

# **TUULIVOIMALAN PURKAMISEN KUSTANNUKSET**

## **Sisällysluettelo**

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 1   | Taustaa raportille.....                     | 2  |
| 2   | Tarkastelun lähtökohdat .....               | 2  |
| 3   | Sisällön rajaus.....                        | 3  |
| 4   | Purkamisen valmistelu.....                  | 4  |
| 5   | Tuulivoimalan purkamisen vaiheet.....       | 4  |
| 6   | Purkamiskustannukset.....                   | 5  |
| 6.1 | Purkamisen valmistelu .....                 | 5  |
| 6.2 | Nasellin ja roottorin purkaminen .....      | 6  |
| 6.3 | Tornin purkaminen .....                     | 6  |
| 7   | Purettujen osien poiskuljetus .....         | 7  |
| 8   | Materiaalien kierrätys ja hyötykäyttö ..... | 7  |
| 8.1 | Tuulivoimaloiden lavat.....                 | 11 |
| 9   | Purkuvolyymit.....                          | 13 |
| 10  | Hintakehitys .....                          | 14 |
| 11  | Yhteenveto kustannuksista.....              | 15 |

## 1 Taustaa raportille

Edellinen raportti tuulivoimalan purkamisen kustannuksista laadittiin vuonna 2014. 2020-luvulle tultaessa tuulivoimateknologia on kehittynyt ja rakennettavien tuulivoimaloiden keskikoko kasvanut.

Laskennallinen käyttöikä nykyaikaisille tuulivoimaloille 2020-luvulta lähtien on 35 vuotta ja aiemmin rakennetuille 20-30 vuotta. Suomessa on purettu tähän päivään mennessä vain vähän tuulivoimaloita, mutta 2030-2040-luvuilla on odotettavissa merkittävää kasvua purkumäärissä. Ennen voimalan purkuajankohdan päätöstä on hyvä tarkastella vaihtoehtoja käyttöiän pidentämiseksi. Lisäksi osalla voimalan komponenteista voi vielä olla käyttöarvoa varaosina, vaikka muutoin voimalan teknistä käyttöikä ei olisikaan enää jäljellä.

Kierrätysteknologia ja jätteenkäsittely ovat kehittyneet ja sääntely muuttunut tiukemmaksi. Suurin osa tuulivoimaloiden materiaaleista pystytään kierrättämään materiaalina. Kierrätyksen kannalta haasteellisin osa on ollut tuulivoimaloiden lavat, joille on kuitenkin jo olemassa teollisen mittakaavan hyödyntämismahdollisuuksia.

## 2 Tarkastelun lähtökohdat

Tarkastelussa oletetaan, että itse tuulivoimalalla ja tornilla ei ole jälleenmyyntiarvoa, vaan ne kierrätetään. Tarkastelun lähtökohdaksi on myös se, että perustus voi jäädä maahan maisemoituna nykyilainsäädännön mukaisesti.

On todennäköistä, että tuulipuistoalueella sinänsä on markkina-arvoa ensimmäisten voimaloiden elinkaaren tultua loppuunsa, sillä alueella on valmista tie- ja sähköverkkoinfrastruktuuria sekä tarkat tuulisuustiedot pitkältä ajalta. Uusia voimaloita varten luvitus on tehtävä uudelleen, samoin sopimukset maankäytön osalta.

Käytöstä poistetut voimalat voidaan myydä jälkimarkkinoilla edelleen energiantuotannossa käytettäväksi, mikäli teknistä elinikää on jäljellä. Mikäli voimala menee edelleen sähköntuotantokäyttöön, vaikuttaa se sekä purkutapaan että -kustannuksiin.

Suomen tuulivoimatoimijoista ison osan taustalla on *mankala*-järjestelmä (mankala-periaate on toimintatapa, jossa usea yhtiö perustaa voittoa tuottamattoman osakeyhtiön yhteistä tarkoitusta varten), osuuskauppa tai muu vastaava, joiden konkurssesja voitaneen pitää hyvin epätodennäköisinä.

Lisäksi monien takana on suuria ja vakavaraisia kotimaisia ja ulkomaisia toimijoita, joiden äkillinen poistuminen markkinalta ei ole todennäköinen tapahtuma.

Mahdollisen konkurssin tapauksessa voimalat siirtyvät pankin omaisuudeksi, mikäli lainapääomaa ei ole kokonaan maksettu takaisin. Tämän jälkeen omistus siirtyy konkurssipesälle, joka voi myydä omaisuuden pesän rahoittamiseksi yllä mainituille jälkimarkkinoille.

Mikäli voimala on tuhoutunut onnettomuuden seurauksena, edellyttää vakuutusyhtiö voimalan purkamista korvauksen saamiseksi. Tällöin voimaloiden omistajan on vastattava purkamisesta korvaukset saadakseen.

Useimmat tuulivoimahankkeet rakennetaan kokonaan tai osittain lainarahoituksella. Lainarahoitusta myöntäessään pankit arvioivat toimijan vakavaraisuuden ja hankkeen teknisen potentiaalin erittäin kriittisesti ja kattavasti; rahoituksen saaminen sinänsä vaatii asioiden hyvää hoitoa. Lisäksi maanomistaja voi saada turvaa erilaisista sopimuksellisista keinoista.

