



# TEKNOLOGIATEOLLISUUDEN VÄHÄHIILITIEKARTTA RAPORTTI – VAIHE 1

Vasara / Lehtinen / Laukkanen  
9. tammikuuta 2020



---

All rights reserved. No part of this document may be reproduced in any form or by any means without permission in writing from Pöyry.

Copyright © Pöyry

# SISÄLLYSLUETTELO

	Sivunumero
• Executive summary	4
• Tausta ja lähestymistapa	14
• Toimialakohtainen analyysi	
– Metallinjalostus	18
– Valmistava teollisuus	34
– Palvelut ja ICT-teollisuus	44
• Skenaariot – pohja	67
<hr/>	
• Liitteet	
– Taustatietoa päästöistä	69

## Tässä työssä on keskitytty sektorin omien kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisen mahdollistaviin teknologioihin

### Ei helppoja keinoja

- Energiaintensiiviselle teollisuudelle energia on yksi merkittävimpiä kulueriä. Energiansäästö on suora rahasäästö.  
→ Helpot keinot on jo pitkälti käytetty. Yksin nykyprosesseja parantamalla päästöt vähenevät vain rajallisesti.

### Sähkön saatavuus ja hinta

- Vaikka monia teknisiä ratkaisuja voidaan esittää, nojaa suuri osa todella merkittävistä teknisistä keinoista sähköistämiseen.  
→ Vähähiilisen sähkön hinta ja saatavuus määrittävät sen, toteutuvatko suuret päästövähennykset. Vähähiilinen sähkö voi tulevaisuudessa olla yhä merkittävämpi vetovoimatekijä teollisuuden sijoittautumiselle.

### Globaali markkina ja ajattelu

- Suomalaiset yritykset ja niiden toimipaikat kilpailevat globaalisti. Merkittävät investoinnit varsinkin alkuvaiheessa kalliimpiin, vähäpäästöisiin teknologioihin eivät tapahtune ilman julkista tukea.  
→ Globaalin markkinan vuoksi kokonaisuutta on ajateltava globaalista näkökulmasta. Toisaalta kysyntä teknologiateollisuuden tarjoamille vähäpäästöisille ratkaisuille on myös globaali.

### Heterogeenisyys, elinkaari ja kädenjälki

- Koko teknologiateollisuudelle (tai sen yksittäiselle toimialalle) ei voida esittää yhtä ratkaisua yritysten äärimmäisen heterogeenisyyden vuoksi. Suorista päästöistä pääosa syntyy metallinjalostuksessa, ja elinkaari- ja kädenjälkiajattelu on tuotava keskiöön kaikilla toimialoilla..  
→ Päästöjen pienentämisen on tapahduttava monessa kohtaa arvoketjua, ja uudenlaisten materiaalien ja tuotantoprosessien tarve on selkeä.

### Energiaintensiivisyys nousussa ICT:ssä

- ICT-sektorilla, erotuksena muihin tässä työssä tarkasteltaviin sektoreihin, huima ja jatkuvasti kiihtyvä kehitys on johtanut energiankulutuksen ja osittain –intensiiteetin nousuun,  
→ Päästöjen vähentäminen ei pysy perässä yhtä helposti kuin kypsemillä aloilla, ja syklit ovat paljon lyhyempiä. Päästövähennykset ja -kustannukset ovat äärimmäisen vaikeita ennakoita, kun moni ratkaisu on TRL 1-3. Sen sijaan osaamistarve ja vientipotentiaali ovat mielenkiintoisia.

# MITÄ, MIKSI, MITEN?

## Millä tavoin projekti voidaan tiivistää?

### MITÄ?

- Tavoite on mahdollisimman realistinen tiekartta keinoineen kohti vähähiilistä teknologiateollisuutta 2035.

### MIKSI?

- Taustalla on sekä Suomen hallituksen julistama tavoite ja projekti että teknologiateollisuuden strategia ilmastonmuutoksen torjumiseksi.

### MITEN?

- Osana muiden vientisektorien (kemia, metsä) ja energiateollisuuden kanssa, iterointi jossa teknologialähtöiset skenaariot vaikutuksineen ja kustannuksineen kohtaavat energian tarpeen ja saatavuuden.

## Suuri osa välttämättömistä ratkaisuista päästöjen vähentämiseen koko yhteiskunnassa kehitetään teknologiateollisuuden yrityksissä

- Teknologiateollisuuteen sisältyy teollisuutta, jolla on suuret suorat kasvihuonekaasupäästöt, joiden vähentäminen on lähtökohta.
- Suurelta osin teknologiateollisuuden tuotteet ja palvelut toimivat välttämättöminä teknologiasyötteinä talouden muilla sektoreilla – maa- ja metsätaloudessa, energiasektorilla, metsä- ja kemianteollisuudessa, liikenteessä, kaupan alalla, rakentamisessa ja rakennuksissa ja niin edelleen.
- Erityisesti tuotantoteknologiat, jotka tarjoavat sähkönkulutukselle joustomahdollisuutta, edistävät sähkömarkkinan vähähiilistymistä.
- Yli sektorirajojen ulottuvan T&K-yhteistyön tukeminen on olennaista sekä uuden liiketoiminnan synnyttämiseksi että päästövähennysratkaisujen kehittämiseksi.

Kaikki talouden sektorit tarvitsevat teknologiateollisuudessa kehitettyjä ratkaisuja päästöjensä vähentämisessä.



Teknologisten innovaatioiden kehittäminen ja kaupallistaminen muille sektoreille

## Teknologiатеollisuuden toimijat ryhmiteltiin kolmeen klusteriin samankaltaisten ratkaisujen löytämiseksi

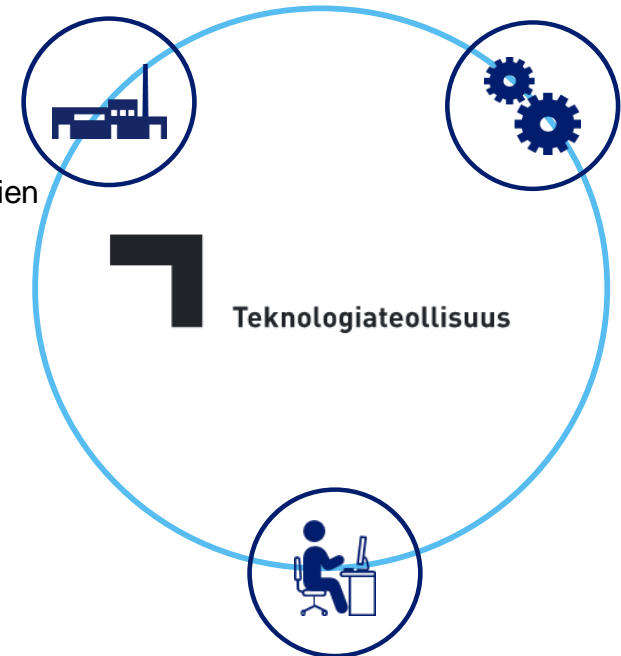
- Teknologiатеollisuus on erittäin heterogeeninen kokonaisuus yrityksiä, jotka toimivat eri toimialoilla taikka arvoketjun eri osissa.
- Osa ratkaisusta on yleisiä kaikille toimijoille, osa hyvin spesifisefjä, jopa yrityskohtaisia.
- Teknologiатеollisuus jaoteltiin kolmeen klusteriin: metallinjalostukseen (sis. kaivokset), valmistavaan teollisuuteen sekä palveluun.
- Jaottelu on väistämättä osin epätäydellinen; yhdessäkin yrityksessä voi olla luonteensa puolesta kaikkiin eri klustereihin sijoitettavia toimintoja. Ratkaisu kuitenkin lisää tulosten hyödynnettävyyttä.
  - Tuloksia tulisi tulkita liiketoiminnan luonteen kannalta ennemmin kuin takertua siihen, mihin tietty juridinen kokonaisuus tulee raportissa sijoitetuksi.

### Valmistava teollisuus

- Kone- ja metallituoteteollisuus sekä kulkuneuvojen valmistus
- Elektroniikka- ja sähköteollisuus

### Metallinjalostus

- Metallimalmien ja teollisuusmineraalien louhinta
- Metallien jalostus



### Palvelut

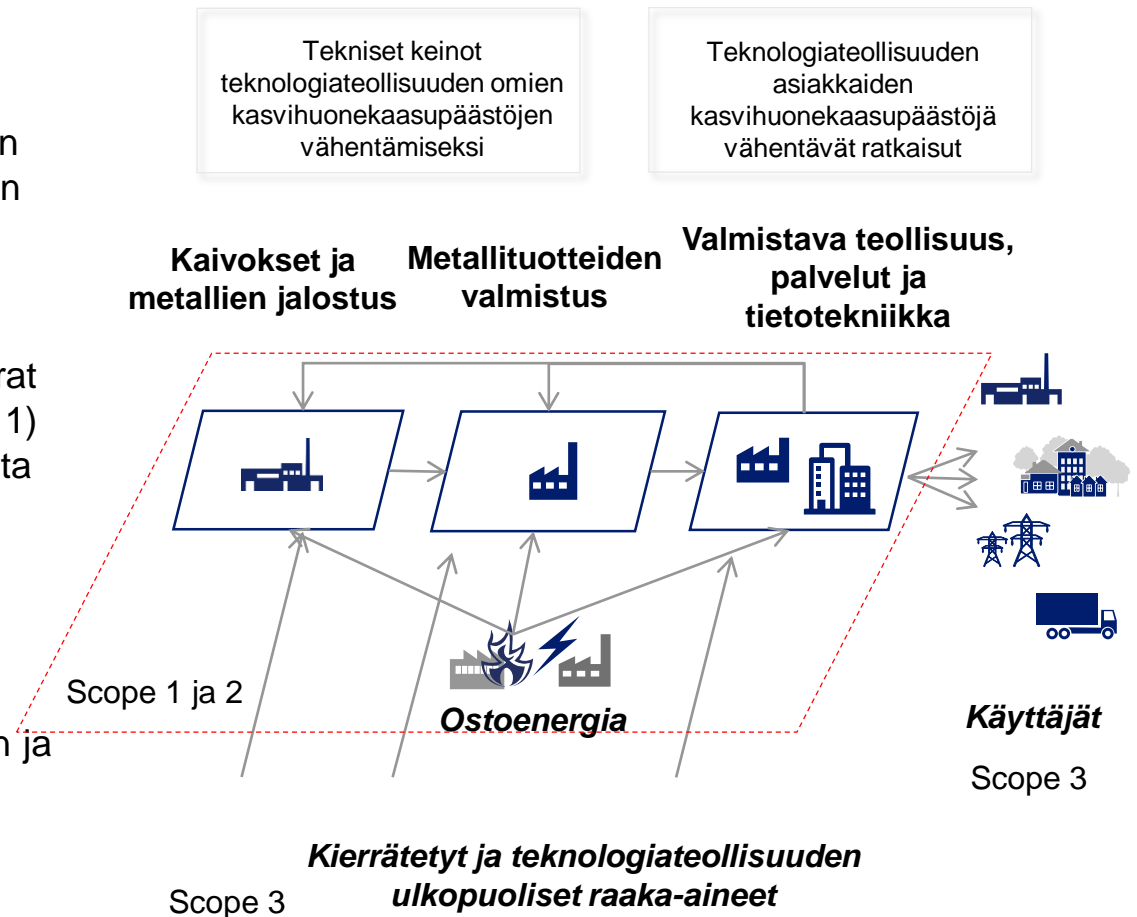
- Tietotekniikka
- Suunnittelu ja konsultointi

