. Ympäristönsuojelulain 27 §:n mukaan jätteiden, kuten betoni- ja tiilijätteiden, ammattimainen ja laitospäinen käsittely on ympäristöluvanvaraista toimintaa (YSL 527/2014). Jätteen käsittelyn ammattimaiselle tai laitospäiselle toiminnalle ei ole lainsäädännössä asetettu kriteerejä määrällisestä alarajasta tai toiminnan kestoajasta, jol-

loin ympäristölupatarpeen kynnys ylittyy. Arviointi perustuu toiminnan luonteeseen, kuten sen laajuuteen ja toiminnan aiheuttamiin ympäristövaikutuksiin. Esimerkiksi toiminta voidaan luokitella laitosmaiseksi, vaikka siihen ei liity ansaintaa tai rakennusta, jossa toimintaa harjoitetaan. (Ympäristöministeriö 2014)

Ympäristönsuojelulain mukaan toiminnanharjoittajan on tehtävä kunnan ympäristönsuojeluviranomaiselle kirjallinen ilmoitus toimenpiteestä tai tapahtumasta, joka aiheuttaa tilapäistä melua tai tärinää. Rakennusten purkaminen ja siihen liittyvä rakennuspaikalla tapahtuva purkumateriaalin murskaus luokitellaan tällaiseksi toiminnaksi. Meluilmoitusta ei kuitenkaan tarvitse tehdä, jos jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa on tehty ympäristölupa. (YSL 527/2014)

### 4.3 MARA-asetus

Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa eli ns. MARA-asetus 843/2017 pyrkii edistämään jätteiden uusiokäyttöä maarakentamisessa. Asetuksessa määritellään edellytykset, joiden täytyessä jätteiden hyödyntämiseen ei tarvita ympäristölupaa. Asiasta on kuitenkin tehtävä rekisteröinti-ilmoitus. Uudistettu MARA-asetus astui voimaan vuonna 2018 ja siihen lisättiin muun muassa uusia hyödynnettäviä materiaaleja ja hyödyntämiskohteita (taulukko 4).

**Taulukko 4.** *MARA-asetuksen 843/2017 soveltamisalaan kuuluvat materiaalit ja maarakentämiskohteet.*

MARA-asetuksen soveltamisalaan kuuluvat jätemateriaalit	<ul style="list-style-type: none"> <li>- betonimurske sekä kevytbetoni- ja kevytsorajätteet</li> <li>- kivihiilen, turpeen ja puuperäisen aineksen polton lentotuhkat, pohjatuhkat ja leijupetihiekka</li> <li>- tiilimurske</li> <li>- asfalttimurske ja -rouhe</li> <li>- käsitelty jätteenpolton kuona</li> <li>- valimohiekat</li> <li>- kokonaiset renkaat ja rengasrouhe</li> <li>- rakenteesta poistettu jäte</li> </ul>
MARA-asetuksen soveltamisalaan kuuluvat maarakentämiskohteet	<ul style="list-style-type: none"> <li>- väylät</li> <li>- kentät</li> <li>- vallit</li> <li>- teollisuus- ja varastorakennusten pohjarakenteet</li> <li>- tuhkamursketiet</li> </ul>

Nykyinen MARA-asetus mahdollistaa betoni- ja tiilimurskeen hyödyntämisen maarakentamisessa, mutta asetus rajoittaa tiettyjen materiaalien käyttöä eri maarakentämiskohteissa. Esimerkiksi betoni- ja tiilimurskeen käyttö on sallittua väylä- ja kenttärakenteissa sekä teollisuus- ja varastorakennusten pohjarakenteissa. Lisäksi tiilimursketta on mah-

dollista käyttöä vallirakenteissa, mutta betonimursketta ei. Tällä rajoituksella pyritään ohjaamaan jätteitä niille parhaiten sopiviin käyttökohteisiin ja tukemaan jätteiden jalostamista korkeampitasoisiksi materiaaleiksi. (Peuranen 2017)

Jättemateriaalia, kuten betoni- ja tiilimursketta sisältävän väylän tai kentän enimmäispaksuus voi olla 1,5 metriä ja maarakenne on joko peitettävä tai päällystettävä. Myös teollisuus- ja varastorakennuksen pohjarakenne voi sisältää jättemateriaalia enintään 1,5 metriä. Rakenteiden paksuutta rajoittamalla pyritään estämään hallitsemattomien läjitysalueiden syntyminen. Maarakenteen peittämisellä tarkoitetaan peittävää kerrosta esimerkiksi soraa, hiekkaa tai vastaavaa vettä helposti läpäisevää materiaalia, jonka paksuus tulee olla vähintään 10 cm. Päällystämällä sen sijaan tarkoitetaan jätettä sisältävän rakenteen päällystämistä asfaltilla tai muulla vettä heikosti läpäisevällä materiaalilla. Päällystetyille maarakenteille on väljemmät haitta-aineiden liukoisuuden raja-arvot, koska päällystetyn rakenteen läpäisevä vesimäärä on pienempi kuin peitetyn rakenteen. (VNa 843/2017; Pajukallio ym. 2011)

Asetuksen mukaan maarakennuskohde, jossa hyödynnetään jättemateriaaleja ei saa sijaita 1- tai 2-luokan pohjavesialueilla, joita on mahdollista käyttää talousveden hankintaa varten. Muilla pohjavesialueilla jättemateriaalia on mahdollista käyttää, kun jätettä sisältävän rakennekerroksen etäisyys pohjaveden enimmäiskorkeudesta on vähintään yksi metri. Jättemateriaaleja ei saa myöskään hyödyntää asumiseen tai lasten leikkipaikaksi tarkoitetuilla alueilla, luonnonsuojelualueilla, ravintokasvien viljelyyn tarkoitetuilla alueilla, eikä sisämaan tulvavaara-alueilla. (VNa 843/2017)

#### **4.4 CE-merkintä**

CE-merkintä osoittaa, että tuote täyttää sitä koskevien Euroopan Unionin direktiivien ja asetusten olennaiset vaatimukset. EU:n rakennustuoteasetuksen mukaan CE-merkintä vaadintaan kaikilta rakennustuotteilta, joille on määriteltä harmonisoitu tuotestandardi (Ympäristöministeriö 2020). Suomen standardisoiimisliitto on julkaissut maarakentamisessa käytettäville kiviaineksille harmonisoidun tuotestandardin (SFS-EN 13242), jonka mukaan myös uusiokiviainekset, kuten betoni- ja tiilimurskeet tulee CE-merkitä (SFS-EN 13242 2008).

CE-merkintä ei kuitenkaan ole pakollinen, mikäli betoni- ja tiilimurske valmistetaan sekä hyödynnetään purkutyömaalla, jolloin materiaali ei vaihda omistajaa. Vaikka uusiokiviaineksia ei CE-merkittäisi, niiden laatu on kuitenkin tutkittava ja osoitettava, jotta ne täyttävät ympäristökelpoisuuden sekä tilaajan ja käyttökohteen asettamat tekniset laatuvaatimukset. (Dettenborn ym. 2019)



## 4.5 Jätteen luokittelun päättyminen (EoW –menettely)

Jätteen luokittelun päättyminen, eli ns. End-of-Waste (EoW) –menettely on yksi kierto-  
taloutta edistävä toimintakeino. EoW-menettelyllä määritellään arviointiperusteet, joiden  
täytyessä tietty materiaali lakkaa olemasta jätettä ja voi palata markkinoille tuotteena  
ilman jätesääntelyä. Tällöin materiaali kuuluu tuotelainsäädännön piiriin ja materiaalia  
voi käsitellä ilman ympäristölupaa, jota jätteenkäsittelyssä yleensä vaaditaan. (Kauppila  
ym. 2018)

EU-tasolla on annettu EoW-säädökset lasimurskeelle sekä rauta-, teräs-, alumiini- ja ku-  
pariromuille. EU:n jätedirektiivi mahdollistaa myös kansallisten jätteen luokittelun päät-  
tymistä koskevien säännösten antamisen, mikäli vastaavia säännöksiä ei ole annettu  
EU:ssa. Betonimurskeelle ei ole annettu EoW-säädöstä EU-tasolla, mutta Suomessa  
valmistellaan parhaillaan kansallista asetusta arviointiperusteista sen määrittämiseksi,  
milloin betonimurske lakkaa olemasta jätettä. Betonimurskeasetus tulee olemaan Suo-  
men ensimmäinen kansallinen EoW-asetus. Asetus tulisi koskemaan ympäristöluvanva-  
raista jätteenkäsittelyn toimintaa. Tällöin esimerkiksi jätteenkäsittelykeskukset, joilla on  
voimassa oleva ympäristölupa, voisivat myydä betonijätteestä valmistettua betonimurs-  
ketta tuotteena ilman jätesääntelyä. Asetuksen avulla jäteperäiset materiaalit pystyisivät  
kilpailemaan tasavertaisemmin neitseellisten materiaalien kanssa. EoW-menettely myös  
mahdollistaisi betonimurskeen monipuolisemman hyödyntämisen ja nostaisi uusiomate-  
riaalien arvostusta. (Kauppila ym. 2018; Nissinen 2020)

## **5. BETONI- JA TIILIJÄTTEEN HYÖDYNTÄMISEEN TARVITTAVA VIRANOMAISLUPA**

Tässä luvussa käsitellään betoni- ja tiilijätteen hyödyntämiseen tarvittavan viranomaisluvan hakemista. Lupaa voidaan hakea kolmella eri tavalla: kunnan ympäristönsuojeluviranomaisen myöntämällä jätteen pienimuotoisen hyödyntämisen luvalla, MARA-asetuksen rekisteröinti-ilmoituksella ja ympäristöluvalla. Lainsäädännöllisesti katsoen betonimurskeen lupamenettelyn pääväylänä toimii kuitenkin MARA-asetuksen rekisteröinti-ilmoitus.

### **5.1 Kunnan ympäristönsuojeluviranomaisen myöntämä jätteen pienimuotoisen hyödyntämisen lupa**

Kunnallinen viranomaismenettely on kunnallisiin ympäristönsuojelu- ja jätehuoltomääräyksiin perustuva ilmoitusmenettely. Ympäristönsuojelulain mukaan kunta voi antaa paikallisen ympäristön suojelemiseksi yleisiä ympäristömääräyksiä, jotka koskevat koko kuntaa tai sen tiettyä osaa (YSL 527/2014). Jätehuoltomääräykset ovat myös paikallisia määräyksiä, joita kunta voi ottaa käyttöön täydentääkseen jätelakia (Jätelaki 646/2011).

Betonimurskeen hyödyntäminen kunnan ympäristönsuojeluviranomaisen luvalla on mahdollista, jos mursketta hyödynnetään pienimuotoisesti. Pienimuotoiselle jätteen käytölle ei ole laissa asetettua määrää, mutta käytön ylärajana on usein pidetty 100–1000 tonnia riippuen jätteen laadusta (Peuranen 2017). Käytännössä, mikäli kunta tulkitsee toiminnan olevan ei-ammattimaista, hyödyntäminen voidaan toteuttaa kunnan ympäristönsuojeluviranomaisen luvalla (Häkkinen ym. 2020).

Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) selvityksen mukaan määrittely ammattimaisen ja pienimuotoisen jätteen käsittelyn välillä on kuitenkin koettu epäselväksi, mikä on johtanut erilaisiin käytäntöihin eri puolilla Suomea. Tietyillä alueilla kunnat ja ELY-keskukset ovat omatoimisesti sopineet, että kunta voi hyväksyä pienimuotoiset hyödyntämiset lausunnolla. Esimerkiksi Keski-Uudellamaalla ja Pirkanmaalla betonimurskeen hyötykäyttöä pidetään pääsääntöisesti pienimuotoisena toimintana, jos murskeen määrä jää alle 500 tonnin. Toisaalta taas Ylä-Savon kunnissa ei hyväksytä kunnan viranomaisille tulevia ilmoituksia lainkaan, sillä on tulkittu, ettei laki anna tähän mahdollisuutta. Pienimuotoisen

hyödyntämisen raja on epäselvä erityisesti niissä kunnissa, joissa asiaa ei ole täsmennetty ympäristönsuojelumääräyksissä. Kaikissa kunnissa ei myöskään ole erikseen säädetty kunnallisia ympäristönsuojelumääräyksiä. (Häkkinen ym. 2020)

Lisäksi kuntien lupamenettelyprosessit uusiomateriaalien hyötykäytöstä poikkeavat ympäri Suomen. Joissakin kunnissa luvan saamiseksi riittää pelkkä puhelinsoitto tai sähköpostiviesti, kun taas joissain kunnissa ohjataan täyttämään MARA-ilmoituksen lomake, jonka kunta kuitenkin käsittelee (Pieksämä 2020). Myös luvan käsittelyajoissa on vaihtelua, mutta useimmiten käsittelyssä kuluu yhdestä päivästä kahteen viikkoon (Nurmi 2021). SYKE:n selvitykseen vastanneet toivoivat kunnille ohjetta, jossa selkeytettäisiin ja yhdenmukaistettaisiin pienimuotoisen jätteen hyödyntämisen hallinnollista menettelyä (Häkkinen ym. 2020).

## 5.2 MARA-asetuksen rekisteröinti-ilmoitus

MARA-asetuksen rekisteröinti-ilmoitus on sähköinen ilmoitusmenettely, jonka käsittelee valtion valvontaviranomainen, eli Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus (ELY-keskus), jonka toimialueella hanke toteutetaan. Asetusta sovelletaan vain määritettyjen jätenimikkeiden ammattimaiseen hyödyntämiseen tietyissä maarakentamiskohteissa ja siihen liittyvään väliaikaiseen varastointiin. (VNa 843/207; Ympäristöministeriö 2019)

MARA-asetuksen edellytykset betonimurskeen käytölle ja MARA-ilmoitusmenettelyn vaiheet:

1. Selvitetään täyttääkö maarakennuskohde MARA-asetuksen vaatimukset.
2. Selvitetään täyttääkö betonimurske MARA-asetuksen ympäristökelpoisuus- ja laatuvaatimukset.
3. Ilmoituksen laadinta ja toimitus ELY-keskukselle, mikäli edellä olevat kohdat täyttyvät.
4. Betonimurskeen hyödyntäminen maarakentamisessa, mikäli ilmoitus hyväksytään.
5. Hankkeen toteutumisen raportointi ja muut mahdolliset jälkitoimenpiteet.

MARA-asetuksen ilmoitusmenettelyn käyttöä varten on ensimmäisenä selvitettävä, kuuluuko hyödyntämiskohde asetuksen soveltamisalaan ja täyttääkö se asetuksen vaatimukset. Olennaisena edellytyksenä jätteen hyödyntämiselle maarakentamisessa on suunnitelmallisuus, eli jätettä käytetään korvaamaan neitseellistä kiviainesta. Maarakentamista pidetään suunnitelmallisena, jos se perustuu lakisääteiseen suunnitelmaan, lupaan, ilmoitukseen tai kunnan rakennusjärjestykseen. Esimerkiksi teollisuusrakennusten

pohjarakenteissa ja piha-alueilla hyödyntäminen perustuu pääsääntöisesti kunnan rakennusviranomaisen myöntämään rakennuslupaan. Suunnitelmallisuuden osoittamiseksi jätteiden hyödyntämisestä tulee myös laatia poikkileikkauskuva, jossa esitetään rakenne tai rakenteet, joissa jätettä hyödynnetään, rakenteen kerrospaksuus ja materiaalien tekniset ominaisuudet. (Pajunen 2018)

Tämän jälkeen selvitetään täyttääkö betonimurske asetuksen ympäristökelpoisuus- ja laatuvaatimukset, jota varten otetaan kokoomanäytteet valmiista murskeesta. Laboratorioanalyysi kestää tyypillisesti 1–2 viikkoa (Pajunen 2018). Tulosten saapumisen jälkeen hyödyntämipaikan haltija tai esimerkiksi tämän valtuuttama suunnittelija tekee rekisteröinti-ilmoituksen ELY-keskukselle. Ilmoituksen käsittely ELY-keskuksissa on usein melko nopeaa, mikäli se on täytetty asianmukaisesti. Nopeimmillaan hyväksynnän voi saada jopa parissa päivässä. Käsittelyprosessiin kannattaa kuitenkin varata aikaa noin 2–3 viikkoa (Dettenborn ym. 2019).