### 3 Sisällön rajaus

Raportissa tarkastellaan maatuulivoimaloiden purkukustannuksia Suomessa ja selvitetään karkealla tasolla:

- Paljonko nykyaikaisten, napakorkeudeltaan 140-150 metristen tuulivoimaloiden purkaminen maksaa kuljetuskustannuksineen?
  - Terästornilla
  - Hybriditornilla (teräs ja betoni)
- Paljonko purettavista tuulivoimaloista voi saada rahaa osia ja materiaaleja kierrättämällä ja hyödyntämällä?

Tässä raportissa ei tarkastella betonitorneja, sillä ne ovat Suomessa harvinaisia.

Kustannusten määrittelyssä on otettu huomioon vain tuulivoimalat ja tornit. Tarkastelun ulkopuolelle on jätetty mm. sähköverkot ja perustukset.

Raportissa lasketaan esimerkkitapaukset 10 tuulivoimalan purkuhankkeille. Vain poikkeustapauksena puretaan yksittäisiä voimaloita, koska tyypillisesti puiston voimalat tulevat käyttöikänsä päähän samaan aikaan ja purku on järkevämpää tehdä kerralla suuremmalle määrälle voimaloita.

## 4 Purkamisen valmistelu

Maankäyttö- ja rakennuslain (MRL) mukaan kaavoitetuilla tuulivoima-alueilla tarvitaan purkulupa. Maankäyttö- ja rakennuslakiin on tulossa muutoksia vuoden 2025 alussa.

MRL 139 § mukaan purkamishakemuksessa tulee selvittää purkamistyön järjestäminen ja edellytykset huolehtia syntyvän rakennusjätteen käsittelystä sekä käyttökelpoisten rakennusosien hyödyntämisestä.

Purkamiseen erikoistuneita yrityksiä on Suomessa useita. Purkamisen valmistelua aloitettaessa kannattaakin olla yhteydessä alan yrityksiin, joilta saa purkamiseen tarvittavia käytännön neuvoja ja palveluja.

Purkamisen valmisteluun ja suunnitteluun vaikuttaa merkittävästi paikka, missä voimalat sijaitsevat. Asutuksen tai muiden häiriintyvien kohteiden lähellä esim. teollisuusalueella purkamisjärjestelyt vaativat erilaisia, tapauskohtaisia valmisteluita kuin muusta toiminnasta kaukana olevien voimaloiden purku. Tässä raportissa oletetaan, että ympärillä ei ole sellaista kohdetta tai toimintaa, joka vaikeuttaa normaalia purkutyötä.

## 5 Tuulivoimalan purkamisen vaiheet

Tuulivoimalan purkamisen vaiheet ja työjärjestys:

- Tuulivoimala kytketään irti verkosta. Ohjauskaapit, sähköiset komponentit ja sisäpuoliset kaapelit irrotetaan.
- Lavat, napa ja naselli lasketaan maahan purkamista varten.
- Tornin osat lasketaan maahan, missä ne puretaan kuljetusten vaatimiin osiin. Tornin osat voidaan useimmissa tapauksissa myös kaataa ja jatkotyöstää maassa pienempiin osiin kuljetusta varten.
- Lavat, napa, naselli, tornin osat ja verkkoliittymän laitteet ja kaapelit puretaan osiin tai paloitellaan kierrättämistä ja/tai hävittämistä varten. Lapojen leikkaamisessa on huolehdittava tehokkaasta pölynhallinnasta.
- Perustus voidaan mahdollisesti maisemoida peittämällä näkyvät osat maa-aineksella tai vaihtoehtoisesti purkaa osittain tai kokonaan ja viimeistellä maataytöllä.

## 6 Purkamiskustannukset

### 6.1 Purkamisen valmistelu

Purkamisen valmisteluun luetaan purkamisen edellyttämä suunnittelu, lupien hakeminen, vakuutukset ja tarvittava projektinjohto, yleiset työmaapalvelut sekä nosturikaluston mobilisointi 10 voimalaa sisältävässä purkukohteessa.

Yhden voimalan purkaminen ei vaadi yhtä mittavaa valmistelua kuin useamman voimalan, eikä nosturin välisiirtoja ole, mutta nosturin mobilisointikustannus on kuitenkin sama riippumatta siitä, kuinka monta voimalaa puretaan kerrallaan.