# TARKASTELUN RAJAT

## Executive summary

### Analyysissä mukana kahdenlaiset tekniset keinot

- Työn ensimmäisessä vaiheessa tarkastellaan teknisiä keinoja teknologiateollisuuden toimijoiden omien kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi
- Päästövähennysskenaarioissa huomioidaan kvantitatiivisesti teknologiateollisuuden omat suorat kasvihuonekaasupäästöt (scope 1) sekä ostetun energian tuotannosta aiheutuneet päästöt (scope 2), vaikutuksia raaka-aineiden ja muiden tarvittavien materiaalien päästöihin (scope 3) käsitellään kvalitatiivisesti
- Teknologiateollisuuden tuotteiden ja palveluiden käytöstä syntyviä asiakkaiden päästövähennyksiä analysoidaan työn vaiheessa II kädenjälkitarkastelussa



Jako skenaarioissa kvantitatiivisesti ja kvalitatiivisesti tarkasteltaviin kokonaisuuksiin merkitty punaisella katkoviivalla.



# TAUSTA TOIMIALOITTAIN

## Executive summary



### Kaivokset ja metallinjalostus

- Kaivokset ja metallinjalostus edustavat energia- ja päästöintensiivisintä osaa teknologiateollisuudesta. Toimiala on suurilta osin keskittynyt ja keskenään integroitunut.
- Metalliteollisuus työllistää suoraan noin 16 300 ja kaivosteollisuus noin 4 500 henkeä Suomessa. Luvut eivät sisällä merkittäviä epäsuoria työllisyysvaikutuksia.
- Tuotantoprosessit ja niihin sopivat tekniset keinot ovat hyvin yksilöllisiä.
- Merkittävimmät keinot suorien päästöjen vähentämiseksi ovat sähköistämässä sekä uusissa prosessikonsepteissa (esim. bio- tai vetytelkistys ja CO<sub>2</sub> talteenotto metallinjalostuksessa).
- Vähäpäästöisyys edellyttää mittavia investointeja ja runsaasti uusia resursseja (vähäpäästöinen sähkö, raaka-aineet), millä on vaikutusta globaaliin kilpailukykyyn.



### Valmistava teollisuus

- Valmistava teollisuus muodostuu koneiden- ja laitteiden valmistuksesta sekä sähkö- ja elektroniikkateollisuudesta. Toimiala kattaa kolmanneksen Suomen teollisuuden tavaraviennistä ja osuus teollisuuden jalostusarvosta on yli 40%.
- Sähkö- ja elektroniikkateollisuus työllistää suoraan noin 39 500 ja kone- ja metallituoteteollisuus noin 134 700 henkeä Suomessa.
- Teollisuudenalan omien päästöjen vähennyskeinot liittyvät energian ja materiaalien käyttöön. Tämän toimialan teknologisilla ratkaisuilla on laajat vaikutukset myös toimialan ulkopuolella tuotteiden käytönaikaisten päästöjen kautta.



### Palvelut ja ICT

- Tässä klusterissa käsitellään suunnittelua, konsultointia ja tietotekniikkaa.
- Suunnittelu ja konsultointi käsittää teollisuuden, yhteiskunnan ja rakentamisen asiantuntijapalvelut. Tietotekniikkaan kuuluvat ohjelmistojen ja tietojen käsittelypalvelut sekä palvelincentrumit ja verkkoportaalit.
- Tietoyhteiskunnan vahvistuminen ja datamäärien kasvu merkitsevät energiankulutuksen kasvua.
- Suunnittelu ja konsultointi työllistää suoraan noin 57 000 ja tietotekniikka-ala noin 74 000 henkeä Suomessa.
- Tämän teollisuudenalan palveluilla on suuri merkitys palveluja käyttävien toimijoiden päästöjen vähentämisessä.

# YHTEISTÄ JA TOIMIALAKOHTAISTA

Executive summary

Suuri osa teknologioita yhdistää teknologiateollisuuden sektoreita; osa on sektorikohtaisia

## Metallinjalostus

Vaihtoehtoiset pelkistimet ja energianlähteet metallinjalostuksessa  
Prosessien, koneiden ja laitteiden sähköistäminen  
CO<sub>2</sub> talteenotto ja hyödyntäminen

## Valmistava teollisuus

Energiatehokkaat moottorijärjestelmät  
Kevyet ja kestävät materiaalit ja rakenteet  
Koneiden uusiovalmistus  
Materiaalia lisäävä valmistus

## ICT/palvelut

”Opetusniukka” tekoäly  
Vihreät pilvipalvelut ja sumupalvelut  
Energiatehokas 5G ”Massive MIMO”  
Datakeskusten mitoittaminen alle piikkikapasiteetin ja tehokas marginaaliratkaisu

Vähähiiliset raaka-ainelähteet

Automaatio

Sähköistäminen

Hukkalämmön ja liike-energian talteenotto

Energiatehokkuusparannukset

Sisäisen logistiikan ratkaisut

## Yhteinen pohja

Uudet liiketoimintamallit

Digitalisaatio

Rakennusten energiatehokkuus

Vähähiilisen sähkön hankinta

Sivuvirtojen hyödyntäminen

ICT:n energiatehokkuus

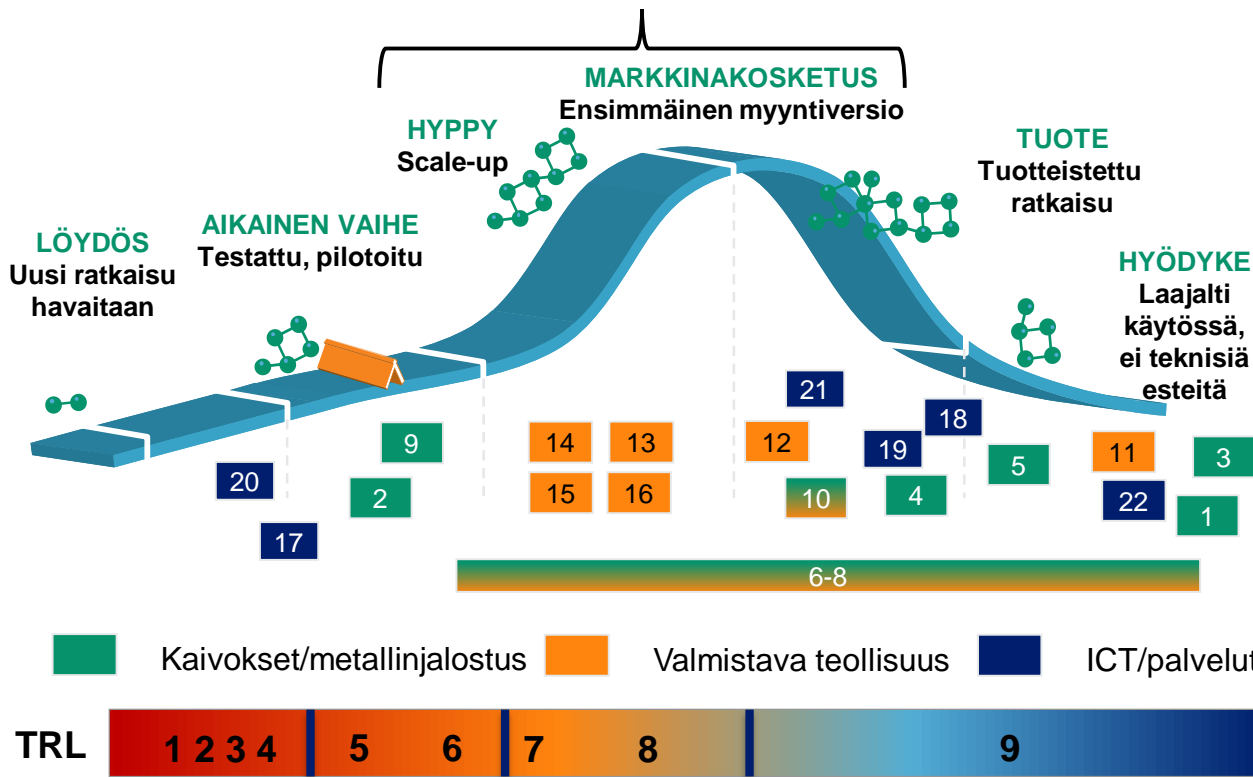
Energian kulutusjoustoteknologiat

# TEKNOLOGISEN KEHITYKSEN VAUHDITTAMINEN

Executive summary

R&D (Research and development) laajennettava muotoon RDD&D (Research, development, demonstration and deployment) uusien teknologioiden kaupallistamisen vauhdittamiseksi