Rekisteröintimenettelyyn kuuluu myös selvitys jätteen hyödyntämisen toteutumisesta, joka tehdään, kun maarakentamiskohde on valmis jättemateriaalien hyödyntämisen osalta. Tällöin ympäristörekisteriin saadaan asianmukaiset tiedot maarakentamiskohdeesta ja siellä käytetyistä jätteistä, jotka ovat voineet jossain määrin poiketa ennakkoon ilmoitetuista tiedoista. Loppuraportoinnin avulla jätteitä sisältävien rakenteiden sijainti sekä tiedot hyödynnettävien jättemateriaalien määrästä ja laadusta ovat löydettävissä, kun kiinteistöllä tehdään tulevaisuudessa rakennustöitä, kiinteistön omistaja vaihtuu tai jättemateriaaleja sisältävä rakenne puretaan. (Ympäristöministeriö 2019)

### **5.3 Ympäristölupa**

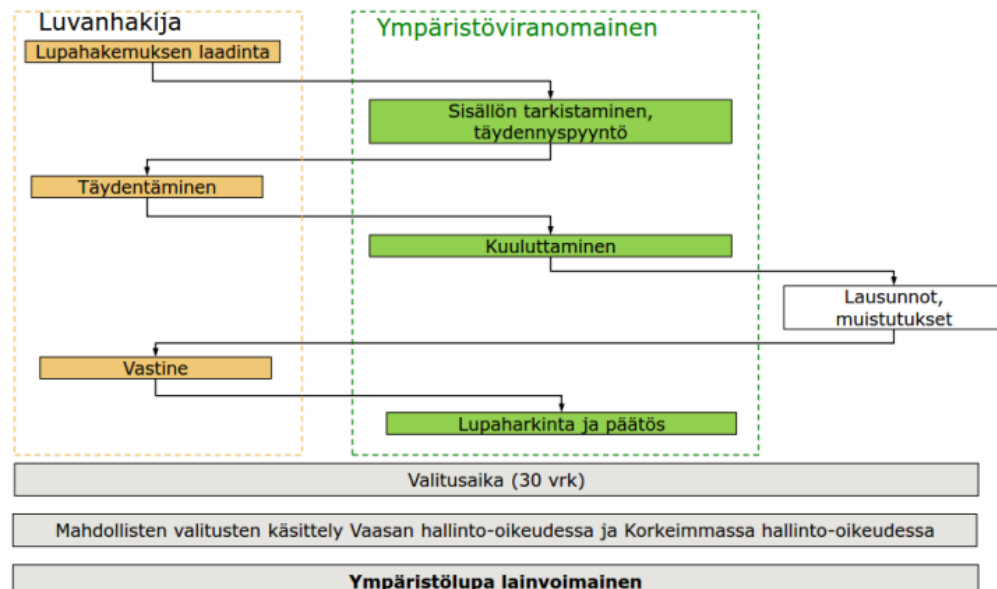
Betoni- ja tiilijätteen hyödyntäminen voi olla mahdollista ympäristöluvalla, mikäli maarakennuskohde tai betonimurskeen ominaisuudet eivät kuulu MARA-asetuksen soveltamisalaan. Esimerkiksi, jos tavoitteena on raekooltaan yli 90 mm betonimurskeen käyttö, hyödyntämiselle on haettava ympäristölupa. Ympäristölupaa haetaan kunnan ympäristönsuojeluviranomaiselta, jos hyödynnettävän betonimurskeen määrä on alle 50 000 tonnia vuodessa tai valtion ympäristönsuojeluviranomaiselta eli aluehallintovirastolta, jos määrä on yli 50 000 tonnia (VNa 713/2014).

Ympäristölupahakemuksen vireille laiton jälkeen ympäristölupaviranomainen tiedottaa hakemuksesta kuulutuksella. Kuulutus pidetään nähtävillä kunnan ilmoitustaululla vähintään 30 päivän ajan. Kuulutuksesta ilmoitetaan myös yleensä paikallisessa sanomalehdessä ja kuulutuksesta lähetetään tieto vaikutuspiirin maa- ja vesialueiden omistajille.

Asianosaiset voivat lähettää muistutuksen, lausunnon tai mielipiteen ympäristölupahakemuksesta lupaviranomaiselle kuulutuksen aikana. (Ympäristöhallinto 2021)

Lupaviranomainen aloittaa päätöksen valmistelun, kun asiasta on saatu riittävästi tietoa. Päätös tehdään sen perusteella, mitä lainsäädännössä on säädetty. Ympäristönsuojelulain mukaan lupa voidaan myöntää, jos toiminnasta ei aiheudu terveyshaittaa tai merkittävää ympäristön pilaantumista tai sen vaaraa. Mikäli kyseisiä haittoja ei voida estää edes lupamääräysten avulla, lupaa ei myönnetä. Päätökseen liitetään 30 päivän valitusoikeus, jolloin päätöksestä on mahdollisuus valittaa Vaasan hallinto-oikeuteen, mikäli päätökseen ei ole tyytyväinen. Vaasan hallinto-oikeuden päätöksestä voi valittaa edelleen korkeimpaan hallinto-oikeuteen, jos valituslupa myönnetään. (Ympäristöhallinto 2021)

Ympäristöluvan hakeminen on pitkäjänteinen prosessi ja se voi kestää kokonaisuudessaan muutamasta kuukaudesta jopa moneen vuoteen. Lupahakemusten käsittelyaikaan vaikuttaa merkittävästi se, että millaisena hakemus toimitetaan viranomaiselle (Ympäristöhallinto 2021). Mikäli hakemus on puutteellinen ja sitä joudutaan täydentämään, käsittelyaika voi pidentyä monella kuukaudella. Kunnan ympäristönsuojeluviranomaisten toimesta lupakäsittely on nopeampaa, kun taas aluehallintovirastossa tavoitteellinen keskimääräinen käsittelyaika on 10 kuukautta (Aluehallintovirasto 2021). Ympäristöluvan vaiheet on esitetty kuvassa 14.



**Kuva 14.** Ympäristölupaprosessin vaiheet (Järvinen 2018).

## 5.4 Yhteenveto lupamenettelystä

Yhteenveto eri lupaprosessien kestosta ja kustannuksista on koottu taulukkoon 5. Kunnallinen viranomaismenettely on kaikista nopein ja pienin kustannuksiltaan. Lisäksi kunnan viranomaisille riittää useimmiten purettavasta betonirakenteesta otettava näyte betonimurskeen ympäristökelpoisuuden määrittämiseksi. MARA-ilmoituksen ja useimmiten myös ympäristöluvan osalta ympäristökelpoisuuden määrittämiseksi vaaditaan kokoomanäytteet valmiista betonimurskeesta. Rakenteesta otettavaa näytettä ei vaadita otettavaksi minkään lupamenettelyn osalta, mutta se antaa tärkeää tietoa betonin soveltuvuudesta maarakentamiseen ennen kuin rakennetta on vielä purettu. Mikäli rakenteesta otettavat näytteet sisältävät suuria määriä haitta-aineita, saadaan heti tieto, että betonia ei voida hyödyntää maarakentamisessa ja tällöin lupahakemusta ei kannata lähteä tekemään (Nurmi 2021). Näin ollen MARA-ilmoitusta ja ympäristölupaa hyödynnettäessä tarvitaan kaksi näytteenottokertaa, rakenteesta otettava näyte ja valmiista murskeesta otettava kokoomanäyte. Näytteenoton kustannuksiin sisältyy mm. paikan päällä tehty näytteenotto, näytteenottajan matka- ja päivärahat, MARA-asetuksen mukainen analyysipaketti, näytteen kuljetus sekä timanttiporaus ja kaivinkonetyöt.

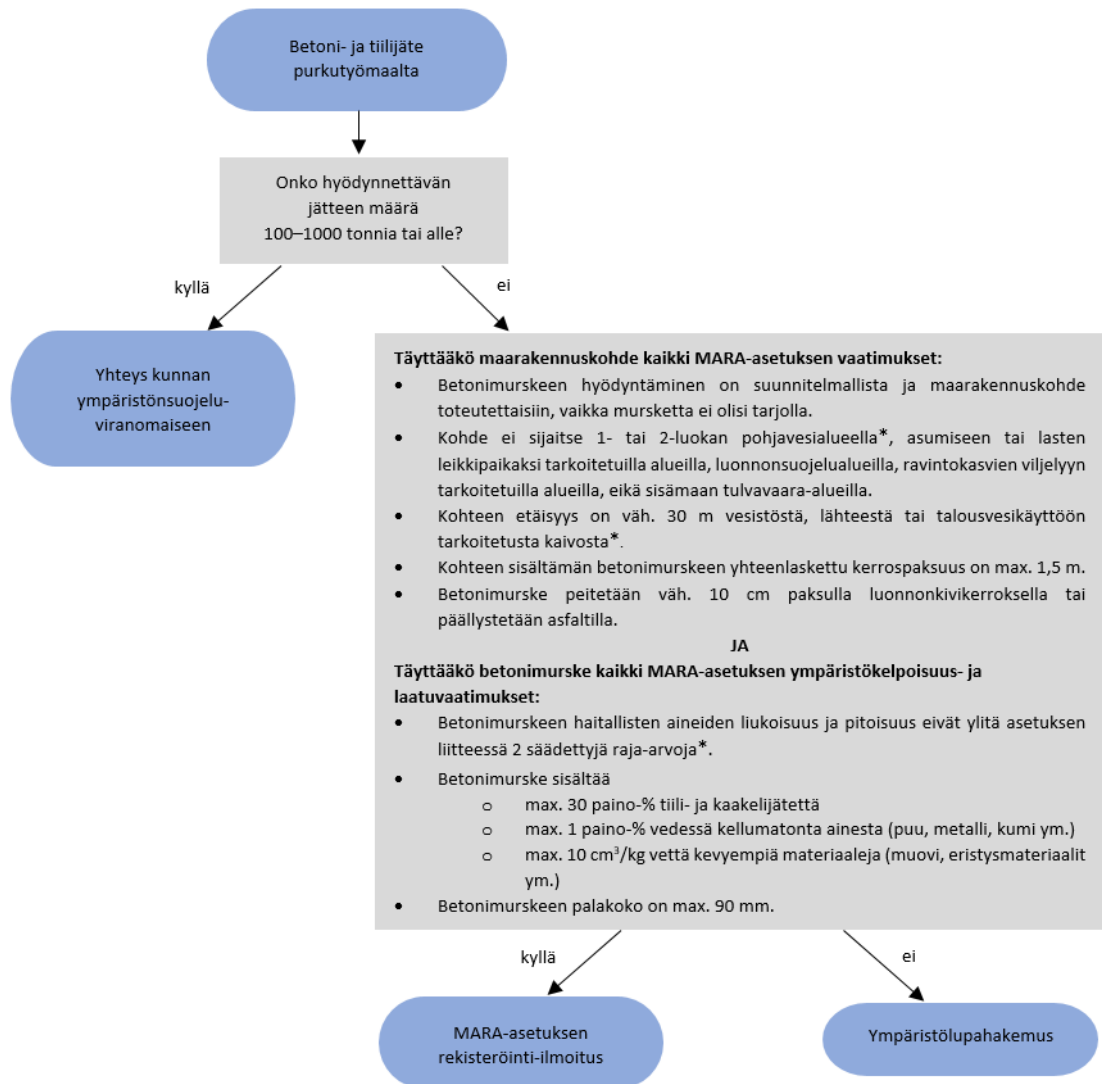
**Taulukko 5.** Yhteenveto lupamenettelyprosessien kestosta ja kustannuksista.

	Kunnallinen viranomaismenettely	MARA-asetuksen rekisteröinti-ilmoitus	Ympäristölupa
Kesto	1 päivä – 2 viikkoa	2 päivää – 3 viikkoa	3–10 kk
Kustannukset			
- näytteenotto	n. 3000 € <sup>(1)</sup>	2 x n. 3000 € <sup>(1)</sup>	2 x n. 3000 € <sup>(1)</sup>
- lupakäsittely	ei maksua <sup>(1)</sup>	220 € <sup>(2)</sup>	n. 5 000 € <sup>(3)</sup>
- konsulttipalvelut	ei tarvetta <sup>(1)</sup>	ei tarvetta <sup>(1)</sup>	n. 15 000 € <sup>(1)</sup>

<sup>1</sup> Fingrid, <sup>2</sup> Pajunen 2018, <sup>3</sup> Attila ym. 2020

Kunnan viranomaisen käsittelemästä ilmoituksesta ei peritä maksua, mutta MARA-ilmoituksen ja ympäristöluvan käsittelyt ovat maksullisia. Yritykset tekevät MARA-ilmoituksen pääsääntöisesti itse, sillä työmäärä on kohtuullisen pieni. Ympäristölupaprosessiin tarvittava työmäärä on taas niin suuri, että siinä käytetään lähes poikkeuksetta ulkopuolista konsulttia. Konsulttipalvelut koostuvat mm. ympäristöluvan hakemiseen liittyvästä suunnittelu- ja selvitystyöstä sekä ympäristönäytteenotosta. Konsulttikustannukset voivat nousta hyvinkin korkeiksi, mikäli kiinteistöllä, jossa betonimursketta hyödynnetään, joudutaan tekemään jälkitarkkailua esimerkiksi murskeen vaikutuksesta läheisiin vesistöihin. (Nurmi 2021)

Yhteenvetona lupamenettelyprosessin määräytymisestä tehtiin prosessikaavio (kuva 15). Kaaviosta käy ilmi, että lupamenettelyn määräytymistä ohjaa hyödynnettävän betonimurskeen määrä sekä maarakennuskohteen ja betonimurskeen ominaisuudet.



\* Hyödyntämislupaa ei ole kannattavaa hakea lainkaan, mikäli maarakennuskohde sijaitsee pohjavesialueella tai vesistöjen läheisyydessä tai jos betonimurske sisältää haitta-aineita.

**Kuva 15.** Prosessikaavio betonimurskeen hyödyntämiseen tarvittavan lupamenettelyn määräytymisestä.

## 6. AINEISTO JA MENETELMÄT

Tässä luvussa esitellään työssä tehtävän tapaustutkimuksen toteutusta. Ensimmäisenä esitellään kahdeksan Fingridin jo toteutunutta sähköasemahanketta. Tämän jälkeen kuvaillaan kasvihuonekaasupäästöjen ja kustannusten laskennassa tarkasteltavien materiaalien elinkaarien vaiheet sekä esitellään laskentaan käytettyjä lähtöarvoja.

### 6.1 Tarkasteltavat sähköasemahankkeet

#### Porvoon sähköasema

Porvoon sähköasema uudistettiin vuosien 2017–2018 aikana. 110 kV kytkinlaitoksen laitteet olivat teknisesti vanhentuneet ja huonokuntoiset, jonka vuoksi laitos purettiin. Vanhan ulkokytkinlaitoksen (kuva 16) tilalle rakennettiin kaasueristeinen GIS-kytkinlaitos. Uudistuksella saatiin varmistettua Porvoon ja sen läheisyydessä sijaitsevan Kilpilahden öljynjalostamon luotettava sähkönsaanti. (Fingrid 2018a)



**Kuva 16.** Porvoon purettu 110 kV kytkinlaitos (Fingrid kuva-arkisto).

Kytkinlaitoksen portaalien, katkaisijoiden ja erottimien betoniset perustukset purettiin ja hyödynnettiin kenttärakenteena. Sähköasema-alueella hyödynnettiin yhteensä noin 600 tonnia betonimurskettä. Lupa hyödyntämiseen saatiin Porvoon rakennus- ja ympäristölautakunnalta. Kunnan myöntämää lupaa varten Fingrid täytti MARA-ilmoituslomakkeen, jonka kunnan viranomaiset käsittelivät ja ympäristölautakunta hyväksyi. (Fingrid 2018a)



### Varkauden sähköasema

Varkauden 110 kV sähköasema uudistettiin vuonna 2018. Kytkinlaitoksen laitteiden betoniperustukset ja muuntajan suojabunkkeri sekä sen perustukset olivat tulleet elinkaarensa päähän, jonka vuoksi ne purettiin (Fingrid 2016a) (kuva 17). Purettujen rakenteiden betoni- ja tiilijäte hyödynnettiin kiinteistöllä osittain kenttärakenteeksi. Tilalle rakennettiin kaasueristeinen GIS-kytkinlaitos. Yhteensä sähköasema-alueella hyödynnettiin noin 174 tonnia betoni- ja tiilimurskettä, joka tehtiin Varkauden kunnan ympäristöviranomaisen luvalla. Lupaa varten Fingrid kävi sähköpostikirjeenvaihdon kunnan viranomaisen kanssa (Nurmi 2021).