*Taulukko 6-1: 10 voimalan purkamisen valmistelun kustannukset*

| Kustannus-tekijä                                     | Määrä | Yksikkö | Yksikkö-hinta (min) | Yksikkö-hinta (max) | Yhteensä (min) | Yhteensä (max) |
|--|-------|---------|---------------------|---------------------|----------------|----------------|
| Projektin johto ja suunnittelu                       | 40    | päivä   | 1 200               | 1 800               | 48 000         | 72 000         |
| Luvat ja vakuutukset                                 | 1     | erä     | 24 000              | 36 000              | 24 000         | 36 000         |
| Työmaa-palvelut                                      | 40    | päivä   | 150                 | 275                 | 6 000          | 11 000         |
| Nostokaluston mobilisointi (600 t nosturi)           | 1     | erä     | 85 000              | 135 000             | 85 000         | 135 000        |
| Nosturien välisiirrot                                | 9     | kpl     | 35 000              | 39 000              | 315 000        | 351 000        |
| <b>Yhteensä</b>                                      |       |         |                     |                     | <b>478 000</b> | <b>605 000</b> |
| 1 voimalan osuus 10 voimalan purku-urakan yhteydessä |       |         |                     |                     | 47 800         | 60 500         |

**Kustannusarvioiden lähteet:** Henkilökustannukset SKOL-indeksi, nosturikustannukset Havator Oy, muut kustannukset AFRY Finland Oy

## 6.2 Nasellin ja roottorin purkaminen

Taulukko 6-2: **10 voimalan nasellien ja roottorien purkaminen**

| Kustannus-tekijä                                     | Määrä | Yksikkö | Yksikkö-hinta (min) | Yksikkö-hinta (max) | Yhteensä (min) | Yhteensä (max) |
|--|-------|---------|---------------------|---------------------|----------------|----------------|
| Lapojen ja navan purku                               | 10    | erä     | 7 000               | 9 500               | 70 000         | 95 000         |
| Sähkö-varusteiden purku                              | 10    | erä     | 1 400               | 2 100               | 14 000         | 21 000         |
| Nasellin purku                                       | 10    | kpl     | 1 400               | 2 100               | 14 000         | 21 000         |
| Nosturi-vuokrat                                      | 10    | päivä   | 15 000              | 15 000              | 150 000        | 150 000        |
| <b>Yhteensä</b>                                      |       |         |                     |                     | <b>248 000</b> | <b>287 000</b> |
| 1 voimalan osuus 10 voimalan purku-urakan yhteydessä |       |         |                     |                     | 24 800         | 28 700         |

**Kustannusarvioiden lähteet:** Nosturikustannukset Havator Oy, muut kustannukset AFRY Finland Oy

## 6.3 Tornin purkaminen

Tornin purkutyö aloitetaan tornin sisällä olevien varusteiden poistamisella tarpeellisilta osin. Tämä koskee esim. sähkökaapeleita ja hissiä.

Terästorni ja hybriditornin teräsosa puretaan osissa käänteisessä järjestyksessä pystytykseen nähden.

Hybriditornin betoniosa kaadetaan, jonka jälkeen teräsbetoni voidaan "pulveroida" ja siitä erotella teräkset jo paikan päällä.

Puretut materiaalit kuljetetaan pois, ja ne kuuluvat lähtökohtaisesti purku-urakoitsijan omaisuudeksi. Purkutyön hintaan sisältyy siten poiskuljetus betonisten torniosien osalta.

Taulukko 6-3: **10 voimalan terästornien purkaminen**

| Kustannus-tekijä       | Määrä | Yksikkö | Yksikkö-hinta (min) | Yksikkö-hinta (max) | Yhteensä (min) | Yhteensä (max) |
|------------------------|-------|---------|---------------------|---------------------|----------------|----------------|
| Tornin sisäosien purku | 5     | päivä   | 900                 | 1 100               | 4 500          | 5 500          |
| Tornin purku           | 15    | päivä   | 900                 | 1 100               | 13 500         | 16 500         |
| Nosturi-vuokrat        | 20    | päivä   | 15 000              | 15 000              | 300 000        | 300 000        |
| <b>Yhteensä</b>        |       |         |                     |                     | <b>318 000</b> | <b>322 000</b> |

**Kustannusarvioiden lähteet:** Nosturikustannukset Havator Oy, muut kustannukset AFRY Finland Oy

Taulukko 6-4: **10 voimalan hybriditornien purkaminen**

| Kustannus-<br>tekijä                  | Määrä             | Yksikkö | Yksikkö-<br>hinta<br>(min) | Yksikkö-<br>hinta<br>(max) | Yhteensä<br>(min) | Yhteensä<br>(max) |
|---------------------------------------|-------------------|---------|----------------------------|----------------------------|-------------------|-------------------|
| <b>Tornin<br/>sisäosien<br/>purku</b> | 5                 | päivä   | 900                        | 1 100                      | 4 500             | 5 500             |
| <b>Teräsosan<br/>purku</b>            | 5                 | päivä   | 900                        | 1 100                      | 4 500             | 5 500             |
| <b>Nosturi-<br/>vuokrat</b>           | 5                 | päivä   | 12 000                     | 12 000                     | 60 000            | 60 000            |
| <b>Betoniosan<br/>purku</b>           | 9 000 -<br>12 000 | tonni   | 42                         | 42                         | 378 000           | 504 000           |
| <b>Yhteensä</b>                       |                   |         |                            |                            | <b>447 000</b>    | <b>575 000</b>    |

**Kustannusarvioiden lähteet:** Nosturikustannukset Havator Oy, muut kustannukset AFRY Finland Oy

## 7 Purettujen osien poiskuljetus

Voimalan osat pilkotaan normaalikuljetukseen sopiviksi osiksi.