Fokus: vähähiiliteknologioiden kaupallistaminen, levittäminen ja massatuotanto



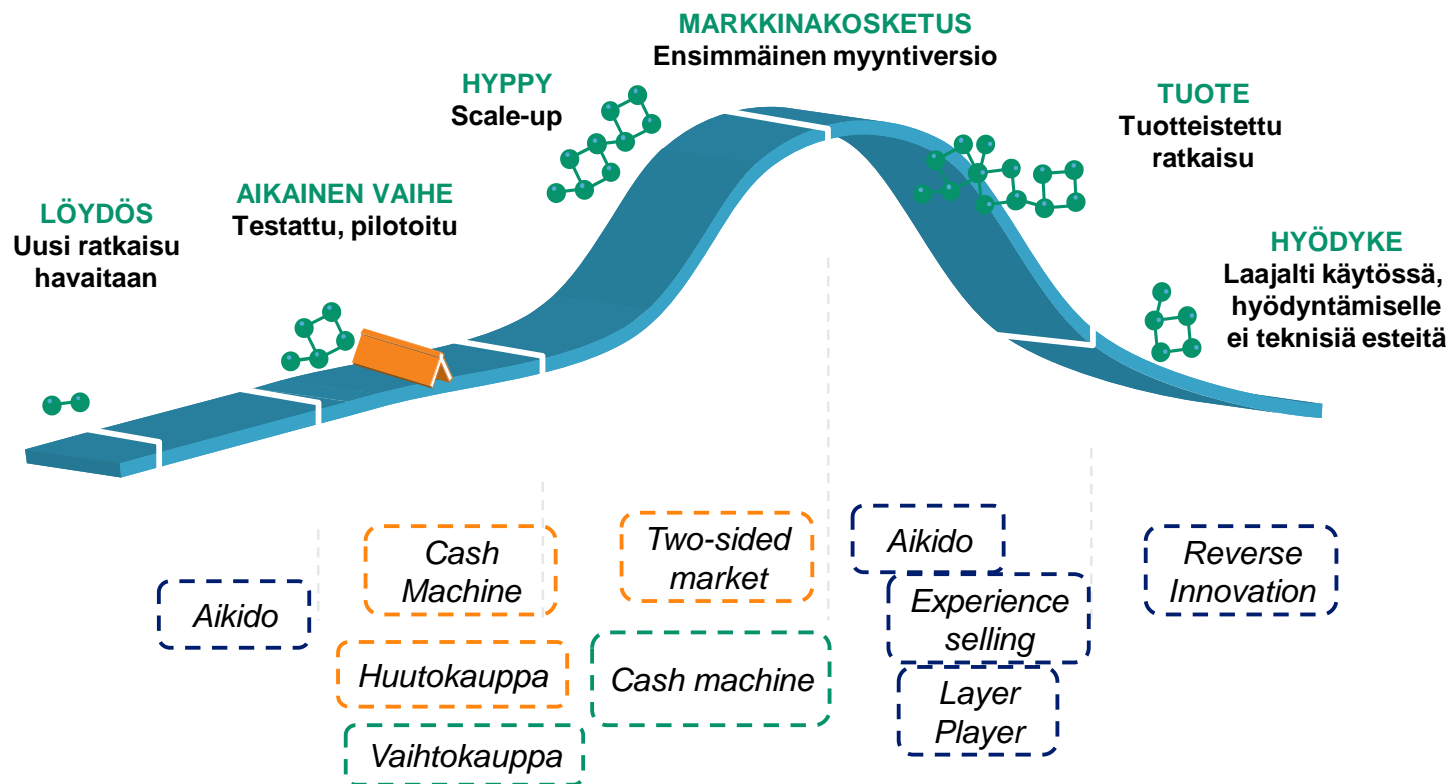
## Kaivokset ja metallinjalostus

- Vähähiiliset raaka-aineet metallinjalostuksessa, esim. biomassan kaksin vaihtoehtona pelkistimenä\*
- Vetypelkistys metallinjalostuksessa
- Vähähiilisen sähkön hankinta
- Sähköistäminen: esim. kaivoksen koneet ja teollisuuden prosessit
- Biopolttoaineet, polttoainemuutokset kaivoksissa ja teollisuudessa
- Energiatehokkuusparannukset
- Digitalisaatio
- Sivuvirtojen hyödyntäminen (esim. kuonan hyötykäyttö)
- CCS/CCU
- Synteettisten polttoaineiden valmistus
- Valmistava teollisuus**
- Käyttövoimaratkaisut, esim. energiatehokkaat moottorijärjestelmät
- Hukkalämmön hyödyntäminen
- Liike-energian talteenotto
- Uudet materiaalit ja rakenteet
- Uudenlaiset prosessit, esim. 3D-tulostus
- IoT-sensorit
- ICT/palvelut**
- Energiatehokkaampi/"opetusniukka" tekoäly
- Energiatehokkaammat pilvipalvelut
- Energiatehokkaammat sumupalvelut (fog/edge computing)
- Energiatehokas 5G "Massive MIMO"
- Keskusten mitoittaminen alle piikkikapasiteetin ja tehokas marginaaliratkaisu
- Hukkalämmön hyödyntäminen

\*Teknisesti biomassan hyödyntäminen metallinjalostuksessa on jo kaupallisessa käytössä esimerkiksi Etelä-Amerikassa. Suomessa teknologia ei ole kaupallistettu.

# TEKNOLOGISEN KEHITYKSEN VAUHDITTAMINEN: MAHDOLLISIA BISNESMALLEJA

Normaalien TKI-instrumenttien lisäksi saattaisi olla aika kokeilla jotain uutta. Alla ideoita sijoitettuina pitkin aikajanaa, selitykset seuraavalla sivulla.



### Differentioijia

- **Aikido**  
Käytä hyökkääjän voimaa häntä itseään vastaan => suuntaa tuote niin että se iskee päinvastaisella imagolla kuin hallitseva tuote

### Kaupallistaminen

- **Cash Machine**  
Koko arvioitu TKI-summa (tai osa) maksetaan etukäteen saajalle. Vältetään likviditeettikriisit ja vuosien jälkeen tuleva tositteiden perusteella maksu.
- **Huutokauppa**  
Miltä kuulostaakin: voi kytkeä Cash Machineen. Kehittäjä sitoutuu myymään kokonaisuuden/osan kun se saavuttaa tietyn vaiheen, ja jatkaa tukena
- **Experience selling**  
Tuotteeseen lisätään kyliäisenä ensimmäisen käyttäjän kokemus ja neuvonta
- **Layer Player**  
Toimija joka liittyy lisä-arvo-askeseen hyvinkin erilaisiin arvoketjuihin
- **Two-sided market**  
Monitaustainen  
"markkinapaikka"  
ostaa/vaihtaa/rahoittaa kiinnostavia tuotteita

### IPR

- **Vaihtokauppa**  
Kaksi kehittäjää tarvitsee toistensa tulossa olevia palasia – sovitaan vaihtokaupasta jossa rinnakkain kehitetään kummallekin käyttöön

### Vienti

- **Reverse innovation**  
Otetaan käyttöön kehittyvien talouksien innovaatioita, sovitetaan niistä sopiva osa kehittyneille markkinoille ja tehdään vientituotteeksi

# TAUSTA JA LÄHESTYMISTAPA



# TIEKARTTA - LÄHESTYMISTAPA

Työ jakautuu kahteen vaiheeseen, syksy 2019 ja kevät 2020. Skenaariotyö on yhteensovittamisen takia aloitettava vaiheessa I, mutta syvennettävä vaiheessa II.

## Vaihe I

- *Mitkä ovat käytettävissä olevat tekniset ratkaisukeinot aikajanalla nyt – 2035/50?*



- *Mikä keinopaletti soveltuu kullekin toimijaryhmälle?*

- *Mihin pitäisi panostaa päästövähennystavoitteiden saavuttamiseksi? (Pohjatyötä vientipotentialille)*

- *Millaisella ratkaisukeinojen yhdistelmällä päästään tavoiteltuihin kasvihuonekaasupäästöjen vähennyksiin?*

## Vaihe II

- *Mitkä ovat ratkaisujen kustannukset yrityksille ja yhteiskunnalle?*
- *Millä ehdoilla valittujen skenaarioiden vaikutukset voivat toteutua?*
- *Millaiset ovat TKI- ja osaamistarpeet?*
- *Miten energiantarve muuttuu skenaarioissa?*

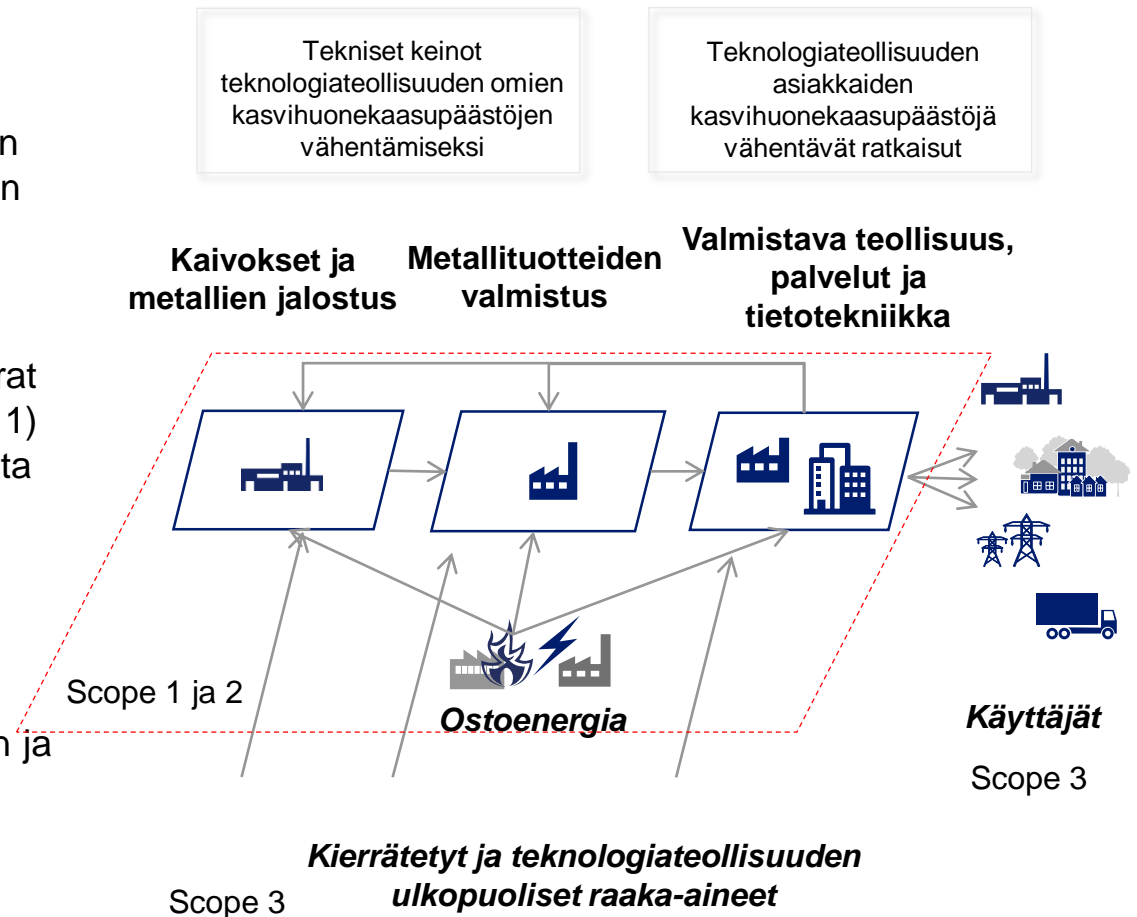
- *Mitä vaikutuksia skenaarioilla on teknologiateollisuuden suorien päästöjen vähenemisen lisäksi?*
- *Millainen on teknologiateollisuuden hiilikädenjälki?*