**Kuva 17.** Varkauden vanhan 110 kV kytkinlaitoksen laitteet olivat tulleet elinkaarensa päähän (Fingrid kuva-arkisto).

Betonirakenteista otettujen näytteiden perusteella muuntajan betoniperustus todettiin öljyhiilivedyillä ja PCB-yhdisteillä pilaantuneeksi. Pilaantunutta betonia poistettiin yhteensä noin 35 tonnia ja se toimitettiin erilliseen vastaanottoaikaan. Betonimurskeen haitta-ainepitoisuustutkimusten yhteydessä selvitettiin myös sähköasema-alueen maaperän pilaantuneisuutta. Muuntajan perustuksien ja kondensaattoreiden alustan alueelta todettiin öljyhiilivedyillä ja PCB-yhdisteillä pilaantuneita maa-aineksia 0,3–1,6 metrin syvyydellä. Pilaantuneita maa-aineksia poistettiin yhteensä noin 165 tonnia ja ne toimitettiin

jatkokäsittelyyn. Maaperän kunnostus toteutettiin massanvaihdoilla. Kaivantojen täytössä käytettiin puhtaita täyttömaita ja sähköaseman purkutöiden yhteydessä syntynyttä betonimursketta. (Fingrid 2018b)

### **Alajärven sähköasema**

Alajärven 400/110/20 kV sähköasema uudistettiin vuoden 2017 aikana. Asema-alueelta purettiin kytkinkenttä, valvomorakennus ja muuntajan suojabunkkeri. Kytinkentän laitteiden betoniperustukset ja valvomorakennuksen rakenteet hyödynnettiin uuden kytkinkentän pohjarakenteena. Muuntajan suojabunkkerin betoni todettiin pilaantuneeksi öljyjhiilivedyillä, jonka takia se toimitettiin erilliseen vastaanottopaikkaan. Yhteensä betoni- ja tiilimursketta hyödynnettiin sähköasema-alueella noin 4000 tonnia. Lupa murskeen hyödyntämiseen saatiin ELY-keskukselta MARA-ilmoituksella. (Fingrid 2017a)

### **Kalajoen sähköasema**

Kalajoen 220 kV muuntoasema purettiin vuonna 2018 sen käytön päättymisen takia. Aseman purku liittyi Länsi-Suomen kantaverkon kehittämissuunnitelmaan, jossa teknisesti ikääntynyttä voimansiirtoverkkoa vahvistetaan ja uudistetaan korvaamalla 220 kV jännitteinen verkko 400 kV verkolla. (Fingrid 2018c)

Purkubetonia muuntajan suojabunkkerista, reaktoreiden perustuksista ja kytkinkentän laitteiden perustuksista suunniteltiin hyötykäyttäväksi kenttärakenteena. Hyödyntämistä varten tehtiin MARA-ilmoitus Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskukselle. Lupaa betonijätteen hyödyntämiseen ei kuitenkaan myönnetty, sillä ELY-keskus katsoi, että kaivantojen täyttäminen ei kuulu MARA-asetuksen soveltamisalaan. ELY:n kielteisen päätöksen jälkeen betonimurskeen hyödyntämismahdollisuutta kysyttiin vielä Kalajoen kaupungilta, mutta kaupungin viranomaiset kokivat, ettei heillä ole käytössään määräyksiä, joiden perusteella he voisivat myöntää luvan. Lopulta purettujen rakenteiden betonijätettä kuljetettiin pois yhteensä noin 1070 tonnia, jotka vietiin kaatopaikkasijoitukseen. (Nurmi 2021)

### **Ventusnevan sähköasema**

Ventusnevan 220 kV kytkinlaitos ja muuntajat purettiin vuonna 2018. Asema oli toiminut Kokkolassa 220/110 kV muuntoasemana, kunnes Hirvisuon uusi 400/110 kV muuntoasema otettiin käyttöön ja 220 kV jännitetaso poistui Kokkolasta (Fingrid 2018d). Kytinkenttien laitteiden perustuksista ja kahden muuntajan suojabunkkereista syntyvä betoni- ja tiilijäte suunniteltiin osittain hyödynnettäväksi kenttärakenteessa. Toisen suoja-altaan betoni ei ollut hyödyntämiskelpoista sen sisältämien korkeiden sinkkipitoisuuksien takia

(Fingrid 2017b). Tämän vuoksi kontaminoitunut betoni toimitettiin erilliseen vastaanotto-paikkaan. Puhtaan betonijätteen hyödyntämistä varten tehtiin MARA-ilmoitus Etelä-Pohjanmaan ELY-keskukselle, mutta lupaa ei myönnetty, sillä Ventusnevan sähköasema sijaitsee Patamäen 1-luokan pohjavesialueella. Puretuista rakenteista syntynyttä betoni-jätettä kuljetettiin pois yhteensä noin 1425 tonnia, joka vietiin kaatopaikkasijoitukseen.

### **Petäjäveden sähköasema**

Petäjäveden 220 kV sähköasema purettiin vuonna 2018. Asema oli toiminut 1950-luvulta lähtien ja se oli tullut käyttöikänsä päähän (Fingrid 2016b). Tilalle rakennettiin uusi 400 kV muuntoasema. Aseman purkaminen liittyi myös Länsi-Suomen kantaverkon kehittämissuunnitelmaan, jossa teknisesti ikääntynyttä voimansiirtoverkkoa vahvistetaan ja uudistetaan korvaamalla 220 kV jännitteinen verkko 400 kV verkolla (Fingrid 2017c).

Muuntajan suojabunkkerista ja kytkinkentän laitteiden perustuksista syntyvä betonijäte suunniteltiin hyödynnettäväksi kenttärakenteessa. Yksikään betoninäytteistä ei kuitenkaan täyttänyt MARA-asetuksen vaatimuksia. Kaikissa näytteissä joko öljy-, lyijy- tai sinkkipitoisuudet ylittivät asetuksen raja-arvon. Lisäksi Petäjäveden sähköasema sijaitsee pohjavesialueella, jonka takia Fingrid päätti olla hakematta lupaa betonijätteen hyödyntämiseen. Puretuista rakenteista syntynyttä betonijätettä kuljetettiin pois yhteensä noin 1885 tonnia, jotka kuljetettiin jätteenkäsittelykeskukseen. (Fingrid 2018e)

### **Nurmijärven sähköasema**

Nurmijärven 400/110/20 kV muuntoasema uudistettiin vuosien 2018–2019 aikana. Aseman nykyaikaistamisella saatiin varmistettua luotettava sähkönsiirto Keski-Uudenmaan alueen sähkönkäyttäjille. Sähköasema-alueelta purettiin 1970-luvulla rakennetut valvomo- ja reaktorirakennukset. Tilalle rakennettiin uusi valvomorakennus sekä uusi öljynerotus- ja sammutusvesiallas aseman muuntajaa varten. (Fingrid 2019c)

Puretut valvomo- ja reaktorirakennukset olivat betonirakenteisia ja niiden julkisivuverhoiluuna oli käytetty tiiltä. Osa valvomorakennuksen kattorakenteista purettiin haitta-aine- ja asbestipurkuna, sillä kohteen rakenteissa oli todettu haitta-aineita sisältävää tervapapereä sekä asbestia. Purettujen rakennusten betoni- ja tiilijätettä hyödynnettiin sähköasema-alueella yhteensä noin 4005 tonnia huoltoteiden pohjarakenteisiin ja kenttärakenteisiin. Lupa murskeen hyödyntämiseen saatiin ympäristöluvan perusteella. Ympäristölupaa haettiin, koska valvomorakennuksen kellarikerroksen maanalaiset rakenteet jätettiin paikalleen lisäämään maaperän kantavuutta ja kyseiset rakenteet eivät kuulu MARA-asetuksen soveltamisalaan. Lisäksi sähköasema sijaitsee osittain Jäniksenlinnan pohjavesialueella, mutta betonimursketta ei sijoitettu pohjavesialueelle. (Fingrid 2020b)

### **Tihisenniemen sähköasema**

Tihisenniemen sähköasema, joka on keskeinen solmupiste Kainuun alueella, uudistettiin vuoden 2019 aikana. Asemalta jaetaan sähköä Kajaanin kaupunkiin ja Renforsin rannan yritysalueelle. Lisäksi asemalle liittyy Kajaanin voiman vastapainevoimalaitos. Sähkösema oli alun perin 1940-luvulta ja se oli ollut aiemmin UPM-kymmene Oyj:n entisen paperitehtaan käytössä. (Fingrid 2019d)

Asemalta purettiin 110 kV kytkinkenttä, joka oli tullut teknisen tavoiteikänsä päähän sekä valvomorakennus, jossa ei voitu enää työskennellä sen pahan homeongelman takia. Valvomorakennus oli kaksikerroksinen, jonka kantavat rakenteet olivat teräsbetonia ja ulkoseinät olivat tiilirunkoiset (kuva 18). Kytkinkentän laitteiden betoniset perustukset ja valvomorakennuksen betoni- ja tiilirakenteet hyödynnettiin kenttärakenteeksi ELY-keskuksen luvalla. Tilalle rakennettiin 110 kV kaasueristeinen GIS-kytkinlaitos. (Fingrid 2017c)



***Kuva 18. Tihisenniemen purettu valvomorakennus (Fingrid).***

Purkamisessa syntyi yhteensä noin 995 tonnia betoni- ja tiilijätettä, josta noin 492 tonnia käytettiin aseman maarakentamisessa. Loput 503 tonnia vietiin erilliseen vastaanotto-paikkaan, sillä kiinteistöllä ei ollut enää hyödyntämispaikkoja purkujätteelle (Fingrid 2019e). Rakenteiden purkamisen yhteydessä sähköasema-alueella tehtiin myös massanvaihtoa öljyhiilivedyillä pilaantuneille maa-aineksille. Poistettujen pilaantuneiden maa-ainesten määrä oli noin 248 tonnia ja ne toimitettiin jatkokäsittelyyn Majasaaren jätekeskukseen (Fingrid 2019f).

Taulukossa 6 on esitetty yhteenveto tarkasteltavista sähköasemahankkeista.

**Taulukko 6.** Yhteenveto tarkasteltavista sähköasemahankkeista.

Sähkö- asema	Lupa- menettely	Purettavat osat	Toteutus- vuosi	Betoni- jätteen määrä (t)	Hyödynnetty betonijäte (t)	Huomioita
Porvoo	Kunta	Kytkinkenttä	2018	600	600	
Varkaus	Kunta	Kytkinkenttä & muuntaja- bunkkeri	2018	209	174	Pilaantunutta betonia 35 t
Alajärvi	ELY	Kytkinkenttä & valvomo- rakennus	2017	4000	3515	Pilaantunutta betonia 485 t
Kalajoki	ELY (ei lupaa)	Muuntaja- bunkkeri	2018	1067	0	Betonijäte sijoitettiin kaatopaikalle
Ventusneva	ELY (ei lupaa)	Muuntaja- bunkkeri	2018	1423	0	Betonijäte sijoitettiin kaatopaikalle
Petäjävesi	Lupaa ei haettu	Muuntaja- bunkkeri	2018	1885	0	Betonijäte kierrätettiin
Nurmijärvi	Ympäristö- lupa	Valvomo- & reaktori- rakennukset	2018–19	4005	4005	
Tihisenniemi	ELY	Valvomo- rakennus	2018–19	995	492	Betonia vietiin kierrätettä- väksi 503 t

## 6.2 Sähköasemahankkeiden kasvihuonekaasupäästöjen las- kenta

### 6.2.1 Lähtötiedot

Tarkasteltavien sähköasemahankkeiden päästölaskennassa otettiin huomioon betonijätteen ja kalliomurskeen kuljetukset sekä betoni- ja kalliomurskeen valmistuksesta aiheutuvat päästöt. Kaikki asemahankkeet ovat erilaisia hyödynnetyn purkubetonin määrän suhteen, jonka takia kohteiden päästöt eivät ole vertailukelpoisia keskenään. Näin ollen jokaiselle kohteelle laskettiin toteutuneet päästöt ja vertailtavat päästöt. Porvoon, Varkauden, Alajärven, Nurmijärven ja Tihisenniemen asemien vertailtavina päästöinä tarkastellaan tilannetta, jossa purkubetonia ei olisi lainkaan hyödynnetty. Kalajoen, Ventusnevan ja Petäjäveden vertailtavina päästöinä puolestaan tarkastellaan tilannetta, jossa purkubetoni olisi hyödynnetty maarakentamiseen. Taulukkoon 7 on koottu yhteenveto toteutuneista ja vertailtavista tilanteista.

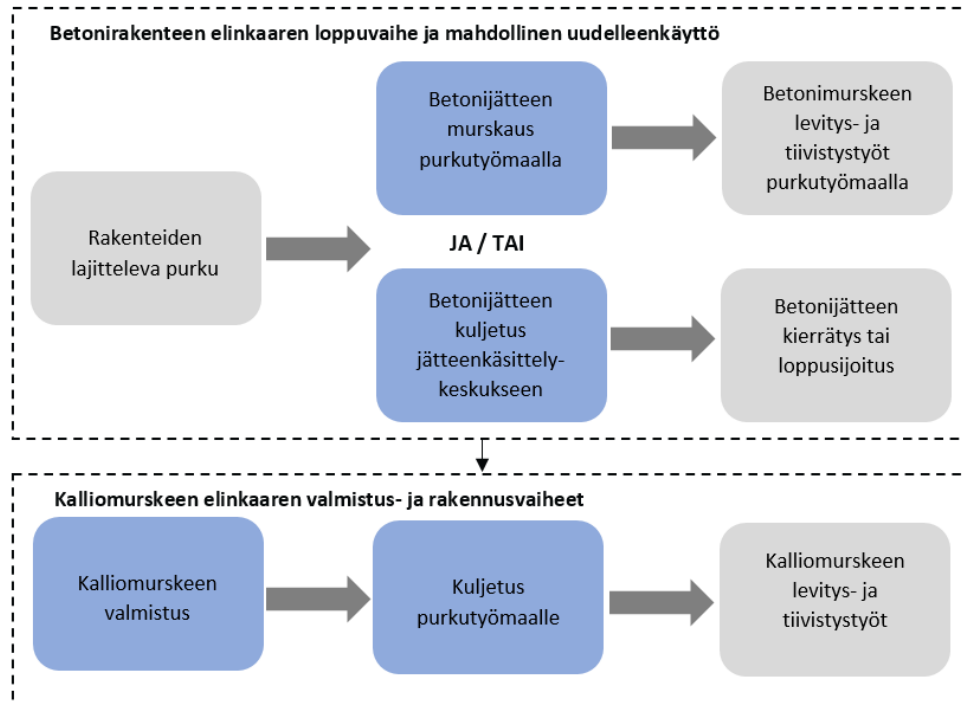
**Taulukko 7.** *Yhteenvedo toteutuneista ja vertailtavista tilanteista.*

Sähköasema	Toteutunut tilanne	Vertailtava tilanne
Porvoo	Kaikki purkubetoni (600 t) hyödynnettiin.	Kaikki purkubetoni olisi viety jätteenkäsittelykeskukseen ja tilalle olisi tuotu 600 t luonnonkiviainesta.
Varkaus	Purkubetoni hyödynnettiin osittain (174 t). Pilaantunutta betonia oli 35 t, joka toimitettiin jätteenkäsittelykeskukseen.	Kaikki purkubetoni (209 t) olisi viety jätteenkäsittelykeskukseen ja tilalle olisi tuotu luonnonkiviainesta.
Alajärvi	Purkubetoni hyödynnettiin osittain (3515 t). Pilaantunutta betonia oli 485 t, joka toimitettiin jätteenkäsittelykeskukseen.	Kaikki purkubetoni (4000 t) olisi viety jätteenkäsittelykeskukseen ja tilalle olisi tuotu luonnonkiviainesta.
Kalajoki	Kaikki purkubetoni (1067 t) vietiin jätteenkäsittelykeskukseen ja tilalle tuotiin luonnonkiviainesta.	Kaikki purkubetoni (1067 t) olisi hyödynnetty.
Ventusneva	Kaikki purkubetoni (1423 t) vietiin jätteenkäsittelykeskukseen ja tilalle tuotiin luonnonkiviainesta.	Kaikki purkubetoni (1423 t) olisi hyödynnetty.
Petäjävesi	Kaikki purkubetoni (1885 t) vietiin jätteenkäsittelykeskukseen ja tilalle tuotiin luonnonkiviainesta.	Kaikki purkubetoni (1885 t) olisi hyödynnetty.
Nurmijärvi	Kaikki purkubetoni (4005 t) hyödynnettiin.	Kaikki purkubetoni olisi viety jätteenkäsittelykeskukseen ja tilalle olisi tuotu 4005 t luonnonkiviainesta.
Tihisenniemi	Purkubetoni hyödynnettiin osittain (492 t). Loput 503 t vietiin jätteenkäsittelykeskukseen, sillä kiinteistöllä ei ollut enää hyödyntämissä paikkoja.	Kaikki purkubetoni olisi viety jätteenkäsittelykeskukseen ja tilalle olisi tuotu 995 t luonnonkiviainesta.