Voimaloiden arvioitu kokonaismassa on 600-700 tonnia. Kuljetuksessa pystytään kerrallaan kuljettamaan 30-40 tonnia, mikä tarkoittaa näillä massamäärillä 15-24 kuormallista.

10 voimalan purkujätteiden kuljetuskustannukset ovat yhteensä 180 000 - 280 000 €. Yhtä voimalaa kohden kuormien arvioitu kustannus on 18 000 - 28 000 €.

## 8 Materiaalien kierrätys ja hyötykäyttö

Tässä selvityksessä oletetaan, että purettavaa voimalaa ei asenneta uudelleen toiseen paikkaan ja sen osat kierrätetään ja hävitetään asianmukaisesti. Laskennassa on käytetty napakorkeudeltaan 140-150 metrisiä tuulivoimaloita.

Tällä hetkellä voimaloihin käytetyistä materiaaleista suuri osa pystytään kierrättämään. Voimaloiden metallikomponenttien (teräs, kupari, alumiini) osalta kierrätysaste on tyypillisesti hyvin korkea, lähes 100 %.

**Taulukko 8-1: Tuulivoimalan valmistuksessa käytettävät materiaalit ja arvio niiden hyödynnettävyydestä**

| <b>Materiaali</b>                        | <b>Arvio kierrätettävyydestä [%]</b> | <b>Hyödyntämismenetelmä ja huomioita</b>   |
|--|--------------------------------------|--|
| <b>Betoni</b>                            | 50 – 100                             | Hyödyntäminen maarakentamisessa murskeena tai loppusijoittaminen kaatopaikalle   |
| <b>Teräs ja rauta</b>                    | 80 – 100                             | Kierrätys raaka-aineena uuden teräksen valmistuksessa  |
| <b>Alumiini</b>                          | 80 – 100                             | Kierrätys raaka-aineena uuden teräksen valmistuksessa  |
| <b>Kupari</b>                            | 80 – 100                             | Kierrätys raaka-aineena uuden teräksen valmistuksessa  |
| <b>Polymeerit</b> (mm. kaapelien muovit) | 0                                    | Poltto tai kaatopaikka   |
| <b>Lasi- ja hiilikomposiitit</b>         | 0 – 65 <sup>1</sup>                  | Poltto, hyödyntäminen sementin valmistuksessa (energiana ja raaka-aineena), komposiiteissa tai loppusijoitus poikkeusluvalla kaatopaikalle   |
| <b>Elektroniikka</b>                     | 0 – 86 <sup>2</sup>                  | SER-jätteen toimitus hyödyntäjille. Murskaus, materiaalien erottelu, materiaalien kierrätys (erityisesti metallit) ja hyödyntämiskelvottoman jakeen poltto.                                      |
| <b>Magneetit</b>                         | 0 – 80                               | Kestomagneetit voidaan hyödyntää pienenä määränä joko suoraan uusien magneettien tuotantoprosessissa tai toimittaa raaka-aineen jalostajille, jolloin ne sulatetaan puhtaammaksi raaka-aineeksi. |
| <b>Öljy- ja jäähdytysneste</b>           | 0 – 80 <sup>3</sup>                  | Poltto tai jäteöljyn kierrätys   |

**Kustannusarvioiden lähteet:**

<sup>1</sup> Hyödynnettävyys raaka-aineena sementin valmistuksessa (WMW, 2021).

<sup>2</sup> SER kierrätysaste materiaalina Suomessa 2017 (Asano-Ulmonen & Haavisto, 2020).

<sup>3</sup> Kerätyn jäteöljyn kierrätysaste Suomessa 2020 (Ympäristöministeriö, 2020).



Taulukko 8-2: **Arvio purettavien materiaalien arvosta**

Materiaalimäärät arvioitu napakorkeudeltaan 140-150 metristen tuulivoimaloiden tietojen perusteella (Vestas, 2019). HUOM! Materiaalimääräarviosta on jätetty pois perustusten osuus, joka nykyinsäädännön mukaan voidaan maisemoida paikoilleen. Yksikköhinnat tarkoittavat kustannuksia purkajalle. Positiiviseksi (+) merkityt luvut tarkoittavat materiaalien kierrättämisestä (esim. metallit) saatavaa tuloa.