- *Tueksi parhaiden ohjauskeinojen määrittämiseen*

# TARKASTELEN RAJAT

## Analyyssissä mukana kahdenlaiset tekniset keinot

- Työn ensimmäisessä vaiheessa tarkastellaan teknisiä keinoja teknologiateollisuuden toimijoiden omien kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi
- Päästövähennysskenaarioissa huomioidaan kvantitatiivisesti teknologiateollisuuden omat suorat kasvihuonekaasupäästöt (scope 1) sekä ostetun energian tuotannosta aiheutuneet päästöt (scope 2), vaikutuksia raaka-aineiden ja muiden tarvittavien materiaalien päästöihin (scope 3) käsitellään kvalitatiivisesti
- Teknologiateollisuuden tuotteiden ja palveluiden käytöstä syntyviä asiakkaiden päästövähennyksiä analysoidaan työn vaiheessa II kädenjälkitarkastelussa



Jako skenaarioissa kvantitatiivisesti ja kvalitatiivisesti tarkasteltaviin kokonaisuuksiin merkitty punaisella katkoviivalla.



# TEKNOLOGIATEOLLISUUDEN RYHMITTELY

## Teknologiатеollisuuden toimijat ryhmiteltiin kolmeen klusteriin samankaltaisten ratkaisujen löytämiseksi

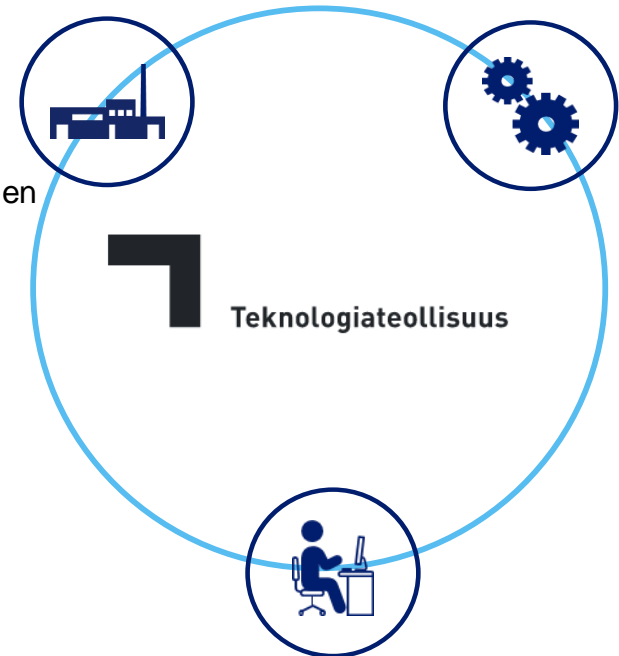
- Teknologiатеollisuus on erittäin heterogeeninen kokonaisuus yrityksiä, jotka toimivat eri toimialoilla taikka arvoketjun eri osissa.
- Osa ratkaisusta on yleisiä kaikille toimijoille, osa hyvin spesifisefjä, jopa yrityskohtaisia.
- Teknologiатеollisuus jaoteltiin kolmeen klusteriin: metallinjalostukseen (sis. kaivokset), valmistavaan teollisuuteen sekä palveluun.
- Jaottelu on väistämättä osin epätäydellinen; yhdessäkin yrityksessä voi olla luonteensa puolesta kaikkiin eri klustereihin sijoitettavia toimintoja. Ratkaisu kuitenkin lisää tulosten hyödynnettävyyttä.
  - Tuloksia tulisi tulkita liiketoiminnan luonteen kannalta enemmän kuin takertua siihen, mihin tietty juridinen kokonaisuus on raportissa sijoitettu.

### Metallinjalostus

- Metallimalmien ja teollisuusmineraalien louhinta
- Metallien jalostus

### Valmistava teollisuus

- Kone- ja metallituoteteollisuus sekä kulkuneuvojen valmistus
- Elektroniikka- ja sähköteollisuus



### Palvelut

- Tietotekniikka
- Suunnittelu ja konsultointi

# TOIMIALAKOHTAINEN ANALYYSI

## METALLINJALOSTUS



# TOP-3 HAVAINTOA: KAIVOS- JA METALLISEKTORI



## Ei helppoja keinoja

- Kaivos- ja metalliteollisuus on hyvin energiantensiivistä, ja energia on merkittävä kuluerä. Energiasäästö on rahäsäästö.  
→ NykYTEknologiaan perustuvat helpot keinot on jo pitkälti käytetty. SSAB:n HYBRIT on esimerkki merkittävästä uudesta teknologiasta teräksen valmistuksessa. Uusien teknologioiden kehittäminen vaatii aikaa, merkittäviä T&K panostuksia ja investointeja.

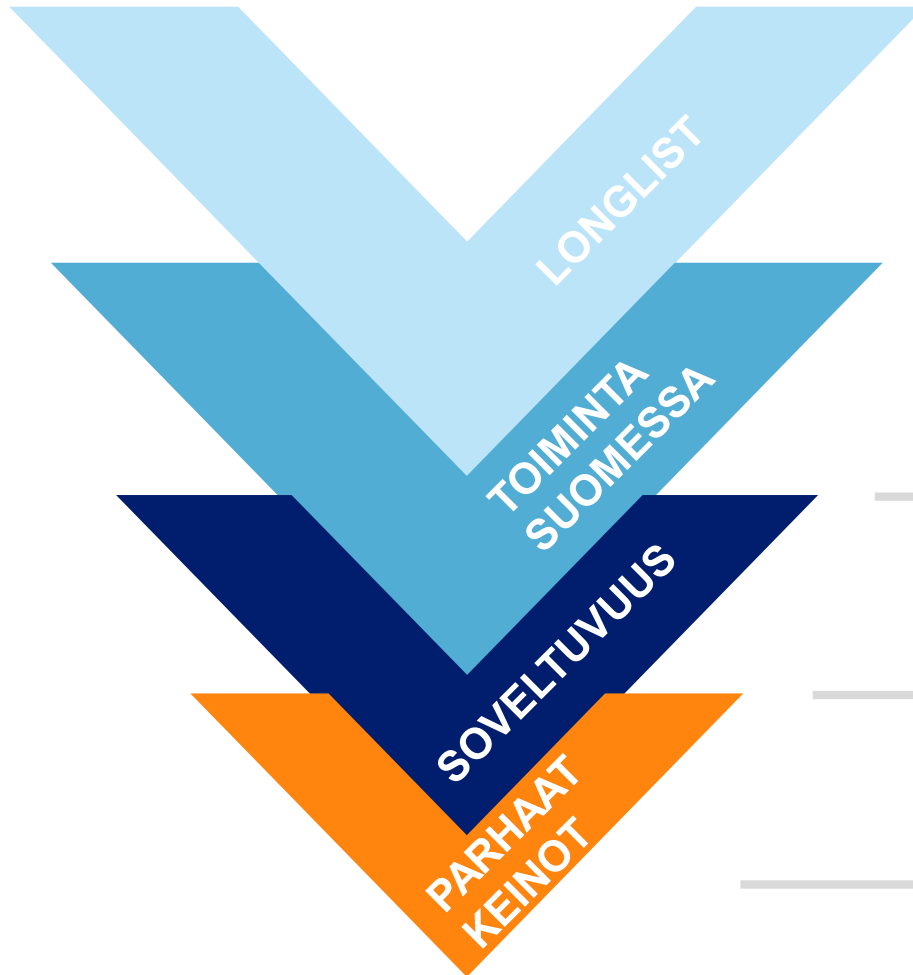
## Sähkön saatavuus ja hinta

- Vaikka monia teknisiä ratkaisuja voidaan esittää, nojaavat todella merkittävät tekniset keinot sähköistämiseen.  
→ Vähähiilisen sähkön hinta ja saatavuus määrittävät sen, toteutuvatko suuret päästövähennykset.

## Globaali markkina ja ajattelu

- Kaivos- ja metallisektori on hyvin kilpailtua globaalia liiketoimintaa. Merkittävät investoinnit kalliimpiin teknologioihin eivät tapahtune ilman julkista tukea.  
→ Globaalin markkinan vuoksi kokonaisuutta on ajateltava globaalista näkökulmasta.

# LÄHESTYMISTAPA



Teknologiakartoitus aloitettiin kokoamalla pitkä lista teknologisia ratkaisuja teknologiateollisuuden omien kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen. Tämä perustui muun muassa aiempiin toimialaselvityksiin, kirjallisuudessa esitettyihin vaihtoehtoihin, uusimpiin tutkimustuloksiin ja asiantuntemukseen.