Täten, päästölaskenta jaettiin kahteen tapaustarkasteluun tarkasteltavien tilanteiden mukaisesti:

- 1) toteutuneet päästöt, ja
- 2) vertailtavat päästöt.

Tapaustarkasteluissa huomioitavien elinkaarien vaiheet on esitetty kuvassa 19. Betonirakenteiden elinkaarivaiheiden osalta päästölaskennassa otetaan huomioon betonijätteen murskaus purkutyömaalla ja betonijätteen kuljetus jätteenkäsittelykeskukseen. Luonnonkiviaineksen elinkaarivaiheiden osalta tarkastellaan puolestaan kalliomurskeen valmistuksen ja kuljetuksen päästöjä. Kaikki luonnonkiviaines, jota sähköasemilla käytetään ei ole välttämättä aina kalliomursketta, mutta kalliomurskeen käyttö on hyvin yleistä erityisesti kasvukeskuksien läheisyydessä.



**Kuva 19.** Toteutuneiden ja vertailtavien päästöjen laskennassa betonirakenteen elinkaaren osalta huomioidaan betonijätteen murskaus purkutyömaalla ja betonijätteen kuljetus jätteenkäsittelykeskukseen (sinisellä). Kalliomurskeen elinkaaren osalta päästölaskennassa huomioidaan sen valmistus ja kuljetus purkutyömaalle (sinisellä).

Levitys- ja tiivistystöitä ei otettu huomioon päästölaskennassa, sillä arvioitiin, että betoni- ja kalliomurskeen levitys- ja tiivistystöihin kuluva aika on keskimäärin yhtä paljon. Päästölaskennassa ei myöskään huomioitu betonin karbonatisoitumista, sillä purkutyömailla murskattu betoni levitettiin kohteissa maahan heti, kun laboratoriotulokset betonimurskeen ympäristökelpoisuudesta olivat saapuneet. Tämän jälkeen betonimurske peitettiin luonnonkiviaineksella. Tällöin voidaan olettaa, että hiilidioksidin sitoutumista ei ehdi tapahtua merkittävästi.

Päästölaskenta toteutettiin Excel-laskentana, jossa hyödynnettiin VTT:n LIPASTO-tietokantaa. Tietokantaan on koottu mm. tavaraliikenteen ja työkonien päästökertoimia. Päästöjä tarkastellaan hiilidioksidiekvivalenteina ( $\text{CO}_2$  ekv.), joka koostuu hiilidioksidin ( $\text{CO}_2$ ), metaanin ( $\text{CH}_4$ ) sekä typpioksiduulin ( $\text{N}_2\text{O}$ ) yhdistetystä ilmastovaikutuksesta muunnettuna hiilidioksidin vastaavaksi vaikutukseksi ilmakehässä. Tavaraliikenteen päästöt esitetään ajoneuvokilometriä kohden (g/km). Yksikkö kuvaa kilometrin matkalla ajoneuvon tuottamaa päästöä, johon vaikuttaa ajoneuvon omapaino ja kyydissä olevan tavarain paino (taulukko 8). (VTT 2017)

**Taulukko 8.** *Tavaraliikenteen keskimääräiset käytönaikaiset päästömäärät vuonna 2016 (VTT 2017).*

Ajoneuvoyhdistelmä, tieosuus	Päästöt, CO <sub>2</sub> ekv. (g/km)		Kantavuus (t)
	Tyhjä	Täysi kuorma	
Täysperävaunu (9-akselinen), maantie	872	1432	51
Täysperävaunu (9-akselinen), taajama	1361	2552	

Ajoneuvoksi valittiin täysperävaunuyhdistelmä, sillä pääsääntöisesti tarkasteltavien kohteiden betonijätteet kuljetettiin kyseisellä ajoneuvoyhdistelmällä. Päästöarvot on eritelty maantie- ja taajama-ajolle sekä tyhjälle ja täydelle kuormausasteelle. Maantieajolla tarkoitetaan keskimääräistä ajamista valtion ylläpitämällä maantieverkolla. Taajama-ajolla puolestaan tarkoitetaan ajamista matkanopeudella 30 km/h, joka sisältää noin kolme pysähdystä kilometrille. Täysi kuorma tarkoittaa ajoneuvon kuormauskapasiteetin mukaista lastin painoa tonneissa. Tällöin päästömäärä riippuu massasta, ei tilavuudesta. Tyhjä kuorma taas sisältää vain ajoneuvon oman massan. Päästöt laskettiin meno-paluu periaatteella. Menomatkat oletettiin tehtäväksi täydellä kuormalla ja paluumatkat tyhjällä kuormalla. (VTT 2017)

Kuorman lastaus ajoneuvon kyytiin aiheuttaa myös päästöjä. Kuorma-autot lastataan useimmiten pyöräkuormaajalla tai kaivinkoneella. Tässä työssä lastaukset suorittavaksi työkoneeksi valittiin dieselkäyttöinen pyöräkuormaaja. Työkoneen päästöt esitetään polttoaineen kulutusta kohden (taulukko 9) (VTT 2017).

**Taulukko 9.** *Lastausten päästöjen laskennassa käytettyjä lukuja.*

Työkone	Päästöt, CO <sub>2</sub> ekv. (g/l)	Polttoaineen kulutus (l/h)	Yhden lastauksen kesto (min)	Yhden lastauksen päästöt (g CO <sub>2</sub> ekv)
Pyöräkuormaaja	2673 <sup>(1)</sup>	15 <sup>(2)</sup>	8 <sup>(3)</sup>	5346

<sup>1</sup> VTT 2017; <sup>2</sup> Klanfar ym. 2016; <sup>3</sup> Häkkinen 2019

Lastauksen polttoaineen kulutus vaihtelee työkonen ja kuljettajan mukaan. Pyöräkuormaajan polttoaineen kulutukseksi betonijätteen ja kalliomurskeen lastauksessa arvioitiin 15 l/h (Klanfar ym. 2016). Lisäksi pyöräkuormaajan yhden lastauksen keston arvioitiin olevan 8 minuuttia (Häkkinen 2019). Betonijätteen ja kalliomurskeen lastaukseen kulu- vassa ajassa ei oletettu olevan merkittäviä eroja.

Kuljetusten ja lastausten lisäksi päästölaskennassa otettiin huomioon betonijätteen murskauksesta aiheutuvat päästöt purkutyömaalla sekä luonnonkiviaineksen valmistuksen päästöt. Betonijäte murskataan purkutyömaalla kaivinkoneeseen liitettävän murskauhan avulla. Kalliomurske valmistetaan puolestaan liikuteltavalla murskainlaitoksella,



joka sisältää murskaimen lisäksi seulan. Laskennassa oletettiin, että murskauslaitokseen syötetään kalliomursketta kaivinkoneella. Kaivinkoneen ja murskauslaitoksen päästöt esitetään polttoaineen kulutusta kohden (taulukko 10).

**Taulukko 10.** *Betonijätteen ja luonnonkiviaineksen murskauksen päästöjen laskennassa käytettyjä arvoja.*

Työkone	Päästöt, CO <sub>2</sub> (g/l)	Päästöt, CO <sub>2</sub> ekv. (g/l)	Polttoaineen kulutus (l/h)	Valmistusnopeus (t/h)
Kaivinkone, tela-alustainen	2656 <sup>(1)</sup>	2672 <sup>(1)</sup>	20 <sup>(2)</sup>	42 <sup>(3)</sup>
Murskauslaitos	2680 <sup>(4)</sup>	2696	35 <sup>(4)</sup>	148 <sup>(3)</sup>

<sup>1</sup> VTT 2017; <sup>2</sup> Klanfar ym. 2016; <sup>3</sup> Håkämies ym. 2018; <sup>4</sup> Anttila 2021

Murskauslaitokselle ei löytynyt päästöarvoa hiilidioksidiekvivalentteina, eikä metaani- ja typpioksiduulipäästöjä. Tämän vuoksi tehtiin oletus, että murskauslaitoksen metaani- ja typpioksiduulipäästöt ovat samat, kuin tela-alustaisen kaivinkoneen. Näin murskauslaitoksen päästöt pystyttiin laskemaan CO<sub>2</sub> -ekvivalentteina.

## 6.2.2 Kuljetukset, lastaukset ja murskeiden valmistus

Betonijätteiden kuljetuksia varten kuljetusmatkat ja tieosuudet arvioitiin Google Maps:in perusteella, kun tiedettiin sähköasemien ja betonijätteiden vastaanottopaikkojen sijainnit (taulukko 11). Kaikkien tieosuuksien arvioitiin olevan suurimmaksi osaksi maantietä. Hyödynnetty purkubetoni murskattiin purkutyömailla kaivinkoneeseen liitettävällä murskakauhalla.

**Taulukko 11.** *Toteutuneiden päästöjen laskemiseen käytettyjä arvoja.*

Sähköasema	Poiskuljetettu betonijäte (t)	Betonijätteen kuljetusmatka (km)	Kuljetusväli	Hyödynnetty betoni (t)	Luonnonkiviaines (t)
Porvoo	0	0	-	600	450
Varkaus	35	11	Varkaus - Leppävirta	174	485
Alajärvi	485	261	Alajärvi - Leppävirta	3515	485
Kalajoki	1067	116	Kalajoki - Pietarsaari	0	1067
Ventusneva	1423	34	Kokkola - Pietarsaari	0	1423
Petäjävesi	1885	173	Petäjävesi - Leppävirta	0	1885
Nurmijärvi	0	0	-	4005	1200
Tihisenniemi	503	12	Kajaanin sisäinen	492	503

Luonnonkiviainesten osalta kuljetusmatkan oletettiin olevan 50 km jokaisen sähköaseman ja kiviainesottopaikan välillä. Tieosuuden oletettiin olevan pelkkää maantietä. Sähköasemilla, joissa betonia kuljetettiin pois, oletuksena oli, että luonnonkiviainesta tuodaan saman verran tilalle. Porvoossa ja Nurmijärvellä hyödynnetyn betonimurskeen päälle levitettiin MARA-asetuksen mukaisesti vähintään 10 cm kerros luonnonkiviainesta. Kalajoen, Ventusnevan ja Petäjaveden sähköasemilla ei hyödynnetty purkubetonia lainkaan, joten oletettiin, että luonnonkiviainesta tuotiin tilalle saman verran, kuin purkubetonia vietiin pois.

Taulukkoon 12 on koottu vertailtavien päästöjen laskemiseen käytettyjä arvoja. Porvoon, Varkauden, Alajärven, Nurmijärven ja Tihisenniemen asemien kohdalla tarkasteltiin tilannetta, jossa kaikki purkubetoni olisi kuljetettu pois. Kalajoen, Ventusnevan ja Petäjaveden kohdalla tarkasteltiin sen sijaan tilannetta, jossa kaikki purkubetoni olisi hyödynnetty, jolloin poiskuljetettavaa betonia ei olisi syntynyt.

**Taulukko 12.** *Vertailtavien päästöjen laskemiseen käytettyjä arvoja.*

Sähkö- asema	Poiskuljetettu betonijäte (t)	Betonijätteen kuljetusmatka (km)	Kuljetus- väli	Hyödynnetty betoni (t)	Luonnon- kiviaines (t)
Porvoo	600	54	Porvoo - Vantaa	0	1050
Varkaus	209	10	Varkaus - Leppävirta	0	695
Alajärvi	4000	261	Alajärvi - Leppävirta	0	4000
Kalajoki	0	0	-	1067	150
Ventusneva	0	0	-	1423	150
Petäjävesi	0	0	-	1885	150
Nurmijärvi	4005	30	Nurmijärvi - Vantaa	0	4005
Tihisenniemi	995	12	Kajaanin sisäinen	0	995

Porvoon ja Nurmijärven sähköasemien betonijätteen vastaanottopaikaksi valittiin lähin jätteenkäsittelykeskus, jolla on ympäristölupa ja mahdollisuus vastaanottaa suuria määriä betonijätettä. Varkauden, Alajärven ja Tihisenniemen tapauksissa vastaanottopaikaksi valittiin sama määränpää, johon osa purkubetoneista todellisuudessa kuljetettiin. Luonnonkiviaineksen tarve Kalajoen, Ventusnevan ja Petäjaveden kohdalla on arvioitu siten, että muuntajaperustuksen noin 1000 m<sup>2</sup> alueelle levitettävän betonimurskeen päälle tulee vähintään 10 cm kerros luonnonkiviainesta.

### 6.3 Sähköasemahankkeiden kustannuslaskenta

Päästölaskennan tapaan kaikille sähköasemille laskettiin toteutuneet ja vertailtavat kustannukset. Kustannusten laskentaan sisällytettiin betonijätteen vastaanotto ja kuljetus, betonimurskeen käytön lupamenettely, betonimurskeen valmistaminen purkutyömaalla sekä luonnonkiviaineksen hankkiminen. Taulukkoon 13 on koottu kustannusten laskeamiseen käytettyjä arvoja.

**Taulukko 13.** Sähköasemahankkeiden kustannusten laskemiseen käytettyjä arvoja.

Kustannustekijä	Hinta	Huomioita
Betonijätteen vastaanotto - puhdas betoni - pilaantunut betoni - punnitusmaksu	25 €/t <sup>(1)</sup> 30 €/t <sup>(1)</sup> 16 €/kuorma <sup>(1)</sup>	Hinta vaihtelee betonin puhtauden ja vastaanottoaikan mukaan.
Betonijätteen kuljetus	800 €/nouto <sup>(1)</sup>	Noutomaksu suoraan täysperävauvuun
Lupamenettely - kunnallinen viranomaismenettely - MARA-ilmoitus - ympäristölupa	n. 3 000 € <sup>(1)</sup> n. 6 220 € <sup>(1)</sup> n. 26 000 € <sup>(1)</sup>	sis. yhden näytteenoton  sis. kaksi näytteenottoa ja ELY:n lupakäsittelymaksun  sis. kaksi näytteenottoa, lupakäsittelymaksun ja konsulttipalvelut
Betonimurskeen valmistus purkutyömaalla kauhamurskaimella	3 €/t <sup>(2)</sup>	Hinta vaihtelee purkutyömaan sijainnin ja betonijätteen lähtötilanteen mukaan.
Kalliomurske - hankinta - kuljetus	10,54 €/t <sup>(3)</sup> 15 €/t per 50 km <sup>(4)</sup>	Hinnat vaihtelevat paikkakunnan ja kuljetusliikkeiden mukaan.