| Materiaali                      | Torni<br>[t] | Yksikköhinta<br>[€/t] |            | Yhteensä<br>[€] (pyöristetty) |            |
|---------------------------------|--------------|-----------------------|------------|-------------------------------|------------|
|                                 |              | Min                   | Max        | Min                           | Max        |
| <b>Terästorni</b>               |              |                       |            |                               |            |
| Betoni                          | 0            | 20                    | 80         | 0                             | 0          |
| Teräs                           | 606,6        | +100                  | +170       | +60 000                       | +103 000   |
| Alumiini                        | 6,1          | +600                  | +1 100     | +4 500                        | +8 000     |
| Kupari                          | 3,7          | +4 000                | +6 600     | +15 000                       | +24 500    |
| Lasi- ja<br>hiilikuitu          | 40,8         | 200                   | 300        | 8 000                         | 12 000     |
| Polymeerit                      | 18,5         | 100                   | 250        | 2 000                         | 4 500      |
| Elektroniikka                   | 3,75         | 0                     | 0          | 0                             | 0          |
| Öljy ja nesteet                 | 1,5          | 100                   | 850        | 0                             | 1500       |
| Magneetit                       | 0-3,8        | 0                     | 0          | 0                             | 0          |
| <b>Yhteensä 1<br/>voimala</b>   |              |                       |            | +69 500                       | +117 500   |
| <b>Yhteensä 10<br/>voimalaa</b> |              |                       |            | +695 000                      | +1 175 000 |
| <b>Hybriditorni</b>             |              | <b>Min</b>            | <b>Max</b> | <b>Min</b>                    | <b>Max</b> |
| Betoni                          | 243*         | 20                    | 80         | 5 000                         | 20 000     |
| Teräs                           | 364*         | +100                  | +170       | +37 000                       | +62 000    |
| Alumiini                        | 6,1          | +600                  | +1 100     | +4 000                        | +7 000     |
| Kupari                          | 3,7          | +4 000                | +6 600     | +15 000                       | +24 500    |
| Lasi- ja<br>hiilikuitu          | 40,8         | 200                   | 300        | 8 000                         | 12 000     |
| Polymeerit                      | 18,5         | 100                   | 250        | 2 000                         | 4 500      |
| Elektroniikka                   | 3,75         | 0                     | 0          | 0                             | 0          |
| Öljy ja nesteet                 | 1,5          | 100                   | 850        | 0                             | 1500       |
| Magneetit                       | 3,8          | 0                     | 0          | 0                             | 0          |
| <b>Yhteensä 1<br/>voimala</b>   |              |                       |            | +41 000                       | +55 500    |
| <b>Yhteensä 10<br/>voimalaa</b> |              |                       |            | +410 000                      | +555 000   |

**Kustannusarvioiden lähteet:** Romuta, Romukoski, Metallit rahaksi, Fortum.

\* Hybriditornin osalta arvioitu, että 40 % terästornin teräsmäärästä on betonia.

Taulukossa esitetty betonin osuus sisältää vain hybriditornien sisältämän betonin. Betonin osalta kustannusten ylärajaksi on arvioitu jäteveron suuruus 80 €/tonni. Esimerkiksi kunnallisilla jätehuolto-yhtiöillä betonijätteen vastaanottomaksut ovat tyypillisesti 10-50 €/tonni. Kustannuksen alaraja 20 €/tonni on arvioitu silloin, jos betonijäte jalostetaan ja hyödynnetään murskeena lähialueella.

Metallien hinnat arvioitu tämänhetkisten vastaanottohintojen perusteella romualan toimijoiden (Romuta, Romukioski, Metallit rahaksi, Fortum) hintatietojen avulla. Esimerkiksi kuparin hinta oli lähes tuplaantunut verrattuna 2014 selvityksen hintoihin. Metallien hintakehitystä on haastavaa arvioida pitkälle tulevaisuuteen. Lyhyellä aikavälillä hinnoissa voi olla jonkinlaisia korotuspaineita johtuen geopolittisen tilanteen vaikutuksesta metallien saatavuuteen. Toisaalta yhteiskunnan kasvava sähköistyminen lisää tiettyjen metallien, esimerkiksi kuparin ja alumiinin, kysyntää. Metallien hinnoissa voi tapahtua lyhyelläkin aikavälillä suuria muutoksia.

Tuulivoimaloiden lapojen lasi- tai hiilikuitukomposiittien osalta todennäköisin vastaanottaja Suomessa on Finnsementti, joka pystyy hyödyntämään lapamurskeen rinnakkaisprosessoinnissa energiana ja raaka-aineena sementintuotannossa. Ennen Finnsementille toimittamista lavat murskataan sopivaan raekokoon esimerkiksi Kuusakosken toimesta. Tarkkaa yksikköhintaa porttimaksusta ei ole tiedossa, mutta kustannuksena on käytetty Kuusakoskelta saatua arviota 200-300 €/tonni (ml. lapojen käsittelyn ja kuljetuksen). Sementtiteollisuudella on käytössä useita eri lähteitä vaihtoehtoisille raaka-aineille, joista lujitemuovit ovat yksi. Näin ollen lapamurskeesta jouduttaneen maksamaan myös jatkossa jonkun suuruinen porttimaksu. Finnsementillä on kapasiteettia käsitellä vuositasolla noin 10 000 tonnia lapamursketta. Kapasiteetin arvellaan riittävän pelkille tuulivoimaloiden lavoille 2050-luvulle asti.

*Kuvaajan 9-1* mukaan vuositasolla suurimmat tuulivoimaloiden purkumäärät osuva 2030-luvun loppupuolelle, jolloin purettaisiin arviolta 130-180 voimalaa vuodessa. Nykyisen kokoisilla voimaloilla tämä tarkoittaisi maksimissaan noin 6 500 tonnia voimaloiden lapoja/vuosi (180 voimalaa, 3 lapaa per voimala á 12 tonnia). Tuulivoimaloiden lapojen lisäksi vastaavalla rinnakkaisprosessoinnilla käsitellään myös muita lujitemuoveja, joten koko kapasiteetti ei ole todennäköisesti käytössä pelkästään tuulivoimaloiden lapoja varten.