Teknologiateollisuutta käsiteltiin kolmeen toimialaryhmään jaettuna. Kullekin ryhmälle tehtiin katsaus sisältäen soveltuvilta osin pääasialliset tuotantoprosessit, suurimmat päästölähteet ja jo hyödynnetyt päästövähennysratkaisut.

Pitkästä listasta siivilöitiin asiantuntijoiden avulla päästövähennyskeinot, joita on teknisesti mahdollista hyödyntää. Lisäksi analysoitiin niiden sopivuutta Suomen toimintaympäristöön.

Lopputuloksena saatiin listaus teknologisista päästövähennyskeinoista, niiden hyödyntämismahdollisuuksien aikajänteestä, päästövähennyspotentiaalista ja edellytyksistä.

# KAIVOKSET

Metallimalmit:  
n. 30 Mt (2017)\*

Teollisuusmineraalit:  
n. 15 Mt (2015)\*



## Yleiskuvas

Suomessa on kymmenisen metallimalmikaivosta, joiden yhteenlaskettu malmintuotanto oli n. 30 Mt (v. 2017). Suurimmat ovat Terrafamen Sotkamo ja Boliden Kevitsa (yhteensä n. 85 % kokonaistuotannosta). Teollisuusmineraalikaivosten tuotanto oli n. 15 Mt (v. 2015).

Kaivokset ovat hyvin yksilöllisiä, eivätkä samat ratkaisut sovi kaikkiin. Suomalaisten kaivosten päästöistä pääosa syntyy kuljetuksesta ja epäsuorasti sähkön käytöstä.

Kaivosten sähköistäminen on jo käynnissä oleva kehitys, sillä fossiilisten polttoaineiden käyttö lisää khk-päästöjen lisäksi polttoainekuluja sekä tarvetta ilmanvaihdolle.

## Energia- ja päästöintensiiviset prosessit

- Murskaus ja jauhatus hyvin energianintensiivisiä (sähkö)
- Materiaalin kuljetus, sisäinen logistiikka kuluttavat fossiilista polttoainetta

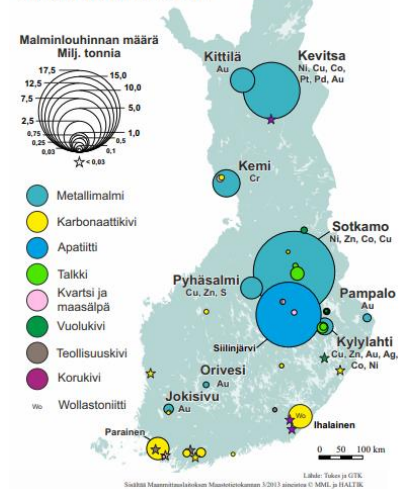
## Päästövähennysten esteet ja hidasteet

Polttoaineista dieselin energiatiheys on suuri, ja polttomoottoritekniologia on tunnettua verrattuna yhä nopeasti kehittyviin vaihtoehtoihin. Sähköistämisen on monia vaihtoehtoja, ja vähähiilisen sähkön saatavuus on ehdoton vaatimus.

## Päästövähennysteknologiat(2015-2035-2050)

- **Raaka-aineet:** malmin metallipitoisuudella suurin vaikutus
- **Sisäinen logistiikka:** kuljetuskaluston sähköistäminen (akut, sähkökaapelit) ja vaihtoehtoiset polttoaineet (biopolttoaineet, vety), hybridiratkaisut
- **Muu sähköistäminen:** lämmitys, louhinta, malmilogistiikka. Vaihtoehtoisesti biopolttoaineet.
- **Optimointi:** Älyratkaisut ilmanvaihdossa, pumppauksessa, hukkalämmön hyödyntämisessä

MALMINLOUHINNAN MÄÄRÄ  
SUOMEN KAIVOKSISSA 2017



## Päästövähennyspotentiaali (2015-2035-2050)

Tyypillisesti sähköistäminen on kaivoksissa jo edennyt: malmihissit, ilmastointi ja kuljetukset voivat olla joko täysin tai osin sähköistettyjä. Murskaus ja rikastus jo sähköistetty.

## Prosentteja:

- optimointi, tukiprosessit (lämmitys, ilmanvaihto, pumppaus)

## Kymmeniä prosentteja:

- raaka-aineen vaikutus, kaivoksen design

## Yli 50 %:

- Sähköistäminen, vähähiilisen sähkön osto, vaihtoehtoiset ratkaisut logistiikassa

Suorat khk-päästöt (2017)

**0.4 MtCO<sub>2</sub>/a**

Epäsuorat päästöt (energia, 2017)

**0.2 MtCO<sub>2</sub>/a**

\*Ei sisällä sivukiven määrää. Päästötilastojen lähde: Tilastokeskus, epäsuorat päästöt arvioitu energiankulutuksen ja Motivan päästökertoimien perusteella.

# RAUTA, TERÄS JA FERROKROMI

Tuotantovolyymi:  
n. 4.5 Mt (2017)



## Yleiskuvaus

Suomen raudan ja teräksen tuotanto keskittyy SSAB Raahen (kapasiteetti hiiliterästä 2,6 Mtpa), Outokumpu Tornioon (kap. jaloterästä 1,6 Mtpa) ja Ovako Imatraan (terästuotteet kierrätysteräksestä). Yritysten tuotantoprosessit ovat erilaisia, ja teknologiset ratkaisutkin ovat erilaisia. Perinteinen teräksen tuotanto on hyvin pääomaintensiivistä. Masuuniprosessiin verrattuna vetypelkistys-EAF-teknologian kilpailukykyisyys riippuu paljolti vähähiilisen sähkön hinnasta ja saatavuudesta. Päästöoikeuden hinnan kannustinvaikutusta heikentää se, ettei päästöoikeusmarkkina ole globaali, kuten teräsmarkkina.

## Energia- ja päästöintensiiviset prosessit

Masuuniprosessi (BF-BOF) ja ferrokromiprosessi, joissa käytetään koksia pelkistimenä; hehkutusprosessit ja muu fossiilisen käyttö pelkistimenä ja energiana. Epäsuoria päästöjä syntyy sähköintensiivisistä prosesseista (erit. EAF-prosessi).

## Päästövähennysten esteet ja hidasteet

Biomassalla ei masuuni- eikä ferrokromiprosessissa voida korvata kaikkea PCI-hiiltä teknisten syiden vuoksi. Sen sijaan koksia ei suoraan voida korvata biopelkistimellä ilman laajoja mekaanisia muutoksia. Merkittävimmät päästövähennysteknologiat ovat epäkypsiä ja edellyttävät mittavia investointeja merkittävässä kustannuspaineessa olevalta teollisuudelta.

## Päästövähennysteknologiat (2015-2035-2050)

### - Prosessimuutokset ja raaka-aineet:

- Koksin korvaaminen ferrokromiprosessissa biomassapohjaisella hiilen lähteellä (esim. puuhiili). Rajoitteena biohiilen saatavuus.
- Suorapelkistys vedyllä ja valokaariuuni (EAF) masuuniprosessin korvaajana (HYBRIT: SSAB, LKAB ja Vattenfall).

### - Energianlähteet: biokaasu/biomassa polttoaineena, vähähiilinen sähkö, vety

- **Kiertotalous:** Kuonan ja muiden sivuvirtojen hyödyntäminen, kierrätysmateriaalin määrän kasvattaminen. Hukkalämpöpotentiaali metallinjalostuksessa luokkaa 3 TWh/a.

- **CCS/CCU:** Hiilidioksidin talteenotto ja varastointi tai hyödyntäminen

### - Energiatehokkuusparannukset ja digitalisaatio

## Päästövähennyspotentiaali (2015-2035-2050)

### Prosentteja:

- Digitalisaatio, prosessi- ja energiatehokkuustoimet
- Kuonan hyödyntäminen, kierrätysromun osuuden kasvattaminen – taloudellisuus, erityisesti kierrätysromua hyödynnetään mahd. paljon jo nykyisin kustannussyistä

### Kymmeniä prosentteja:

- Biomassan käyttö pelkistimenä. Ongelmana biohiilen saatavuus sekä tekniset ominaisuudet korvattaessa koksia.
- Sähköistäminen (kuljetukset, laitteet, uunit)
- CCS/U – ongelmana erityisesti suuren CO<sub>2</sub>-volyymien varastointi tai hyödyntäminen

### Yli 50 %

- Vetypelkistys ja EAF – vähähiilisen sähkön tarve huomattava + tutkimus + investointi

Suorat khk-päästöt (2018)\*

**4.8 MtCO<sub>2</sub>/a**

Epäsuorat päästöt (energia, 2017)\*\*

**1.1 MtCO<sub>2</sub>/a**

\*Päästömäärien lähde: Energiavirasto EU ETS-tilasto, sisältää Raahen terästehtaan, Tornion tehtaot sekä Imatran terästehtaan.

\*\*Tilastokeskus (TOL 24), epäsuorat päästöt arvioitu energiankulutuksen ja Motivan päästökertoimien perusteella.

# MUU METALLINJALOSTUS (VÄRIMETALLIT)

Muiden metallien tuotanto-  
volyymi: n. 0.6 Mt (2017)



## Yleiskuvaus

Muu metallinjalostus käsittää Suomessa ennen kaikkea sinkki-, kupari ja nikkeli tuotteiden tuotannon, lisäksi pieniä määriä tuotetaan mm. seleeniä, hopeaa ja kultaa.