<sup>1</sup> Fingrid, <sup>2</sup> Kuulasvuori 2021, <sup>3</sup> Multalan Sora 2021, <sup>4</sup> Dettenborn ym. 2019

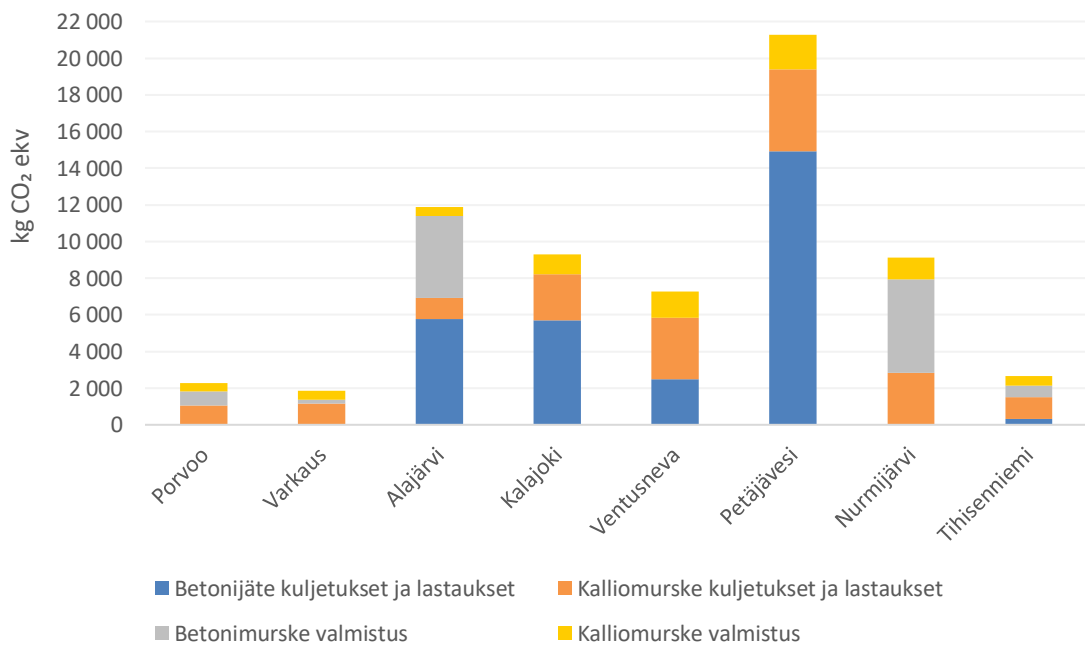
Betonijätteen vastaanotto- ja kuljetushinnat ovat arvioita Fingridin ja jätepalvelutoimittajien sopimushinnoista. Kaikissa sähköasemahankkeissa hintojen oletettiin olevan samoja, vaikka todellisuudessa ne voivat vaihdella suuresti eri paikkakuntien ja jätepalvelutoimittajien välillä. Betonimurskeen hyödyntämiseen tarvittavan viranomaisluvan hankintaan liittyvät kustannukset on myös arvioitu Fingridin jo toteutuneiden sähköasemahankkeiden perusteella. Lisäksi betonimurskeen valmistuksen ja luonnonkiviainesten hankinnan kustannukset voivat vaihdella paikkakunnan ja urakoitsijan mukaan.

## 7. TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU

Tässä luvussa esitellään sähköasemahankkeiden päästö- ja kustannuslaskennan tulokset sekä tarkastellaan niitä.

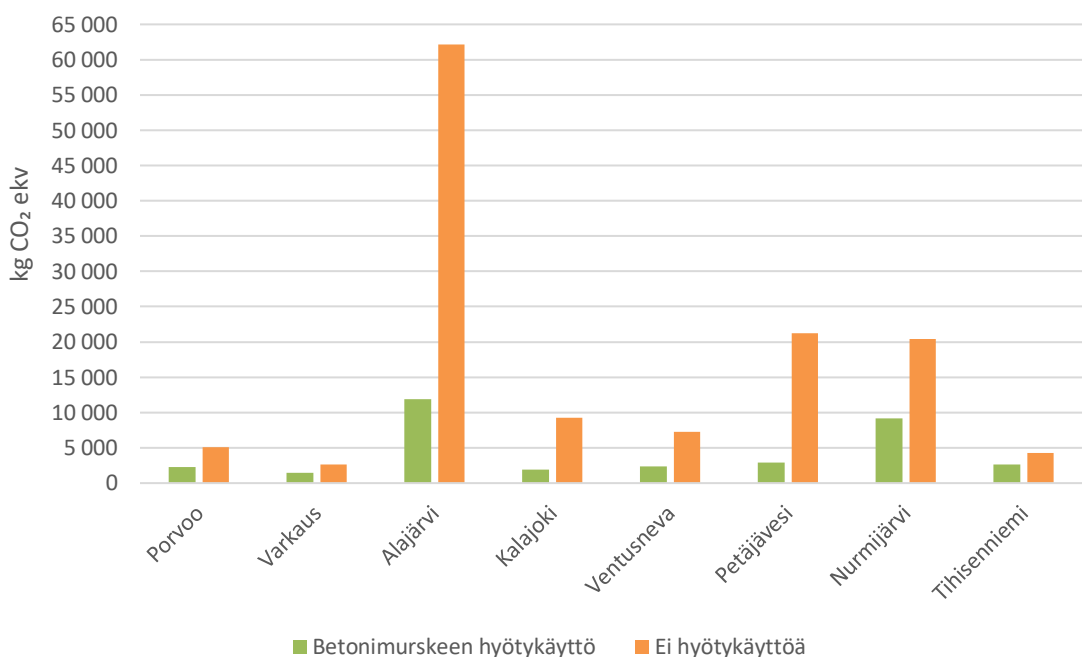
### 7.1 Sähköasemahankkeiden kasvihuonekaasupäästöt

Sähköasemahankkeiden suurimmat toteutuneet päästöt aiheutuivat pääsääntöisesti betonijätteen sekä luonnonkiviaineksen kuljetuksista ja lastauksista (kuva 20). Suurimmat kokonaispäästöt syntyivät Petäjaveden, Alajärven, Kalajoen ja Nurmijärven hankkeista. Petäjävedellä ja Kalajoella betonimursketta ei hyödynnetty lainkaan. Petäjävedeltä betonijätettä kuljetettiin 1885 tonnia jätteenkäsittelykeskukseen ja Kalajoelta 1067 tonnia. Betonijätteen kuljetusmatka Petäjävedeltä oli 173 km ja Kalajoelta 116 km. Myös Alajärvellä kokonaispäästöt ovat suuret, vaikka suurin osa purkubetonista (3515 t) hyödynnettiin. Osa betonista (485 t) oli pilaantunutta, jonka takia se kuljetettiin jätteenkäsittelykeskukseen. Alajärven aseman ja jätteenkäsittelykeskuksen väliseksi matkaksi muodostui 261 km, jonka takia hankkeen kokonaispäästöt nousivat korkealle.



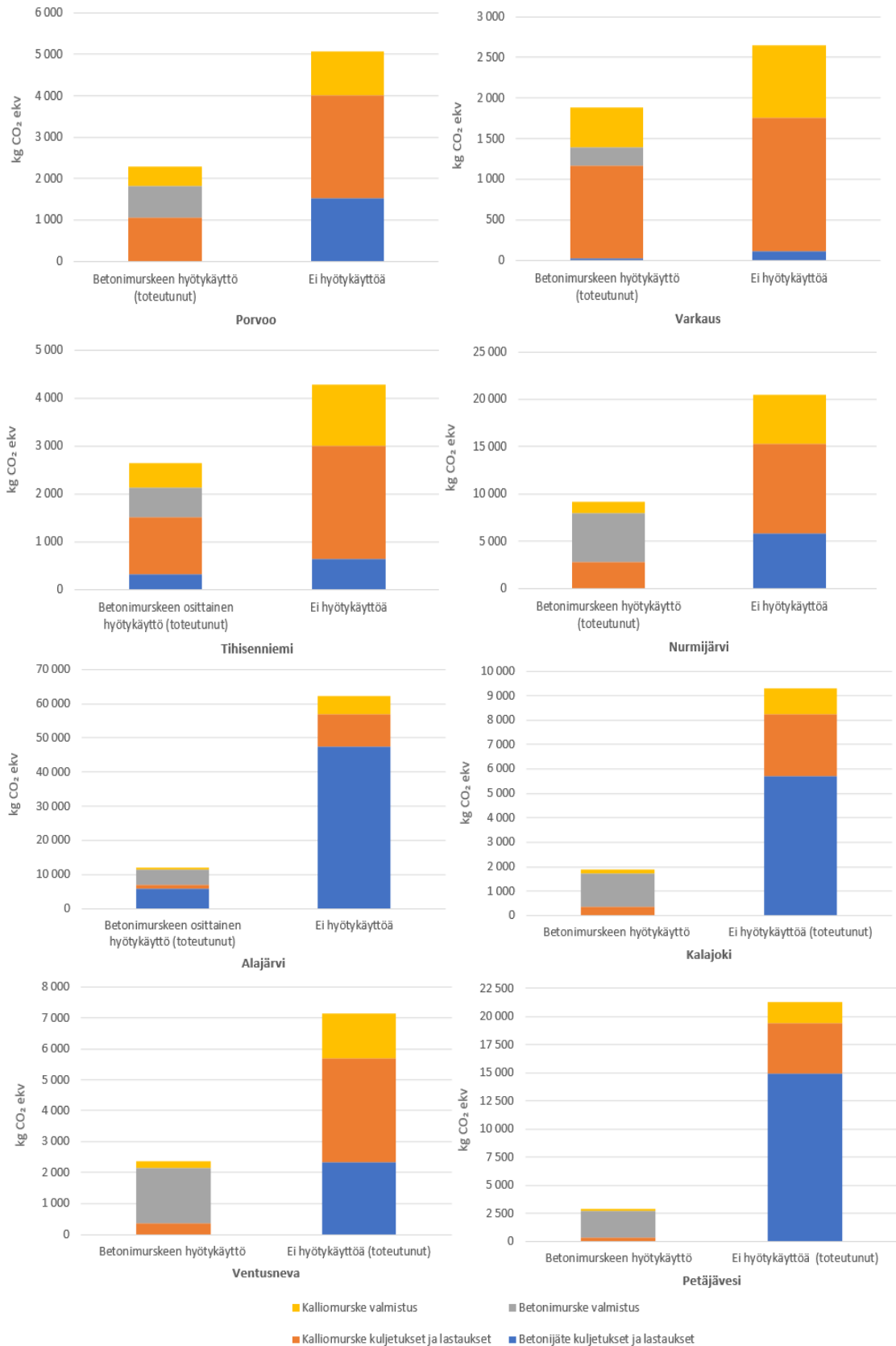
**Kuva 20.** Yhteenveto sähköasemahankkeiden toteutuneista päästöistä.

Kuvassa 21 on esitetty sähköasemahankkeiden päästöjen erot, kun purkubetoni on hyödynnetty maarakentamiseen ja kun betonia ei ole hyödynnetty, vaan se on viety jätteenkäsittelykeskukseen ja tilalle on tuotu luonnonkiviainesta. Kuvasta nähdään, että jokaisen sähköaseman kohdalla päästöt ovat suuremmat, jos purkubetonia ei ole hyödynnetty. Toisaalta etenkin Porvoon, Varkauden ja Tihisenniemen asemien päästöt betonin hyödyntämisen ja hyödyntämättä jättämisen välillä ovat pienet verrattuna muihin asemiin. Selityksenä tälle on, että näissä kohteissa purkubetonin määrä oli pieni, kaikissa alle 1000 tonnia, ja purkubetonin kuljetusmatka oli lyhyt, enintään 54 km. Alajärven asemalta betoni kuljetettiin puolestaan 261 kilometrin päähän.



**Kuva 21.** Vertailu sähköasemahankkeiden kasvihuonekaasupäästöistä, kun betonimurske on hyödynnetty ja kun sitä ei ole hyödynnetty.

Kuvasta nähdään myös, että asemahankkeiden kasvihuonekaasupäästöt vaihtelevat suurusluokiltaan, jonka vuoksi niitä on vaikea vertailla keskenään. Tästä syystä jokaisesta asemahankkeesta tehtiin omat kuvaajat, joissa on esitetty toteutuneet ja vertailtavat päästöt (kuva 22).



**Kuva 22.** Perusparannushankkeiden kasvihuonekaasupäästöt sähköasemittain.

Porvoon, Varkauden ja Tihisenniemen sähköasemahankkeet ovat päästöjen osalta samankaltaisia. Toteutuneet kokonaispäästöt olivat noin 2000–3000 CO<sub>2</sub> ekv. ja hyödynnetyn purkubetonin määrä kaikissa kohteissa oli alle 1000 tonnia. Mikäli betonimursketta ei olisi hyödynnetty lainkaan, hankkeiden kokonaispäästöt olisivat olleet noin 2600–7000 CO<sub>2</sub> ekv., eli noin 1,5–2 kertaa suuremmat.

Nurmijärvellä purettiin valvomo- ja reaktorirakennukset, joista syntynyt betoni- ja tiilimurske (4005 t) hyödynnettiin maarakentamiseen. Toteutuneet päästöt olivat noin 9000 CO<sub>2</sub> ekv., joista suurin osa aiheutui betonijätteen murskauksesta purkutyömaalla. Nurmijärven ja Porvoon hankkeet olivat ainoat, joissa kaikki betoni hyödynnettiin paikan päällä. Mikäli purkubetonia ei olisi hyödynnetty lainkaan, päästöt olisivat olleet noin kaksi kertaa suuremmat. Betonin hyötykäytön ansiosta myös luonnonkiviainesta säästettiin lähes 3000 tonnia.

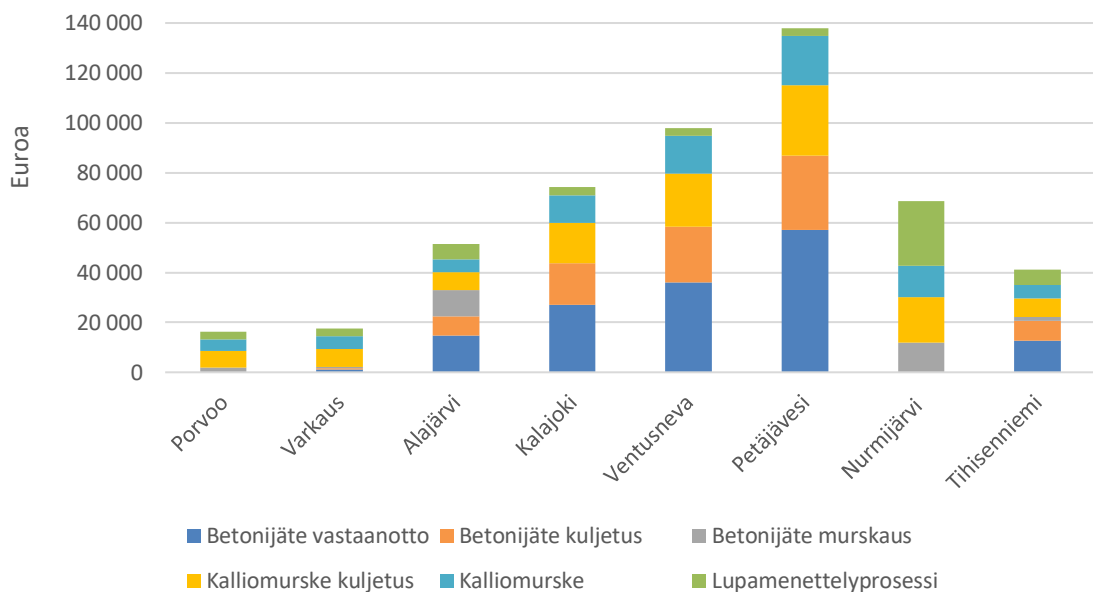
Myös Kalajoen, Ventusnevan ja Petäjaveden hankkeet ovat keskenään samanlaisia, sillä kohteissa purettiin muuntajien suojabunkkerit ja purkubetonia ei hyödynnetty lainkaan. Hankkeiden toteutuneet kokonaispäästöt olivat noin 7000–20 000 CO<sub>2</sub> ekv. Suurimmat kokonaispäästöt syntyivät Petäjävedellä, josta kuljetettiin 1885 tonnia betonia 173 kilometrin päähän jätteenkäsittelykeskukseen. Suuren betonimäärän ja pitkän kuljetusmatkan vuoksi pelkästään betonijätteen kuljetusten päästöt ovat noin 15 000 CO<sub>2</sub> ekv. Kalajoelta kuljetettiin 1067 tonnia betonijätettä 116 kilometrin päähän, kun taas Ventusnevalta 503 tonnia betonia kuljetettiin vain 34 kilometrin päähän. Mikäli betonimurske olisi voitu hyödyntää, kokonaispäästöt olisivat olleet kaikilla asemilla noin 2000–3000 CO<sub>2</sub> ekv., eli 3–7 kertaa pienemmät.