Sähkö- ja elektroniikkaromun osalta on arvioitu, että jäte otetaan vastaan kierrätykseen ilman maksua.

Öljy ja voiteluaineet on arvioitu vastaanotettavan joko jäteöljyn tai vaarallisen jätteen hinnalla. Näiden vastaanottomaksu on arvioitu tämän hetken tyypillisten vaarallisen jätteen vastaanottomaksujen ja kunnallisten jätehuoltoyhtiöiden hintojen perusteella.

Suoravetoiset voimalat, joissa on käytössä kestromagneetteja, ovat erittäin harvinaisia Suomessa. Magneetteja on kuitenkin käytössä joissain voimaloissa. Magneetit päätyvät kierrätykseen joko metallin seassa tai eroteltuna. Kestomagneeteille on olemassa nykyisellään kierrätyskanava ja Suomessa magneetteja vastaanottaa tällä hetkellä Neorem Magnets Ulvilassa. Magneetteja voidaan kierrättää uusien magneettien raaka-aineena magneettien valmistajan toimesta pieniä määriä. Suuremmat määrät tulisi todennäköisesti kierrättää raaka-aineen valmistajan kautta, jolloin kierrätettävästä materiaalista saadaan tehokkaammin poistettua epäpuhtauksia. Kierrätysmagneettien tarkkaa arvoa on haastava arvioida tällä hetkellä, koska siihen vaikuttavat magneettien koostumus ja raaka-aineiden maailmanmarkkinahinta. Tästä syystä laskelmassa magneeteille on esitetty pelkästään nollahinta. Erikseen purettuna hyvälaatuisten magneettien arvoksi on arvioitu Prizztechin vuonna 2019 julkaistussa selvityksessä 0-10 €/kg (0-10 000 €/t) (Suominen & Haavisto, 2019).

## 8.1 Tuulivoimaloiden lavat

Tuulivoimaloiden lavat ovat muovikomposiittia, jota käytetään yhteiskunnassa laajasti muutoinkin, esimerkiksi veneissä, autoissa, urheiluvälineissä ja teollisuuden säiliöissä ja putkissa. Muovikomposiitin hyötykäyttö on meillä mahdollista teollisessa mittakaavassa *Kimura*-reitillä, jolloin se hyödynnetään sementinvalmistuksessa energianlähteenä ja raaka-aineena.

*Kimura* tulee sanoista kierrätetty, murskattu raaka-aine. Muovikomposiitit kerätään Kuusakosken Hyvinkään keräyspihalle, jossa ne murskataan ja kuljetetaan edelleen Finnsementin Lappeenrannan tehtaalle. Puolet murskasta menee sementin välituotteena toimivan klinkkerin valmistuksessa tarvittavan klinkkeriuunin lämmittämiseen korvaamaan fossiilisia polttoaineita. Puolet murskasta on valmistettavan klinkkerin ja edelleen sementin sidosainetta. Tällaista materiaali-kierrätyksen ja energiankäytön yhdistävää hyödyntämistapaa kutsutaan rinnakkaisprosessoinniksi.

Vastaava hyödyntämismenetelmä on jo käytössä esimerkiksi Saksassa (Siemens Gemesa, 2021) ja Yhdysvalloissa (Veolia, 2020). Rinnakkaisprosessointi energiaksi ja raaka-aineeksi sementintuotannossa on tämänhetkisen näkemyksen mukaan potentiaalisina ja teollisessa mittakaavassa paras hyödyntämismenetelmä isoille volyymeille lujitemuoveja. Kierrätysmenetelmät kuitenkin kehittyvät nopeasti, ja *Kimura*-reitiltä murska voidaan tulevaisuudessa ohjata myös kehittyvien kierrätysmenetelmien piiriin.

Muovikomposiitit soveltuvat huonosti jätteenpolttoon, ja se onkin tähän asti ollut mahdollista vain rajoitetusti. Muovikomposiittia on voinut poikkeusluvalla sijoittaa myös kaatopaikalle, mikä ei kuitenkaan ole tätä päivää tai toivottua, saati jatkossa mahdollista.

|   |   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• 100% kierrätettävien materiaalien käyttö ja kierrätettäväksi suunnittelu -&gt; <i>tutkimusvaiheessa</i>.</li> </ul>  | 1. Jätteen määrän ja haitallisuuden vähentäminen                    |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lapojen hyödyntämistä on pilotoitu mm. ympäristörakentamisessa -&gt; <i>tutkimus/pilotointivaiheessa</i></li> </ul>  | 2. Uudelleenkäyttö  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Komposiittimateriaalit -&gt; <i>tuotantomittakaavassa USA:ssa</i></li> <li>• Solvolyyysi -&gt; <i>tutkimusvaiheessa</i></li> <li>• Pyrolyysi -&gt; <i>tutkimusvaiheessa</i></li> </ul>                         | 3. Kierrätys eli uusiokäyttö  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lapamurskeen (myös muiden lujitemuovien) hyödyntäminen sementinvalmistusprosessissa energiana ja raaka-aineena. Prosessointia toteutettu tuotantomittakaavassa esim. Suomessa, Saksassa ja USA:ssa.</li> </ul> | Rinnakkaisprosessointi<br>(Hyödyntäminen energiana ja materiaalina) |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lapamurskeen polttaminen mahdollista luvan omaavissa jätteenpolttolaitoksissa Suomessa</li> </ul>  | 4. Hyödyntäminen energiana  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Loppusijoittaminen kaatopaikalle mahdollista vain poikkeusluvalla Suomessa</li> </ul>  | 5. Loppusijoitus  |