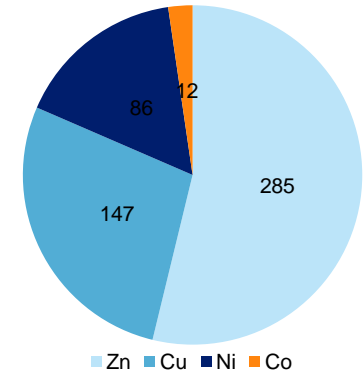
Raaka-aineista hyödynnetään arvometallit ja energia (mm. rikin hapetus). Ylijäämälämpöä hyödynnetään kaukolämpönä ja sivuvirtoja kierrätetään jo tehokkaasti. Merkittäviä toteutettuja energiatehokkuusparannuksia ovat olleet mm. elektrodivälin lyhentäminen (Kokkola) ja kestopatoditekniikka (Harjavalta). Fossiilisia hyödynnetään yhä polttoaineena pyrometallurgisissa prosesseissa ja pelkistimenä metallien tuotannossa. Energiakustannukset ovat kymmeniä prosentteja tuotantokustannuksista.

- Energia- ja päästöintensiiviset prosessit**
- Fossiilisten käyttö polttoaineena, kocsin käyttö (Cu). Prosessit tyypillisesti hyvin sähköintensiivisiä (esim. elektrolyysi, electrowinning), mutta energiatehokkaita.
- Päästövähennysten esteet ja hidasteet**
- Prosessit ovat jo nyt hyvin energiatehokkaita.

## Päästövähennysteknologiat (2015-2035-2050)

- Energianlähteet: vähähiilinen sähkö, vaihtoehtoiset polttoaineet (kaasu, biopolttoaineet, vety)
- Kiertotalous: sivuvirtojen hyödyntäminen, sivukivessä olevan malmin hyödyntäminen
- Prosessimuutokset, kuten biomassan hyödyntäminen pelkistimenä
- Energiatehokkuus, digitalisaatio ja automaatio

Metallien ja metallurgisten tuotteiden tuotanto (kt/a), 2017



## Päästövähennyspotentiali (2015-2035-2050)

### Prosentteja:

- Digitalisaatio, energiatehokkuustoimet, hukkalämmön hyödyntäminen – suuri osa tehty, prosessit hyvin energiatehokkaita

### Kymmeniä prosentteja:

- Mahdollisesti spesifein prosessimuutoksien tai hyödyntämällä korvaavia pelkistimiä.

### Yli 50 %

- Vähähiilinen sähkö, vaihtoehtoiset polttoaineet

Suorat khk-päästöt (2018)\*

**0.1 MtCO<sub>2</sub>/a**

Epäsuorat päästöt (energia)\*\*

**< 0.3 MtCO<sub>2</sub>/a**

\*Lähde: Energiavirasto: EU ETS (2018), sisältää vain Boliden Harjavallan ja Kokkolan suorat päästöt

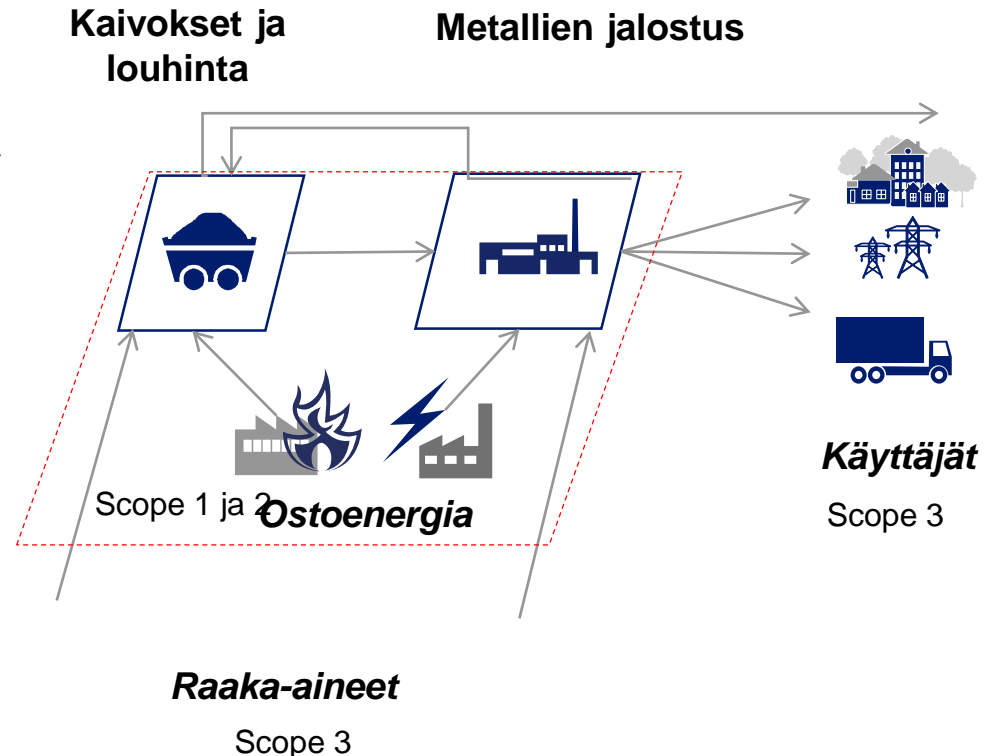
\*\*Arvioitu TEM (2017) ja Motivan nykyisten päästökertoimien perusteella, sisältää vain Boliden Harjavallan ja Kokkolan päästöt

# ARVOKETJUKUVAUS: KAIVOKSET JA METALLINJALOSTUS



Valmistavan teollisuuden tuotteet toimivat mahdollistajina lähes kaikilla toimialoilla

- Metallimalmi- ja teollisuusmineraalien tuotanto muodostaa alkulähteen monelle arvoketjulle.
- Metallien jalostuksessa kierrätysmateriaalia (*scrap metal*) käytetään raaka-aineena taloudellisten syiden takia jo nyt niin paljon kuin sitä on saatavilla. Lisäksi esim. kierrätysromusta valmistetun teräksen CO<sub>2</sub>-intensiteetti on jopa 80 % pienempi kuin metallimalmista valmistetun teräksen.
- Globaalisti kaupungistuminen ja sen aiheuttama rakentamistarve on suurin ajuri teräksen kysynnän kasvulle (globaali +1,3 %/a, EU +0.3 %/a, 2019e).
- Päästövähennysskenaarioissa huomioidaan kvantitatiivisesti teknologiateollisuuden omat suorat kasvihuonekaasupäästöt (scope 1) sekä ostetun energian tuotannosta aiheutuneet päästöt (scope 2), vaikutuksia raaka-aineiden ja muiden tarvittavien materiaalien päästöihin käsitellään kvalitatiivisesti
- Teknologiateollisuuden tuotteiden ja palveluiden asiakkaiden päästövähennyksiä käsitellään kädenjälkiosiossa



Jako skenaarioissa kvantitatiivisesti ja kvalitatiivisesti tarkasteltaviin kokonaisuuksiin merkitty punaisella katkoviivalla.  
Lähteet: Steel Institute VDEh (2018), *Steel production in Europe and Germany – A Progress Report*; ETLA toimialakatsaus 2019:1



# LONGLIST – GLOBAALIT TEKNOLOGIAT: KAIVOKSET



## Tausta

- Laajan teknologiakartoituksen perusteella kerätty longlist globaaleista arvioitiin toimialan asiantuntijoiden kanssa

## Ratkaisut

- Kaivoksissa sähköistäminen on pääasiallinen ratkaisu, ja jo käynnissä oleva kehitys
- Kaivosten suunnittelussa huomioidaan tarkasti kuljetusmatkojen optimointi jo suunnitteluvaiheessa suoran kustannusvaikutuksen vuoksi.

### Internal transportation



- Electric –powered vehicles
  - Batteries
- Cables
  - Hybrid
- Biofuels
- Conveyor belts, shafts
- Optimisation / Automation

### Energy efficiency and heat integration



- Heating:
- - Optimisation
  - - Electric-powered
  - Smart ventilation systems
  - Optimized pumping systems
  - Waste heat use

### Process changes



- Crushers down below
- Less energy-intensive processes
- Smart mine design

### Electrification & energy sources



- Low-carbon electricity
- Low-carbon fuels
- Alternative heat sources, e.g. geothermal heat

### Machinery operation



- Electrification of machinery
  - Heating
  - Excavation
  - Cranes
- Already possibly electrified:
  - lifts, ventilation, crushing, concentrating

### Circular economy and scrap metal



- Increased secondary material use
- Waste rock utilisation
- Slag utilisation

- Sopii Suomeen, potentiaalia jäljellä
- Sovelletaan jo Suomessa, ei lisäpotentiaalia
- Ei sovellu Suomeen / soveltuvuus epävarma

# LONGLIST – GLOBAALIT TEKNOLOGIAT: RAUTA JA TERÄS



## Tausta

- Laajan teknologiakartoituksen perusteella kerätty longlist globaaleista arvioitiin toimialan asiantuntijoiden kanssa

## Ratkaisut

- Monia teknisistä parannuksista on Suomessa jo tehty.
- Ferrokromin tuotannon päästöjen vähentämiseksi ei ole tiedossa yhtä lailla teknisesti varmasti toimivaa vaihtoehtoa (koksilta vaaditut fyysiset ominaisuudet).

**CCU & CCS** Carbon capture (pre-combustion, post-combustion, oxy-fuel)

- **CCU** examples: Carbon4PUR, Steelanol, Carbon2Chem, FReSMe, SPEPWISSE, MefCO2

## Electrification & energy sources



- Low-carbon electricity
- Low-carbon fuels
- Bio-SNG

## Raw material and product portfolio changes



- Biomass (BM) in coke production
- BM injection to BF
- BM and H<sub>2</sub> injection to BF
- BM use in iron ore sintering
- BM use in carbon composite agglomerates
- H<sub>2</sub> injection to BF
- Higher purity ore

## New processes (examples)



- Direct reduction processes:  
Smelting reduction:
- Corex, Finex, Hisarna (in 2030?)
  - Fluidized bed reactors (Circored, Circofer, etc.)
  - ULCORED (in 2020-30?)
  - Midrex, HYL
  - ULCOWIN (in 2040?)
  - HYBRIT
  - Microbiological process gas treatment

## Energy efficiency and heat integration



- Coke dry quenching
- BOF waste heat and gas recovery
- Blast furnace (BF) tech:
- Top Gas recovery turbine
  - Sinter plant waste heat recovery
  - Stove Waste Gas Heat Recovery

## Process changes and process optimization



- Continuous casting
- Scrap pre-heating
- Direct sheet plant
- Optimized Sinter Pellet Ratio
- Oxy-fuel burners
- Pulverised Coal Injection

## Circular economy and scrap metal



- Scrap metal use
- Slag use

- Sopii Suomeen, potentiaalia jäljellä
- Sovelletaan jo Suomessa, ei lisäpotentiaalia
- Ei soveltu Suomeen / soveltavuus epävarma

# LONGLIST – GLOBAALIT TEKNOLOGIAT: VÄRIMETALLIT



## Tausta

- Laajan teknologiakartoituksen perusteella kerätty longlist globaaleista arvioitiin toimialan asiantuntijoiden kanssa

## Ratkaisut

- Monia teknisistä parannuksista on Suomessa jo tehty.
- Sähköistäminen ja polttoainevaihdokset ovat mahdollisia vähennyskeinoja.