Alajärven toteutuneet kokonaispäästöt olivat noin 12 000 CO<sub>2</sub> ekv., joista suurin osa aiheutui betonijätteen poiskuljettamisesta, vaikka valtaosa purkubetonista hyödynnettiin maarakentamiseen. Petäjaveden ja Kalajoen tapaan, myös Alajärven sähköasemalta betonia kuljetettiin kauas, 261 kilometrin päähän. Pitkien kuljetusmatkojen tarkkoja syitä ei tiedetä. Jätehuoltotoimittajat valikoivat vastaanottoaikat pääsääntöisesti mahdollisimman läheltä työmaata. On kuitenkin olemassa myös poikkeustilanteita, kuten materiaalin pilaantuneisuus ja vastaanottoaikaan jatkokäsittely- ja hyödyntämismahdollisuudet sekä vastaanoton hinnoittelu (Kivelä 2021). Petäjaveden, Kalajoen ja Alajärven asemilta poiskuljetettu betoni sisälsi haitta-aineita. Tällöin vastaanottoaikaan valintaan on voinut vaikuttaa esimerkiksi seuraavat asiat: lähempänä sijaitsevassa paikassa ei ole ollut mahdollisuutta ottaa vastaan pilaantunutta betonijätettä, tai vastaanottomaksu on ollut niin

korkea, että on tullut edullisemmaksi kuljettaa betonijätteet toiseen paikkaan, tai lähempänä sijaitsevan paikan ympäristöluvassa määritelty betonijätteen vuotuinen vastaanottomäärä ollut jo täynnä.

## 7.2 Sähköasemahankkeiden kustannukset

Sähköasemahankkeiden suurimmat toteutuneet kustannukset aiheutuivat pääosin samoista tekijöistä, kuin kasvihuonekaasupäästöt: betonijätteen poiskuljettamisesta ja luonnonkiviaineksen hankinnasta (kuva 23). Suurimmat kustannukset aiheutuivat Petäjäveden, Ventusnevan ja Kalajoen hankkeista, joissa purkubetonia ei hyödynnetty maarakentamisessa. Toisaalta Nurmijärven kustannukset nousivat myös korkealle, vaikka kaikki betoni- ja tiilijäte hyödynnettiin. Nurmijärvellä suurin kustannustekijä oli betonimurskeen hyödyntämiseen tarvittavan ympäristöluvan hakeminen, jossa suuren työmäärän vuoksi käytettiin konsulttipalveluita.

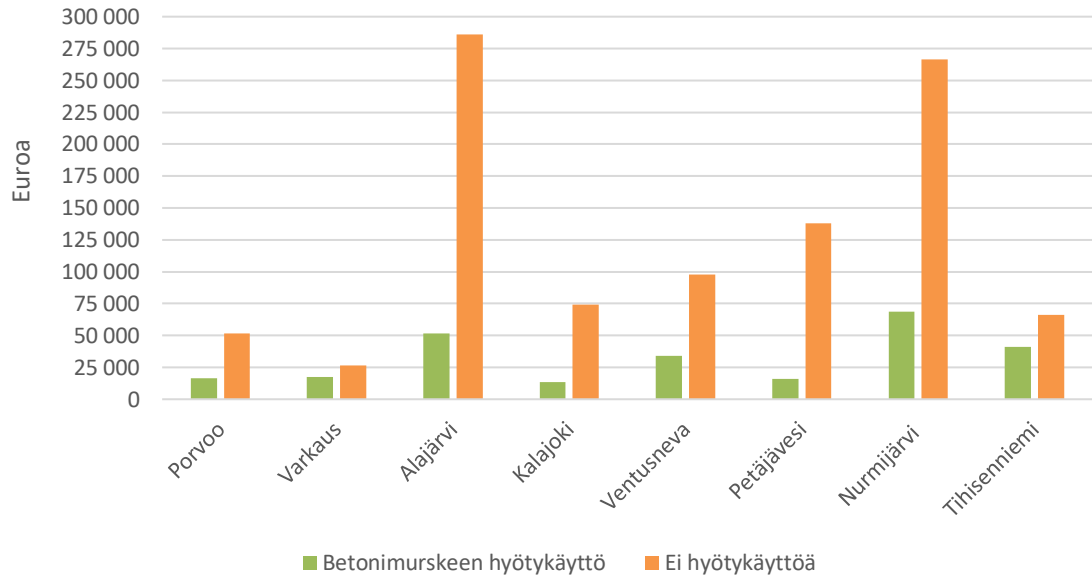


**Kuva 23.** Yhteenveto sähköasemahankkeiden toteutuneista kustannuksista.

Kuvassa 24 on esitetty sähköasemahankkeiden kustannusten erot, kun purkubetoni on hyödynnetty maarakentamiseen ja kun betonia ei ole hyödynnetty. Kuvaajasta nähdään, että jokaisen sähköaseman kohdalla kustannukset ovat suuremmat, jos purkubetonia ei ole hyödynnetty maarakentamisessa. Kuva osoittaa myös, että betonijätteen ei-hyötykäytön kustannukset ovat suoraan verrannolliset poiskuljetettavan betonin määrään. Alajärven ei-hyötykäytön kustannukset ovat suurimmat ja purkubetonia syntyi 4000 tonnia, josta 485 tonnia sisälsi haitta-aineita. Pilaantuneen betonin vastaanottohinta on korkeampi kuin puhtaan. Nurmijärven kustannukset ovat toiseksi suurimmat ja puhdasta

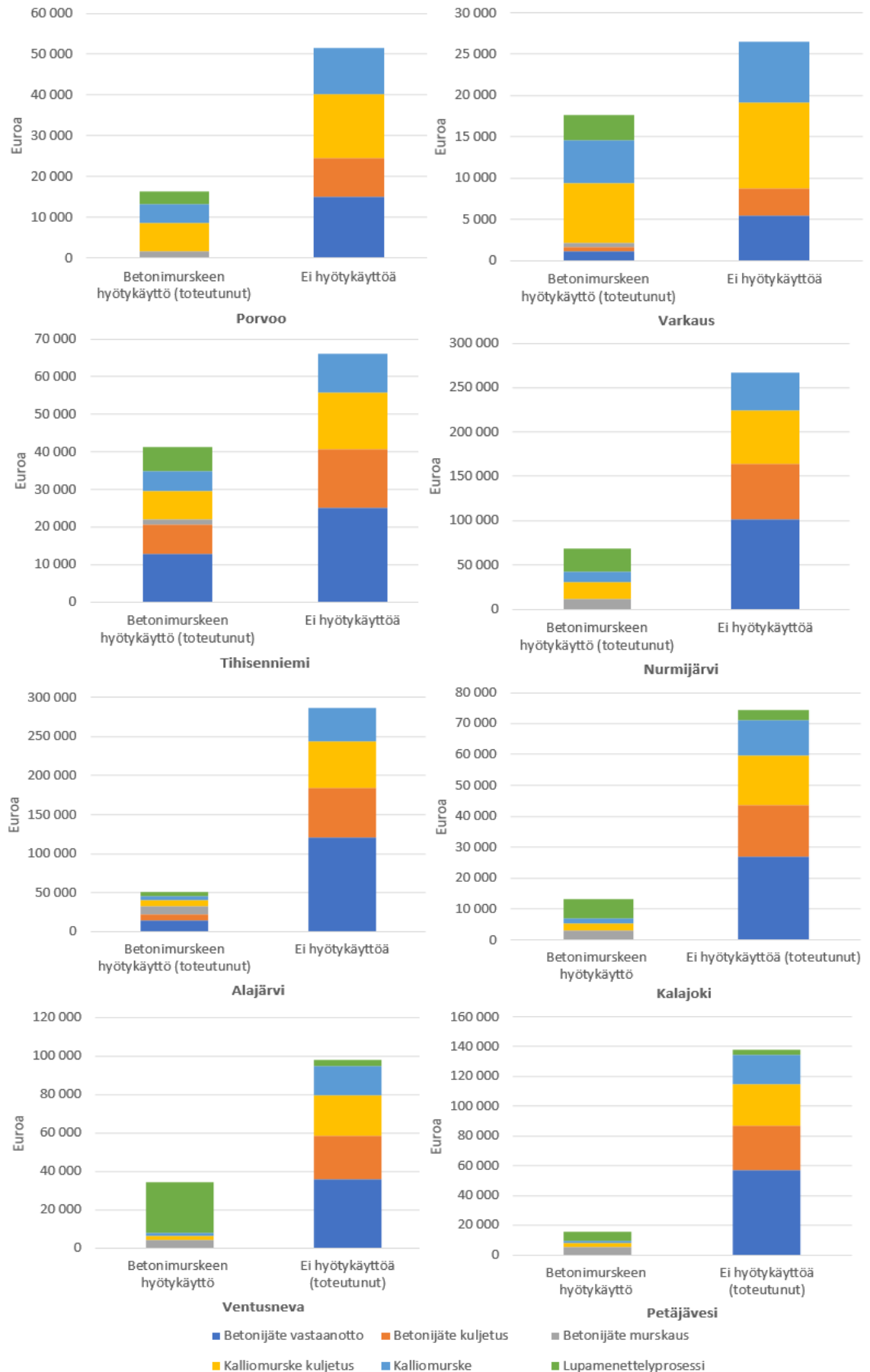


betonijätettä syntyi 4005 tonnia. Porvoon, Varkauden ja Tihisenniemen asemien kustannukset betonin hyötykäytön ja ei-hyötykäytön välillä ovat pienet verrattuna muihin asemiin, sillä kaikissa hankkeissa betonijätettä syntyi alle 1000 tonnia.



**Kuva 24.** Vertailu sähköasemahankkeiden kustannuksista, kun betonimurske on hyödynnetty ja kun sitä ei ole hyödynnetty.

Asemahankkeiden kustannukset vaihtelevat suuruusluokaltaan merkittävästi, jonka vuoksi niitä on vaikea vertailla. Tämän vuoksi jokaisesta asemahankkeesta tehtiin omat kuvaajat, joissa on esitetty toteutuneet ja vertailtavat kustannukset (kuva 25).



**Kuva 25.** Perusparannushankkeiden kustannukset sähköasemittain.

Porvoon ja Varkauden perusparannushankkeet ovat kustannusten osalta samanlaisia. Molemmissa toteutuneet kokonaiskustannukset olivat lähes 20 000 euroa ja suurin kustannustekijä oli kalliomurskeen hankinta. Betonimurskeen hyödyntämisen avulla Porvoossa saavutettiin noin 35 000 euron säästöt ja Varkaudessa noin 10 000 euron säästöt. Porvoon aseman kustannussäästöt ovat suuremmat, sillä betonijätteen määrä oli suurempi (600 t). Varkaudessa betonijätteen määrä oli vain noin 209 tonnia.

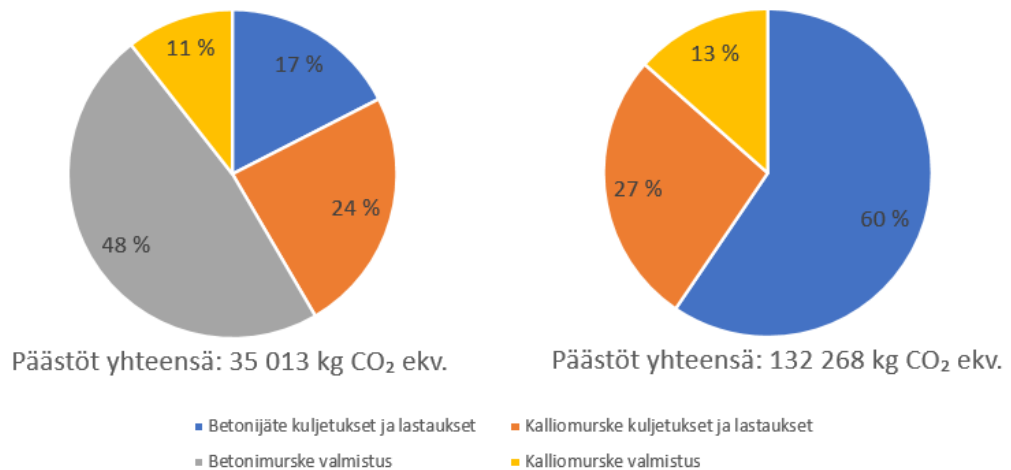
Tihisenniemen toteutuneet kustannukset olivat noin 40 000 euroa, kun syntyneestä purkubetonista (995 t) hyödynnettiin noin puolet maarakentamiseen. Suurimmat kustannustekijät toteutuneiden kustannusten osalta olivat betonijätteen poiskuljettaminen ja jätteenkäsittelykeskuksen vastaanottomaksu. Betonimurskeen osittaisen hyödyntämisen avulla saavutettiin noin 25 000 euron säästöt.

Myös Nurmijärven ja Alajärven kustannukset ovat samaa luokkaa. Nurmijärven toteutuneet kustannukset olivat noin 70 000 euroa, kun kaikki purkubetoni (4005 t) hyödynnettiin maarakentamiseen. Alajärven toteutuneet kustannukset olivat puolestaan noin 50 000 euroa, kun purkubetoni (3515 t) hyödynnettiin osittain. Nurmijärvellä suurin yksittäinen kustannustekijä on ympäristöluvan hakemiseen käytetyt konsulttipalvelut, kun taas Alajärvellä suurimmat kustannukset aiheutuivat pilaantuneen betonijätteen (485 t) poiskuljettamisesta ja jätteenkäsittelykeskuksen vastaanottomaksusta. Betonimurskeen hyödyntämisen avulla molemmissa kohteissa saavutettiin noin 200 000 euron säästöt. Säästöt ovat merkittävät, sillä molemmissa kohteissa betonijätteen kokonaismäärät olivat suuret (n. 4000 t), jonka takia betonijätteen vastaanottomaksut kasvaisivat suuriksi.

Kalajoen toteutuneet kustannukset olivat noin 70 000 euroa, Ventusnevan noin 100 000 euroa ja Petäjäveden lähes 140 000 euroa. Kustannukset nousivat kaikissa kohteissa suuriksi, sillä purkubetonia ei voitu hyödyntää maarakentamisessa. Mikäli betonimurske olisi voitu hyödyntää, Kalajoen ja Ventusnevan hankkeiden kustannukset olisivat olleet noin 60 000 euroa pienemmät. Petäjäveden kustannukset olisivat olleet puolestaan noin 120 000 euroa pienemmät. Ventusnevan sähköasema sijaitsee kuitenkin pohjavesialueella, jolloin betonimurskeen hyödyntämiseen olisi tuskin saatu lupaa edes ympäristöllä. Pohjavesialueilla kannattavin ratkaisu on purkubetonin poisvienti.

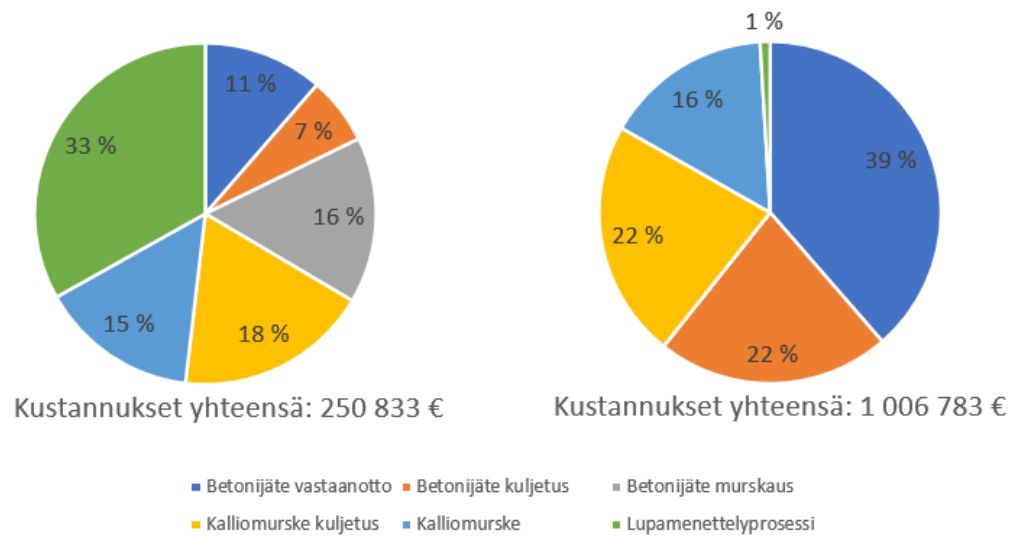
### 7.3 Yhteenveto tuloksista

Yhteenvetona sähköasemahankkeiden kasvihuonekaasupäästöistä voidaan todeta, että betonimurskeen hyödyntämisessä suurimmat päästöt aiheutuivat betonimurskeen valmistuksesta (kuva 26). Vastaavasti, kun betonia ei hyödynnetty maarakentamiseen, suurimmat päästöt aiheutuivat betonijätteen poiskuljettamisesta. Tilanteessa, jossa kaikkien tarkasteltavien sähköasemahankkeiden purkubetoni olisi hyödynnetty, yhteenlasketut kasvihuonekaasupäästöt olisivat olleet noin 35 000 kg CO<sub>2</sub> ekv., joka vastaa noin kolmen keskivertosuomalaisen vuosittaista hiilijalanjälkeä (Sitra 2018). Sen sijaan tilanteessa, jossa kaikkien hankkeiden purkubetoni olisi kuljetettu pois ja tilalle olisi tuotu luonnonkiiviainesta, kokonaispäästöt olisivat olleet noin 132 000 kg CO<sub>2</sub> ekv. Tämä puolestaan vastaa lähes 13 suomalaisen toiminnasta aiheutuvia päästöjä.