**Kuva 8-1. Tuulivoimaloiden lapojen tunnistetut hyödyntämisvaihtoehdot Jätelain 646/2011 etusijajärjestyksen mukaisesti vuonna 2022.**

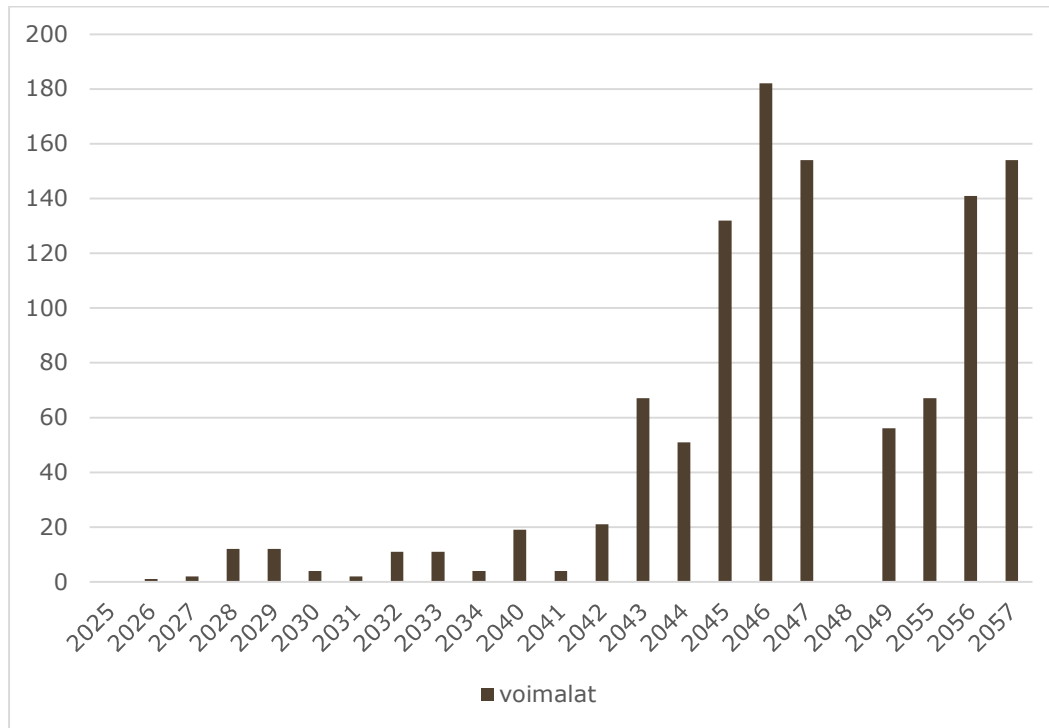
Tällä hetkellä lapamurskeen hyödyntäminen esimerkiksi Yhdysvalloissa on noin 20-30 % kalliimpaa (WSJ, 2022) kuin kaatopaikalle sijoittaminen, mutta tulevaisuudessa sementtiteollisuuden päästökriteerit todennäköisesti kiristyvät, jolloin lapamurskeen hyödyntäminen kivihiilen korvaajana voi olla taloudellisesti houkutteleva vaihtoehto. Euroopassa useat maat, mukaan luettuna Suomi, ovat kieltäneet tuulivoimaloiden lapojen loppusijoittamisen kaatopaikalle ja tuulivoimaloiden lavoille on esitetty Euroopan laajuista kaatopaikkakieltoa 2025 lähtien. Tuulivoima-ala on asettanut itse itselleen kaatopaikkakiellon 2025 alkaen (Wind Europe, 2021). Suomessa lainsäädäntö on jo nyt tiukempaa kuin Euroopassa yleisesti.

## 9 Purkuvolyymit

Suomessa on rakennettu pääasiassa 2010-luvulta alkaen yli 1 400 tuulivoimalaa. Suomessa on tähän mennessä purettu kaikkiaan alle 50 voimalaa. Tekninen kehitys on nostanut voimaloiden käyttöiän 35 vuoteen.

Purkuvolyymiennusteessa on käytetty laskennallisena käyttöikä 25 vuotta 1990-2000 -luvulla valmistuneisiin voimaloihin, 30 vuotta 2010-luvulla valmistuneisiin voimaloihin, sekä 35 vuotta 2020-luvulla valmistuneisiin voimaloihin.