## CCU & CCS



- CCS & CCU (if applicable)

## Electrification & energy sources



- Electrification of pyrometallurgical processes
- NG replaced by induction heating
- Fuel switch: coal and oil -> NG -> bioenergy

## Raw material and product portfolio changes



- Bio-anodes
- Bio-based carbon as smelting reduction
- Higher quality ores

## Circular economy and scrap metal



- Increased use scrap metal
- Enhanced metals recovery from secondary raw materials (mining residues, slag, sludges, etc.)
- Heap leaching
- Solvometallurgical leaching
- Ionometallurgical extraction

## Energy efficiency and heat integration



- High efficiency burners
- Integrated control systems
- Sub-metering and interval metering
- Advanced process control (furnaces)
- Preventive maintenance
- Flue-gas monitoring (furnaces)
- Exhaust gas heat recovery
- Low-temperature waste heat recovery
- Combustion optimisation
- Flash smelting

## Process changes and optimization



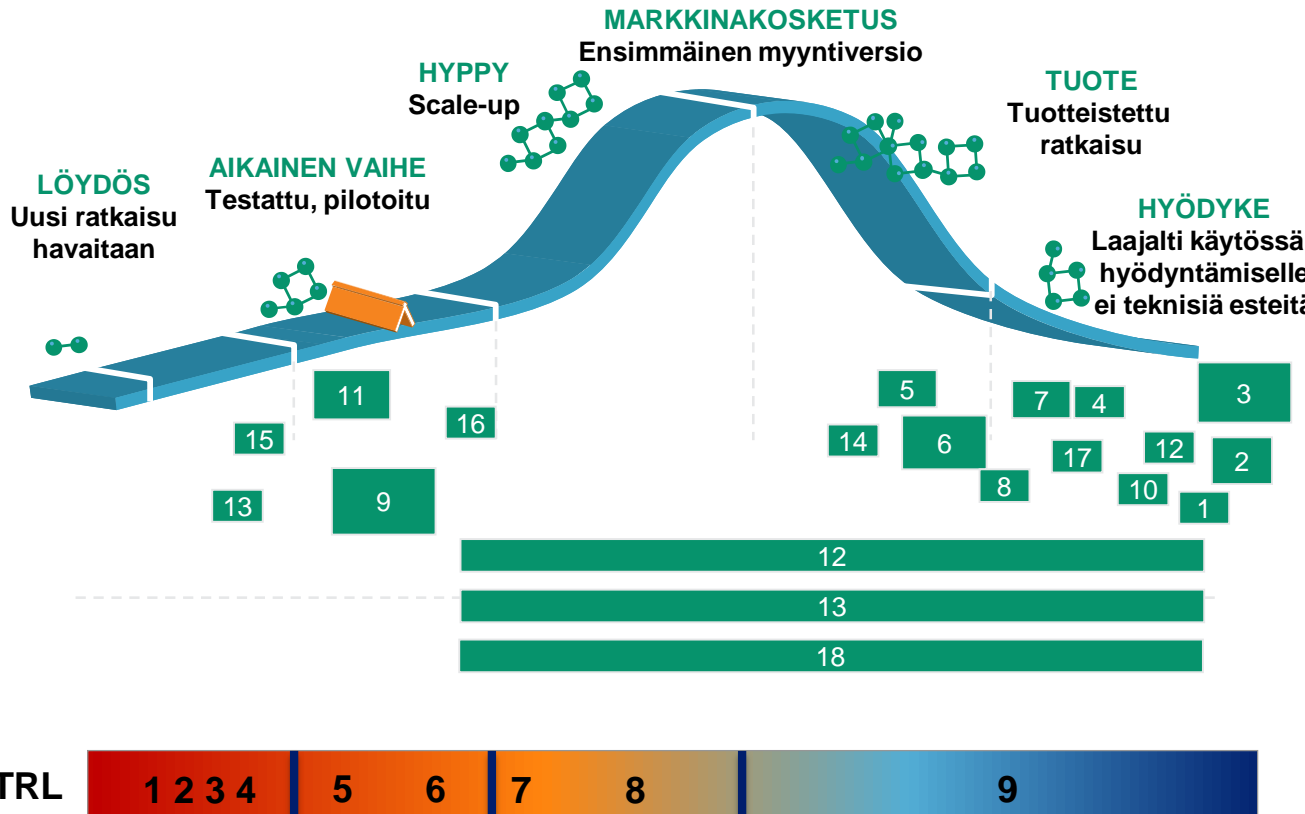
- H2 as smelting reducing agent (processes where applicable)
- Bio-leaching
- Pyro -> hydro

- Sopii Suomeen, potentiaalia jäljellä
- Sovelletaan jo Suomessa, ei lisäpotentiaalia
- Ei sovellettu Suomeen / soveltuvuus epävarma

# AIKAJANA: KAIVOKSET JA METALLINJALOSTUS



Monet ratkaisut voivat vähentää päästöjä, mutta todella merkittävät ratkaisut ovat harvassa



## Kaivokset ja metallinjalostus

1. Raaka-ainelähteet
2. Vähähiiliset raaka-aineet, esim. biomassa koksien vaihtoehtona pelkistimenä\*
3. Vähähiilisen sähkön hankinta
4. Sisäisen logistiikan ratkaisut: *smart mine*
5. Sähköistäminen: lämmitys
6. Sähköistäminen: kaivoksen koneet
7. Biopolttoaineet, polttoainemuutokset
8. Tukiprosessien (pumppaus, lämmitys) optimointi
9. Vetypelkistys
10. Valokaariuuni
11. CCS/CCU
12. Energiatehokkuusparannukset
13. Digitalisaatio
14. Sivuvirtojen hyödyntäminen (esim. kuonan hyötykäyttö)
15. Plasma-pyroteknologia
16. Bioanodit
17. Käyttövoima- ja lämmönhallintaratkaisut
18. Prosessioptimointi

Suurempi koko tarkoittaa merkittävämpiä päästövähennyksiä.

\*Teknisesti biomassan hyödyntäminen metallinjalostuksessa on jo kaupallisessa käytössä esimerkiksi Etelä-Amerikassa. Suomessa teknologia ei ole kaupallistettu.

# TEKNOLOGIAKATSAUS: VAIHTOEHTOISET RAAKA-AINEET PELKISTYKSESSÄ (BIO)



## Fossiilhiilen osittainen korvaaminen biohiilellä

### Tekninen kuvaus

- Biohiilipölyn syöttö hormien ilmapuhalluksen kautta masuuniin, mikä vähentää fossiilisen hiilen kulutusta raudan valmistuksessa

### Timeline

- Teknologia pilotoitu Suomessa (SSAB Raabe 2019)
  - 10% korvaamista kokeiltu, perusteellisemmat testit edellyttävät biohiilen saatavuuden paranemista

### Mitä edellyttää

- 10% päästövähennys => 0,4 milj. kiintokuutiota puuta / vuosi
  - Puuhiilen tuotantokapasiteetin raju nostaminen
  - (Puun alihankintaketjun, puuhiilen tuotannon ja varastoinnin hiilidioksidipäästöjä ei laskettu)
  - Vaikutukset metsäteollisuuteen

### Kiky-vaikutus ja epävarmuudet

- Riippuu biohiilen saatavuudesta ja hinnasta
  - Vaikutukset metsäteollisuuteen / hakelämpölaitoksiin?
  - Biohiilen tuotannon energiatarve?

## Fossiilisen hiilen täydellinen korvaaminen biohiilellä

- Fossiilisen hiilen korvaaminen biohiilellä

- Ei sovellu nykyiseen koksamo-masuuniprosessiin ilman modifikaatioita (fysikaaliset ominaisuudet)
- => Masuunin korvaaminen pelkistävällä sähköuunilla (hiili edelleen pelkistimenä) / prosessimuutokset

- Teknologia olemassa / sovellettavissa

- Investoinnit teknisesti toteutettavissa 5-10 vuodessa

- Yli 3-4 milj. kiintokuutiota puuta / vuosi

- Koksamon uusiminen, pelkistysuunin uusiminen sulatoksi (yht. satojen miljoonien eurojen investointi)
- Tarvittava sähköteho sulatukseen 0-300 MW
- (Puun alihankintaketjun ja varastoinnin hiilidioksidipäästöjä ei laskettu)
- Vaikutukset metsäteollisuuteen

- Erittäin vaikeaa toteuttaa kilpailukykyisesti nykyisille laitoksille

- Vaikutus paikalliseen puumarkkinaan (metsäteollisuus, hakevoimat, jne)

# TEKNOLOGIAKATSAUS: VAIHTOEHTOISET RAAKA-AINEET PELKISTYKSESSÄ (VETY) SEKÄ KAIVOSTEN SÄHKÖISTÄMINEN



## Fossiilisen hiilen korvaaminen vedyllä

## Kaivosten logistiikan sähköistäminen

### Tekninen kuvaus

- Masuuni-sulatto yhdistelmän korvaaminen vetypelkistyksellä ja sähkösulatusuunilla

- Kaivostyökoneiden dieselmootoreiden vaihtaminen sähkömootoreiksi

### Timeline

- Teknologia periaatteessa olemassa / sovellettavissa, mutta ei vielä pilotoitu laajassa mittakaavassa
  - Prosessi-/projektikehitys vie tyypillisesti 5-10 vuotta

- Aktiivisen kehityksen alainen asia
  - Osin jo kokeilussa/toiminnassa (esim. sähköiset kaivinkoneet avolouhoksilla)
  - Oletettavasti laajemmassa käytössä 5-10 vuoden aikana (akkuteknologia)

### Mitä edellyttää

- Raahen koko tuotannon muuttaminen vetypelkistykseksi edellyttää yli 1000 MW jatkuvaa sähkötehoa
  - Vetypelkistyslaitos, uusi sähkösulatto (yhteensä lähes 1000 Meur investointi)

- Akkuteknologian kehitystä

### Kilpailukykyvaikutus ja epävarmuudet

- Riippuvainen sähkön hinnasta ja saatavuudesta (Pohjoismainen sähkömarkkina)
  - Sähkön hinnan pitäisi olla kymmeniä prosentteja nykyistä alaisempi ennen kuin vetypelkistus on kilpailukykyinen vaihtoehto
  - Uusinvestointi, josta Suomi kilpailee kuten muistakin investoinneista. Kansainvälinen hiilen hinta merkittävä tekijä.