**Kuva 26.** Kasvihuonekaasupäästöjen jakautuminen sähköasemahankkeissa, kun betonijäte on hyödynnetty (vasemmalla) ja kun betonia ei ole hyödynnetty (oikealla).

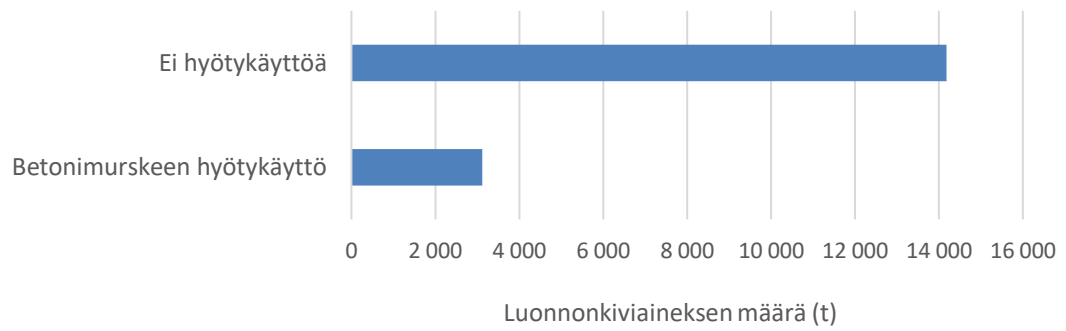
Yhteenvetona asemahankkeiden kustannuksista voidaan todeta, että betonimurskettä hyödynnettäessä suurimmat kustannukset syntyivät viranomaisluvan hakemisesta (kuva 27). Sen sijaan, betonimurskeen ei-hyötykäytön suurimmat kustannukset aiheutuivat betonijätteen vastaanottomaksuista jätteenkäsittelykeskuksissa. Mikäli kaikissa sähköasemahankkeissa syntynyt purkubetonijäte olisi hyödynnetty maarakentamiseen, kahdeksan asemahankkeen yhteenlasketut kustannukset olisivat olleet noin 260 000 euroa. Vastaavasti, jos yhdessäkään sähköasemahankkeessa ei olisi hyödynnetty purkubetonia, kokonaiskustannukset olisivat olleet yli miljoona euroa.



**Kuva 27.** Kustannusten jakautuminen sähköasemahankkeissa, kun betonijäte on hyödynnetty (vasemmalla) ja kun betonia ei ole hyödynnetty (oikealla).

Laaditut kasvihuonekaasupäästö- ja kustannuslaskelmat osoittavat, että betonimurskeen hyödyntäminen maarakentamisessa voi vähentää merkittävästi sähköasemahankkeiden päästöjä ja kustannuksia. Mitä suurempia määriä purkubetonia hyödynnetään, sitä suuremmat päästö- ja kustannusvähennykset saavutetaan. Tuloksia voidaan pitää luotettavana, sillä lähtöarvot ovat peräisin hyvin dokumentoiduista lähteistä. Tulosten luotettavuutta lisää niiden vertaaminen muihin vastaavanlaisiin tutkimuksiin. Esimerkiksi Ramboll Finland Oy:n toteuttamassa tapaustutkimuksessa Turun Skanssin alueella todettiin, että uusiomateriaalien käyttö maarakentamisessa vähentäisi kohteen päästöjä 23 000 kg CO<sub>2</sub> ekv. ja kustannuksia 40 000 euroa verrattuna perustapaukseen, jossa käytettäisiin luonnonkiviaineksa (Dettenborn ym. 2018). Myös Väyläviraston tutkimuksessa laaditun teoreettisen laskentamallin mukaan purkubetonijätteen hyödyntämisellä voidaan saavuttaa huomattavia kustannussäästöjä siltojen purkuhankkeissa (Dettenborn ym. 2019).

Pienempien kasvihuonekaasupäästöjen ja kustannusten lisäksi betonimurskeen hyödyntäminen vähensi luonnonkiviaineksen käyttöä sähköasemahankkeissa (kuva 28). Tilanteessa, jossa kaikkien asemahankkeiden purkubetoni olisi hyödynnetty murskeena, tarvittavan luonnonkiviaineksen määrä olisi ollut noin 3000 tonnia. Mikäli purkubetonia ei olisi hyödynnetty yhdessäkään hankkeessa, tarvittavan luonnonkiviaineksen määrä olisi puolestaan ollut noin 14 000 tonnia. Tämä osoittaa, että uusiomateriaalien käyttö maarakentamisessa edistää kiertotaloutta ja luonnonvarojen kestäväää käyttöä.



**Kuva 28.** Luonnonkiviaineksen määrä sähköasemahankkeissa, kun betonijäte on hyödynnetty ja kun sitä ei ole hyödynnetty.

## 8. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä diplomityössä selvitettiin Fingridin sähköasemahankkeista syntyvän purkubetoni- ja tiilijätteen hyödyntämisen kannattavuutta kasvihuonekaasupäästöjen ja kustannusten osalta. Laaditut laskelmat osoittavat, että betonimurskeen hyödyntäminen voi vähentää merkittävästi sähköasemahankkeiden päästöjä ja kustannuksia. Lisäksi purkubetonin hyödyntäminen murskeena vähentää luonnonkiviaineksen tarvetta ja täten edistää uusiutumattomien luonnonvarojen kestäväää kulutusta sekä kiertotaloutta. Suurimmat hyödyt päästöjen ja kustannusten kannalta saavutetaan hankkeissa, joissa purkubetonia syntyy yli 500 tonnia. Näiden tulosten perusteella jokaisen sähköasemahankkeen kohdalla olisi ympäristön ja talouden näkökulmasta kannattavaa selvittää purettavien betoni- ja tiilirakenteiden hyödyntämismahdollisuus maarakentamisessa.

Aina purkubetonia ei kuitenkaan voida hyödyntää murskeena, esimerkiksi betonin sisältämien haitta-aineiden takia tai maarakennuskohteen sijainnin, kuten pohjavesialueen takia. Betonimurskeen hyödyntämistä purkutyömaalla voi myös rajoittaa kiinteistön pieni koko, jolloin betonia ei mahduta murskaamaan paikan päällä sekä rakennustyövaiheiden yhteensopimattomuus. Näissä tilanteissa päästöjä ja kustannuksia voidaan kuitenkin minimoida lyhentämällä purkubetonin ja luonnonkiviaineksen kuljetusmatkoja. Jätteenkäsittelylaitosten vastaanottohinnat ja kuljetuskustannukset on myös suositeltavaa kilpailuttaa, sillä ne voivat vaihdella suuresti eri paikkakuntien ja jätepalvelutoimittajien välillä.

Betonimurskeen hyödyntämistä varten tarvitaan aina viranomaislupa. Lupaa voidaan hakea MARA-asetuksen rekisteröinti-ilmoituksella, ympäristöluvalla ja kunnan ympäristönsuojeluviranomaisen myöntämällä jätteen pienimuotoisen hyödyntämisen luvalla. Lupamenettelyn määräytymistä ohjaa hyödynnettävän betonimurskeen määrä sekä maarakennuskohteen ja betonimurskeen ominaisuudet. MARA-ilmoitus toimii lainsäädännöllisesti katsoen betonimurskeen lupamenettelyn pääväylänä. Betonimursketta voidaan hyödyntää MARA-ilmoitusmenettelyllä väylä- ja kenttärakenteissa sekä teollisuus- ja varistorakennusten pohjarakenteissa. Tällöin käytettävän betonimurskeen suurin sallittu raekoko on 90 mm ja betonimurskekerroksen sallittu kerrospaksuus on enintään 1,5 metriä. Lisäksi maarakennuskohde ei saa sijaita pohjavesialueella tai vesistöjen lähellä.

Mikäli maarakennuskohde ei sisälly MARA-asetuksen soveltamisalaan tai tavoitteena on esimerkiksi suurempirakeisen betonimurskeen käyttö, niin hyödyntämiselle on haettava

ympäristölupa tai kunnan ympäristönsuojeluviranomaisen lupa. Ympäristöluvan hakeminen on pitkäjänteinen ja kallis prosessi. Kunnan luvalla jätteen hyödyntäminen on mahdollista, jos jätettä hyödynnetään pienimuotoisesti, eli yleensä enintään 100–1000 tonnia riippuen jätteen laadusta. Tämän menettelyn haasteena kuitenkin on, että kaikissa Suomen kunnissa ei ole yhtenäisiä käytäntöjä pienimuotoisen jätteen hyödyntämiseen.



## LÄHTEET

Aluehallintovirasto (2021). Ympäristölupa. Saatavissa (viitattu 26.3.2021): <https://avi.fi/asioi/yritys-tai-yhteiso/luvat-ilmoitukset-ja-hakemukset/vesi-ja-ymparisto/ymparistolupa>

Anttila, K. (2021). Lokotrack-ratkaisujen johtaja, Metso Outotec. Sähköpostikeskustelu, 28.4.2021.

Attila, M., Huotari, E., Lardot, S. (2020). Ympäristösuojelulain mukaiset valtion ympäristölupapäätökset. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 44/2020.

BY 201 (2018). Betonitekniiikan oppikirja 2018. Suomen Betoniyhdistys ry. BY-Koulutus Oy, Helsinki.

Concrete Solution (2020). Report Q1/2020, Kirjallisuusreferaatti. Saatavissa (viitattu 18.2.2021): <https://concretesolution.fi/wp-content/uploads/2020/04/CO2NCRETE-SOLUTION-kirjallisuusraportti-6p-20200206.pdf>

Dettenborn, T., Harju, I., Lehtonen, K., Ahlqvist, E., Forsman, J. (2019). Siltojen ja muiden taitorakenteiden purkubetonijätteen hyödyntäminen. Väyläviraston tutkimuksia 8/2019. Helsinki.

Dettenborn, T., Kohonen, R., Känkänen, R., Niemelin, T. (2018). CO<sub>2</sub>-päästölaskennan kehittäminen Skanssin alueella ja Turun kaupungin infrarakentamisessa. Ramboll Finland Oy.

Dettenborn, T., Korkiala-Tanttu, L., Känkänen, R., Niemelin, T., Forman, J. (2017). Environmentally sustainable use of recycled crushed concrete aggregate in earthworks. International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering.

Dettenborn, T. (2013). Betonimurskerakenteiden pitkäaikaistoimivuus. Diplomityö. Aaltoyliopisto, Rakennustekniikan laitos. Espoo.

Engelsen, C., J., van der Sloot, H., A. & Petkovic, G. (2017). Long-term leaching from recycled concrete aggregates applied as sub-base material in road construction. Science of The Total Environment, Volumes 587–588, Pages 94–101.

Fingrid. Liiku ja työskentele turvallisesti Fingridin sähköasemilla. Saatavissa (viitattu 3.3.2021): <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/kantaverkko/turvallisuus/liiku-ja-tyoskentele-turvallisesti-sahkoasemilla-low.pdf>

Fingrid (2016a). Varkauden sähköaseman uusiminen. Saatavissa (viitattu 3.5.2021): <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/suunnittelu-ja-rakentaminen/arkisto/varkaus/>

Fingrid (2016b). Petäjaveden uuden sähköaseman rakentaminen. Julkaisematon sisäinen dokumentti.

Fingrid (2017a). Alajärven sähköaseman uusiminen. Saatavissa (viitattu 3.5.2021): <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/suunnittelu-ja-rakentaminen/arkisto/alajarven-sahko-asema/>

Fingrid (2017b). Raportti Ventusnevan betoninäytteistä. Julkaisematon sisäinen dokumentti.

Fingrid (2017c). Voimajohtojärjestelyt: Alajärvi, Mänttä, Petäjavesi ja Seinäjoki. Saatavissa (viitattu 3.5.2021): <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/suunnittelu-ja-rakentaminen/arkisto/voimajohtojarjestelyt-alajarvi-mantta-petajavesi-ja-seinajoki/>

Fingrid (2017d). Tihisenniemen 110 kV kytkinlaitoksen rakentaminen. Julkaisematon sisäinen dokumentti.

Fingrid (2018a). Porvoon sähköaseman uudistaminen. Saatavissa (viitattu 3.5.2021): <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/suunnittelu-ja-rakentaminen/arkisto/porvoon-sahko-aseman-uudistaminen/>

Fingrid (2018b). Varkauden sähköaseman PIMA-kunnostuksen loppuraportti. Julkaisematon sisäinen dokumentti.

Fingrid (2018c). Hankekuvaus Kalajoen sähköaseman purkutyöt. Julkaisematon sisäinen dokumentti.

Fingrid (2018d). Hankekuvaus Ventusnevan sähköaseman purkutyöt. Julkaisematon sisäinen dokumentti.

Fingrid (2018e). Raportti Petäjaveden betoninäytteistä. Julkaisematon sisäinen dokumentti.

Fingrid (2019a). Kantaverkon kehittämissuunnitelma 2019–2030. Saatavissa (viitattu 4.3.2021): [https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/kantaverkko/kantaverkon-kehittaminen/kantaverkon\\_kehittamissuunnitelma-2019-2030.pdf](https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/kantaverkko/kantaverkon-kehittaminen/kantaverkon_kehittamissuunnitelma-2019-2030.pdf)

Fingrid (2019b). Muuntajaperustus. Sähköasemaprojektit. Julkaisematon sisäinen dokumentti.

Fingrid (2019c). Nurmijärven sähköaseman uudistaminen. Saatavissa (viitattu 3.5.2021): <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/suunnittelu-ja-rakentaminen/arkisto/nurmijarven-sahkoaseman-uudistaminen/>

Fingrid (2019d). Tihisenniemen sähköaseman uudistaminen. Saatavissa (viitattu 3.5.2021): <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/suunnittelu-ja-rakentaminen/arkisto/tihisenniemen-sahkoaseman-uudistaminen/>

Fingrid (2019e). Tihisenniemen jäteraportti. Julkaisematon sisäinen dokumentti.

Fingrid (2019f). Tihisenniemi PIMA-kunnostus loppuraportti. Julkaisematon sisäinen dokumentti.

Fingrid (2020a). Fingridin sähkönsiirtoverkko. Saatavissa (viitattu 4.3.2021): <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/sahkonsiirto/fingridin-sahkonsiirtoverkko/>

Fingrid (2020b). Purkumateriaalin hyödyntäminen Nurmijärven sähköasemalla. Loppuraportti. Sisäinen dokumentti.

Fingrid (2021). Valvomorakennus. Sähköasemaprojektit. Sisäinen dokumentti.

Gles (2021a). Betonin murskaus. Saatavissa (viitattu 25.2.2021): <https://www.gles.fi/betonin-murskaus/wppaspec/oc1/Infi/cv0/ab15/pt0-45mm-Gles-Rock-murskaus-kaynnissa>

Gles (2021b). Betonin pulverointi. Saatavissa (viitattu 25.2.2021): <https://www.gles.fi/betonin-pulverointi/wppaspec/oc1/Infi/cv0/ab16/ptBetonin-pulverointi>

Haveri, P. (2006). Kaupunkisähköaseman elinkaaren hallinta. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, Sähkö- ja tietoliikennetekniikan osasto. Espoo.

Heikkilä, J. (2004). Sähköasema ja sen tärkeimmät laitteet. Fingrid-lehti 1/2004. Saatavissa (viitattu 27.1.2021): [https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/julkaisut/asiakaslehdet/arkisto-2004-2007/fingrid\\_1\\_04.pdf](https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/julkaisut/asiakaslehdet/arkisto-2004-2007/fingrid_1_04.pdf)

Heinonen, M. (2011). Kantaverkon ikääntyminen. Teoksessa: Laasonen, M., Saarinen, K., Sederlund, J., Sulomaa, P., Uusitalo, M. & Yli-Salomäki, P. (toim.). Kantaverkon käsikirja. Helsinki, Fingrid, s. 332–335.

Hotanen, S. (2005). Betonin, betonilietteen ja veden kierrätys betoniteollisuudessa. Suomen Betonitieto Oy, Helsinki.