Kuvaaja 9-1: **Arvio tuulivoimaloiden purkuvolyymista**



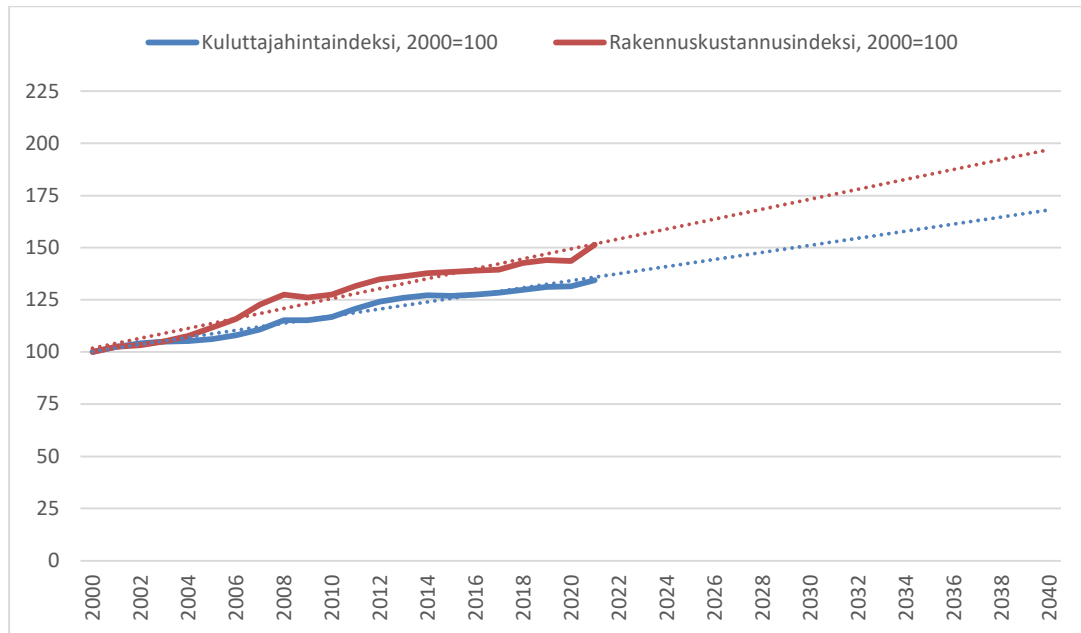
## 10 Hintakehitys

Purkukustannuksien arvioidaan seuraavan rakennuskustannusindeksiä. On kuitenkin huomattava, että myös materiaalien hinnat nousevat kustannusten noustessa, mikä taas puolestaan alentaa purkamisen kokonaiskustannuksia.

Haahtelan rakennuskustannusindeksillä kuvataan tarjoushintatason kehittymistä indeksialueilla. Indeksi on vuodesta 2014 vuoteen 2022 noussut noin 41 %.

Seuraavassa kaaviossa on esitetty Tilastokeskuksen rakennuskustannusindeksin ja kuluttajahintaindeksin kehitys vuosilta 2000-2021 ja ennuste vuoteen 2040 asti, kun lähtötasoksi on valittu vuosi 2000.

Kuvaaja 10-1: **Hintakehitysennuste 2000-2040**



## 11 Yhteenveto kustannuksista

Tarkastelussa on arvioitu purkukustannukset 10 voimalan tuulivoimapuistolle. Yksittäisten voimaloiden purkamista tehdään lähinnä poikkeustilanteissa ja tällöin purkamisen yksikkökustannukset ovat todennäköisesti suuremmat verrattuna kokonaisen tuulivoimapuiston purkamisen kustannuksiin.

Purkumateriaalien myynnistä saatava tulo (esimerkiksi metallit) on huomioitu omana rivinä laskennassa ja saatu tulo on vähennetty kokonaiskustannuksista.

Kustannukset on laskettu sillä oletuksella, että perustukset jätetään nykyinsäädännön mukaisesti maahan ja maisemoidaan.

Suurempia määriä tuulivoimaloita tullaan purkamaan vasta seuraavilla vuosikymmenillä, joten hintakehityksen arviointi pitkällä aikavälillä on haastavaa.

| Kustannus-tekijä   | Terästorni              | Hybriditorni               |
|--|-------------------------|----------------------------|
| <b>Purkamisen valmistelun kustannus</b>  | 478 000...605 000       | 478 000...605 000          |
| <b>Nasellin ja roottorin purkamisen kustannus</b>                              | 248 000...287 000       | 248 000...287 000          |
| <b>Tornin purkamisen kustannus</b>   | 318 000...322 000       | 447 000...575 000          |
| <b>Purettujen osien poiskuljetus</b>   | 180 000...280 000       | 180 000...280 000          |
| <b>Perustusten maisemoinnin kustannus</b>                                      | 30 000...45 000         | 30 000...45 000            |
| <b>Yhteensä 10 voimalaa</b>  | 1 254 000...1 539 000   | 1 383 000...1 792 000      |
| <b>10 voimalan kierrätysmateriaalien myynnistä saatava tulo</b>                | +695 000...+1 175 000   | +410 000...555 000         |
| <b>10 voimalan purkukustannukset, kun materiaalien myyntitulo on huomioitu</b> | <b>79 000...844 000</b> | <b>828 000...1 382 000</b> |
| <b>Yhden voimalan purkukustannus 10 voimalan purku-urakan osana</b>            | <b>7 900...84 400</b>   | <b>82 800...138 200</b>    |