Hradil, P., Wahlström, M., Teittinen, T., Lehtonen, K. (2019). Purkukartoitus – opas laatijalle. Ympäristöministeriön julkaisuja 2019:30, Helsinki.

Huhtinen, T., Palolahti, A., Räisänen, M., Torppa, A. (2018). Kiviaineshuollon kehittäminen. Ympäristöministeriön raportteja 13/2018. Helsinki.

Häkkinen, J., Pyy, O., Salminen, J. & Reinikainen, J. (2020). MARA-asetuksen ja soveltamisohjeen kehittämistarpeita. CircVol, muistio. Saatavissa (viitattu 16.3.2021): [https://circvol.fi/wp-content/uploads/2020/12/CircVol-MARA-muistio\\_08122020.pdf](https://circvol.fi/wp-content/uploads/2020/12/CircVol-MARA-muistio_08122020.pdf)

Häkkinen, S. (2019). Betonijätteen hyödyntämisen toimintamallit maarakentamisessa. Diplomityö. Aalto-yliopisto, Rakennetun ympäristön laitos. Espoo.

Häkämies S., Vehkalahti K., Lutfi E., Uotila T., Kivistö P., Rautalin K., Raimovaara M., Raimovaara E., Viluksela P., Tohka A., Koivumaa V., Yli-Pentti A. & Järvenpää T. (2018). Rakennusten purku-urakoiden ja maamassojen hallinnan kiertotalous - nykytila, mahdollisuudet ja haasteet kunnissa: Rakentamisen kiertotalous kunnissa (RANTA) -hanke. Green Net Finland.

Inkeröinen, J., Alasaarela, E. (2010). Uusiomateriaalien käyttö maarakentamisessa. Ympäristöministeriön raportteja 13/2010. Helsinki.

Järvinen, K. (2018). Ympäristönormit ja kierrätysmateriaalit infrarakentamisessa. Esitys. 6.3.2018. Rakennuttajan pätevyitysmiskoulutus RAP 28.

Jätelaki 646/2011 (2011).

Jäteverolaki 1126/2010 (2010).

Kauppila, J., Turunen, T., Häkkinen, E., Salminen, J., Lazarevic, D. (2018). Jätteeksi luokittelun päättymisen hyödyt ja haitat. Ympäristöministeriön raportteja 9/2018. Helsinki.

- Kivelä, J. (2021). Toimitusketju- ja logistiikkapäällikkö, Fincumet. Sähköpostiviesti 4.5.2021.
- Klanfar, M., Korman, T., Kujundžić, T. (2016). Fuel consumption and engine load factors of equipment in quarrying of crushed stone. *Tehnicki Vjesnik* 23, 1(2016), 163–169.
- Konevel Oy. Purku- ja kierrätys, Rotar pulveroijat. Saatavissa (viitattu 25.2.2021): <https://www.konevel.fi/purku-ja-kierratys/rotar-pulveroijat.html>
- Korhonen, M-R., Pitkänen, K., Niemistö, J. (2018). Selvitys orgaanisen jätteen kaatopaikkakiellon vaikutuksista. *Suomen ympäristö 3/2018*. Ympäristöministeriö, Helsinki.
- Kosomaa, S., Mattila, J., Tepponen, P. (2015). Mitä betoni on? *Betoni-lehti 2/2015*. Saatavissa (viitattu 12.2.2021): <https://betoni.com/betonilehti/22015/>
- Kuulasvuo, J. (2021). Kierrätystoiminnot, Gles. Sähköpostiviesti 3.6.2021.
- Lehtonen, K. (2019.) *Purkutyöt – opas tekijöille ja teettäjiille*. Ympäristöministeriön julkaisu 2019:29. Helsinki.
- MaaRYL (2010). *Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset*. Talonrakennuksen maatyöt. Rakennustieto Oy, Helsinki.
- Motiva (2021). UUMA3-ohjelma. Saatavissa (viitattu 26.1.2021): <https://www.uusiomaarakentaminen.fi/uuma3-ohjelma>
- Multalan Sora (2021). Hinnasto. Saatavissa (viitattu 17.5.2021): <http://www.multalan-sora.fi/hinnasto/>
- Naumanen, J. (2011). Kytkinlaitokset. Teoksessa: Laasonen, M., Saarinen, K., Sederlund, J., Sulomaa, P., Uusitalo, M. & Yli-Salomäki, P. (toim.). *Kantaverkon käsikirja*. Helsinki, Fingrid, s. 404.
- Ng, S. & Engelsen, C., J. (2018). Construction and demolition wastes. Teoksessa: Siddique, R., Cachim, P. *Waste and Supplementary Cementitious Materials in Concrete: Characterisation, Properties and Applications*. Elsevier Science & Technology, San Diego, s. 240–244.
- Nissinen, J. (2020). Ehdotus valtioneuvoston asetukseksi arviointiperusteista sen määrittämiseksi, milloin betonimurske lakkaa olemasta jätettä. Muistio, luonnos 11.9.2020. Ympäristöministeriö.

Nurmi, M. (2021). Asiantuntija, ympäristö ja työturvallisuus, Fingrid. Haastattelu 28.4.2021.

Ojanen, T. (2011). Tehomuuntajat. Teoksessa: Laasonen, M., Saarinen, K., Sederlund, J., Sulomaa, P., Uusitalo, M. & Yli-Salomäki, P. (toim.). Kantaverkon käsikirja. Helsinki, Fingrid, s. 412–13.

Pajukallio, A-M, Wahlström, M., Alasaarela, E. (2011). Maarakentamisen uusiomateriaalit. Ympäristöministeriön raportteja 11/2011. Helsinki.

Pajunen, E. (2018). MARA-ilmoituksen laatiminen ja käsittely. Uusiomaarakentamisen erikoisopintojakso, koulutusmateriaali. Saatavissa (viitattu 25.3.2021): [https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/koulutus--ja-esitysaineistot/2018/mara-ilmoituksen-laatiminen\\_emmi-pajunen\\_10042018-003.pdf](https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/koulutus--ja-esitysaineistot/2018/mara-ilmoituksen-laatiminen_emmi-pajunen_10042018-003.pdf)

Peuranen, E. (2017). Ehdotus valtioneuvoston asetukseksi eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa. Muistio. Ympäristöministeriö.

Pieksämä, J. (2020). Betonin kierrätys. Materiaalikierron haasteet ja mahdollisuudet kiertotaloudessa etäseminaari. Rudus Oy, Kierrätys. Saatavissa (viitattu 24.3.2021): <https://www.rudus.fi/ajankohtaista/2020/11/20/materiaalikierron-haasteet-ja-mahdollisuudet-kiertotaloudessa>

Punkki, J. (2017). Betonirakenteiden käyttöikäsuunnittelu. Betoni-lehti 2/2017. Saatavissa (viitattu 10.3.2021): [https://betoni.com/wp-content/uploads/2017/05/BET1702\\_66-71.pdf](https://betoni.com/wp-content/uploads/2017/05/BET1702_66-71.pdf)

Rakennustuoteteollisuus. Kivitaloinfo, tiilet. Saatavissa (viitattu 12.3.2021): <https://kivitaloinfo.fi/tiilet/>

RIL-201-1-2017 (2016). Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RT 18-11245 (2016). Haitta-ainetutkimus. Rakennustuotteet ja rakenteet. Rakennustietosäätiö.

Rudus (2017). Betoroc-murskeohje. Käyttöohje rakentamiseen ja suunnitteluun.

Saarinen, S. (2015). Kiertotalous toimii betonirakentamisessa. Betoni-lehti 3/2015. Saatavissa (viitattu 18.2.2021): <https://betoni.com/betonilehti/32015/>

SFS-EN 13242 (2008). Maa- ja vesirakentamisessa ja tienrakenteissa käytettävät sitomattomat ja hydraulisesti sidotut kiviainekset. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto.

SFS 5884:2018 (2018). Betonimurskeen maarakennuskäytön laadunvalvontajärjestelmä. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto.

Sitra. (2018). Keskivertosuomalaisen hiilijalanjälki. Saatavissa (viitattu 15.6.2021): <https://www.sitra.fi/artikkelit/keskivertosuomalaisen-hiilijalanjalki/>

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy (2017). LIPASTO yksikköpäästöt -tietokanta.

Tiiliteollisuus (2021). Tiilijulkisivu. Saatavissa (viitattu 12.2.2021): <https://www.tiili-info.fi/oma-koti-tiilesta/tiilijulkisivu/>

Tilastokeskus (2020). Jätetilasto 2018. Saatavissa (viitattu 28.1.2021): [http://www.stat.fi/til/jate/2018/jate\\_2018\\_2020-06-17\\_tie\\_001\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/jate/2018/jate_2018_2020-06-17_tie_001_fi.html)

Valtioneuvosto (2021). Uusi suunta - Ehdotus kiertotalouden strategiseksi ohjelmaksi. Valtioneuvoston julkaisuja 2021:1. Helsinki.

Vakkuri, R. (2011). Purkubetonia hyödynnetään, mutta vielä yksipuolisesti. Betoni-lehti 2/2011. Saatavissa (viitattu 15.2.2021): <https://betoni.com/betonilehti/22011/>

VNa 843/2017 (2017). Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa.

VNa 179/2012 (2012). Valtioneuvoston asetus jätteistä.

VNa 713/2014 (2014). Valtioneuvoston asetus ympäristönsuojelusta.

Väylävirasto (2020). Tiesitkö? Teissä on monia kerroksia ja niillä kaikilla on oma tarkoituksensa. Saatavissa (viitattu 31.3.2021): <https://vayla.fi/-/tiesitko-teissa-on-monia-kerroksia-ja-niilla-kaikilla-on-oma-tarkoituksensa>

Wirén, M. (2021). Vanhempi asiantuntija, rakennukset ja rakenteet, Fingrid. Haastattelu 8.3.2021.

Ympäristöhallinto (2021). Ympäristölupa. Saatavissa (viitattu 26.3.2021): [https://www.ymparisto.fi/fi-fi/asiointi\\_luvat\\_ja\\_ymparistovaikutusten\\_arviointi/luvat\\_ilmoitukset\\_ja\\_rekisterointi/Ymparistolupa](https://www.ymparisto.fi/fi-fi/asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/luvat_ilmoitukset_ja_rekisterointi/Ymparistolupa)

Ympäristöministeriö (2012). Ajankohtaista jätelain uudistuksesta. Toukokuu 2012. Ympäristöministeriön esite.

Ympäristönsuojelulaki 527/2014 (2014).

Ympäristöministeriö (2014). Jätelain eräiden säännösten tulkintalinjauksia. Muistio.

Ympäristöministeriö (2019). Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa. Soveltamisohje. Versio 2.7.2019.

Ympäristöministeriö (2020). Maankäyttö ja rakentaminen. Rakentamisen ohjaus. Rakennustuotteiden tuotehyväksyntä. CE-merkintä.



# LIITE A: MARA-ASETUKSEN HAITALLISTEN AINEIDEN RAJA-ARVOT

## HAITALLISTEN AINEIDEN RAJA-ARVOT JA MUUT LAATUVAATIMUKSET SEKÄ JÄTTEEN ENIMMÄIS-KERROSPAKSUUS MAARAKENTAMISKOYTEESSA

**Taulukko 1.** Hyödynnettävän jätteen suurin sallittu haitallisten aineiden liukoisuus ja kerrospaksuus maarakentamiskohteessa (VNa 843/2017 Liite 2).

Haitallinen aine	Maarakentamiskohte						
	Väylä jätteen kerrospaksuus ≤ 1,5 m		Kenttä jätteen kerrospaksuus ≤ 1,5 m		Valli jätteen kerrospaksuus ≤ 5,0 m	Teollisuus- ja varasto- rakennuksen pohja- rakenne jätteen kerrospaksuus ≤ 1,5 m	Tuhkamursketie <sup>2)</sup> jätteen kerrospaksuus ≤ 0,2 m
	Peitetty	Päällystetty	Peitetty	Päällystetty	Peitetty		
<b>Liukoisuus (mg/kg LS = 10 l/kg)</b>							
Antimoni (Sb)	0,7	0,7	0,3	0,7	0,7	0,7	0,7
Arseeni (As)	1	2	0,5	1,5	0,5	2	2
Barium (Ba)	40	100	20	60	20	100	80
Kadmium (Cd)	0,04	0,06	0,04	0,06	0,04	0,06	0,06
Kromi (Cr)	2	10	0,5	5	1	10	5
Kupari (Cu)	10	10	2	10	10	10	10
Lyijy (Pb)	0,5	2	0,5	2	0,5	2	1
Molybdeeni (Mo)	1,5	6	0,5	6	1	6	2
Nikkeli (Ni)	2	2	0,4	1,2	1,2	2	2
Seleen (Se)	1	1	0,4	1	1	1	1
Sinkki (Zn)	15	151	4	12	15	15	15
Vanadiini (V)	2	3	2	3	2	3	3
Elohopea (Hg)	0,03	0,03	0,01	0,03	0,03	0,03	0,03
Kloridi (Cl <sup>-</sup> ) <sup>3)</sup>	3 200	11 000	800	2 400	1 800	11 000	4 700
Sulfaatti (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) <sup>3)</sup>	5 900	18 000	1 200	10 000	3 400	18 000	6 500
Fluoridi (F <sup>-</sup> ) <sup>3)</sup>	50	150	10	50	30	150	100
Liuennot orgaaninen hiili (DOC)	500	500	500	500	500	500	500
Bentseeni	0,2	0,2	0,02	0,2	0,06	0,02	0,2
TEX <sup>4)</sup>	25	25	25	25	25	10	25
Naftaleeni	5	5	5	5	5	5	5
PAH-yhdisteet <sup>5)</sup>	30	30	30	30	30	30	30
Fenoliset yhdisteet <sup>6)</sup>	10	10	5	10	10	10	10
PCB-yhdisteet <sup>7)</sup>	1	1	1	1	1	1	1
Öljyhiilivedyt C10-C40	500	500	500	500	500	500	500

1) Hyödynnettävän asfalttimurskeen ja -rouheen enimmäismäärä maarakentamiskohteessa on 1000 tonnia

2) Tuhkamursketien kerrospaksuus on asetettu täyterokoksen laskennalliselle paksuudelle

3) Taulukossa 2 kloridille, sulfaatille ja fluoridille asetettuja raja-arvoja ei sovelleta rakenteeseen, joka täyttää kaikki seuraavat edellytykset: sijaitsee enintään 500 m etäisyydellä merestä, rakenteen läpi suotautuvan veden purkautumissuunta on mereen sekä rakenteen ja meren välillä ei ole talousvedenottoon käytettäviä kaivoja

4) Tolueeni, etyylibentseeni ja ksyleeni (summapitoisuus)

5) Polyaromaattiset hiilivedyt: antraseeni, asenaftaleeni, asenaftyleeni, bentso(a)antraseeni, benots(a)pyreeni, bentso(b)fluoranteeni, bentso(g,h,i)peryleeni, bentso(k)fluoranteeni, di-bentso(a,h)antraseeni, fenantreeni, fluoranteeni, fluoreeni, indeno(1,2,3-cd)pyreeni, kryseeni, naftaleeni ja pyreeni (summapitoisuus)

6) Fenoli, o-kresoli, m-kresoli, p-kresoli ja bisfenoli-A (summapitoisuus)

7) Polyklooratut bifenyylit kongeneerit 28, 52, 101, 118, 138, 153 ja 180 (summapitoisuus)

Poikkeukset taulukon liite A raja-arvoista, jos toteutettavan rakenteen enimmäispaksuus on 0,5 m (mg/kg L/S-suhteessa 10 l/kg)

- peitetty väylä: barium (Ba) 80; vanadiini (V) 3; kloridi (Cl-) 3 600; sulfaatti (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) 6 000;

- päällystetty väylä: kloridi (Cl-) 14 000; sulfaatti (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) 20 000;

- peitetty kenttä: antimoni (Sb) 0,4.

Muut laatuvaatimukset

- betoni- tai tiilimurske saa sisältää enintään yhden painoprosentin siihen kuulumatonta vedessä kellumatonta ainesta, kuten puuta, kumia tai metalleja. Lisäksi betoni- tai tiilimurskeessa saa olla enintään 10 cm<sup>3</sup>/kg vettä kevyempiä materiaaleja, kuten muoviva ja eristemateriaaleja. Betonijäte saa sisältää lisäksi enintään 30 painoprosenttia tiili- ja kaakelijätettä.