- Teknologia vaihtuu heti kun se on teknis-taloudellisesti kannattavaa
  - Laitteiston saatavuus, luotettavuus, hinta
  - Sähkön hinta (markkinahinta + verotus)

# EUROOPASSA ON MONIA T&K-HANKKEITA VÄHÄHIILISEN TERÄKSEN VALMISTAMISEKSI



Kansallinen terästeollisuus ja sen T&K ei operoi tai kilpaile tyhjiössä

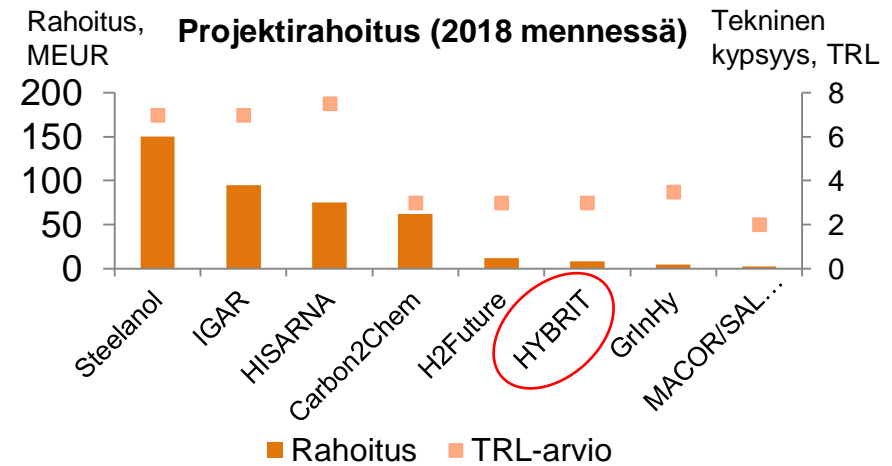
## Tausta ja hankkeet

- EU-28:n raakateräksen tuotanto 162 Mt/a (2016), josta Suomen osuus n. 4 Mt/a.
- Noin 40 % Euroopan raakateräksestä valmistetaan EAF-prosessilla (sähkö) ja 60 % BOF-reittiä pitkin.
- Teräksen valmistuksen vähäpäästöistämiseksi on kehitteillä useita uusia teknologioita.

## Tutkimus- ja kehitysrahoitus

- Suurimmat rahoittajat:
  - EU (ULCOS) ja Hollanti (HISARNA, 75M€),
  - Ranska (IGAR, 95 M€),
  - Co-financing (Steeleanol 150 M€),
  - Eri julkiset ja teolliset lähteet (Carbon2Chem, 62M€),
  - EU Horizon 2020 (H2Future, 12 M€)
  - Ruotsin energiavirasto (HYBRIT, 8 M€)

Pääperiaate	T&K-projekteja (partnerit)
Prosessi-integraatio ja CCS-teknologia	<b>HISARNA</b> (Tata Steel) <b>IGAR</b> (ArcelorMittal, Europlasma, etc.) <b>PEM</b> <b>STEPWISE</b>
CO <sub>2</sub> hyödyntäminen raaka-aineena	<b>STEELANOL</b> (ArcelorMittal, Lanza Tech, E4Tech, etc.) <b>Carbon2Chem</b> (TKSE, AkzoNobel, Linde, BASF, etc.) <b>FReSMe</b>
Hiilen poistamiseen prosesseista: vety ja sähköistäminen	<b>HYBRIT</b> (SSAB, LKAB, Vattenfall) <b>H2FUTURE</b> (voestalpine, Siemens, VERBUND, etc.) <b>SuSTEEL</b> <b>GrInHy</b> (Sunfire, SZMF, SZFG, VTT, etc.) <b>MACOR/SALCOS</b> (Salzgitter AG, Fraunhofer) <b>SIDERWIN</b>



Lähde: Steel Institute VDEh (2018), *Steel production in Europe and Germany – A Progress Report*.

# YHTEISIÄ ESTEITÄ PÄÄSTÖVÄHENNYSKEHITYKSELLE KAIVOS- JA METALLISEKTORILLA



## Top-N päästövähennystoimien jarruttajina

### Top-5 taloudelliset

1. **Investointitarpeet** ovat mittavia varsinkin perustavanlaatuisille prosessimuutoksille.
2. Markkinatilanne on monilta osin haastava. Toiminta on globaalia ja syklistä, marginaalit ohuita, ja pitkäikäisiin investointeihin liittyvän liian suureksi koettu riski.
3. Suuria investointeja ja parannuksia on tehty viime vuosinakin, ja niitä “maksetaan yhä”.
4. Toimijat ovat kansainvälisiä, eivätkä pilotit välttämättä tapahdu Suomessa ensin.
5. Pääosa helpoista ratkaisuista on tehty; jäljelläolevat eivät välttämättä ole taloudellisesti kannattavia (esim. Matalan lämpötilan hukkalämmön hyödyntäminen)

### Top-4 resurssit

1. Biopohjaisen raaka-aineen saatavuus on merkittävä rajoite esim. biohiilen käyttö pelkistimenä
2. **Sähkön saatavuus ja hinta:** sähkömarkkinanäkökulmat, esim. PM sähkömarkkina, siirtoyhteyksien vahvistaminen
3. Kierrätysromun saatavuus – kaikki saatavissa oleva hyödynnetään
4. Yleisesti malmien malmipitoisuus pienenee, mikä kasvattaa prosessien ominaisenergiankulutusta

### Top-3 tekniset

1. Tekniset haasteet ovat joissain tapauksissa kaupallistamisen esteenä, mikäli vaihtoehtoa ei ole (esim. kalkin käyttö vesienkäsittelyssä)
2. Monet uudet konseptit eivät sovi nykyisiin prosesseihin, vaan ne muuttavat kokonaisuutta. Jos täydellisiin muutoksiin ryhdytään, merkitsee se käytännössä edeltävän prosessin alasajoa.
3. Kaikkiin kohteisiin (esim. kalkin käyttö vedenpuhdistuksessa) ei ole vielä vaihtoehtoa.

### Top-2 regulaatio

1. **Toiminta- ja investointiympäristön jatkuvuus.**
2. Sähkön verotuksen laskeminen voisi kiihdyttää merkittävästi päästövähennyskehitystä, kun taas sähköveron nostaminen ei kannusta siirtymään sähköisiin ratkaisuihin.



# YHTEISIÄ AJUREITA PÄÄSTÖVÄHENNYSKEHITYKSELLE KAIVOS- JA METALLISEKTORILLA



## Top-N päästövähennystoimien ajureina

### Top-2 taloudelliset

- 1. Taloudellinen kannattavuus**  
on jo tapahtuneen ja käynnissä olevan vähäpäästöistymisen tärkeä ajuri.  
Energiaintensiiviselle teollisuudelle energiansäästö tarkoittaa yleensä suoraa kustannussäästöä.  
Kierrätysmateriaalin käyttö on tyypillisesti merkittävästi kannattavampaa kuin neitseellisen prosessointi.
- 2. Fossiiliset (esim. diesel, koksi)** ovat merkittävä kustannuserä nykyisinkin

### Top-4 resurssit

- 1. Resurssitehokkuus** (raaka-aineet, energia, vesi, maankäyttö) on toiminnan mahdollistaja (erityisesti Suomen ulkopuolella)
- 2. Neitseellisen tuotannon määrä** vähenee, kun kierrätyksen osuus kasvaa, ja kokonaiskysynnän määrä tasoittuu.
- 3. Osaaminen ja koulutus** ovat välttämätön mahdollistajia niin omille ratkaisuille kuin niiden viennille.
- 4. Panostukset kehitykseen:** riittävät resurssit yrityksissä vaihtoehtojen tarkasteluun ja kehittämiseen sekä systeemitasolla infrastruktuuri-investoinnit ja kannustimet, jotka mahdollistavat ja kiihdyttävät muutosta.

### Top-2 tekniset

- 1. Sähköistyminen** mahdollistaa usein säästöjä myös tukiprosessien (kaasujen puhdistus, ilmastointi, polttoaineet) muutosten myötä
- 2. Pääosassa ratkaisuja** teknologia on tiedossa ja tunnettua, eikä nykytekniikka ole kehityksen este vaan mahdollistaja.

### Top-2 regulaatio

- 1. EU ETS (CO<sub>2</sub>:n hinta)** muodostaa merkittävän vaihtoehtoiskustannuksen
- 2. Globaali regulaatio**, joka tasaisi ympäristöregulaation kustannuspainetta, lisäisi kannustimia investoida.

# VALMISTAVA TEOLLISUUS



# TOP-3 HAVAINTOA: VALMISTAVA TEOLLISUUS



## Ratkaisu on monen keinon yhdistelmä

- Valmistavalle teollisuudelle on vaikea kehittää fokusoitua tutkimusohjelmaa tai investointiratkaisua toimialan äärimmäisen heterogeenisyyden vuoksi.
  - Päästöjen pienentämisen on tapahduttava monessa kohtaa prosessia, ja uudenlaisten materiaalien ja tuotantoprosessien tarve on selkeä.

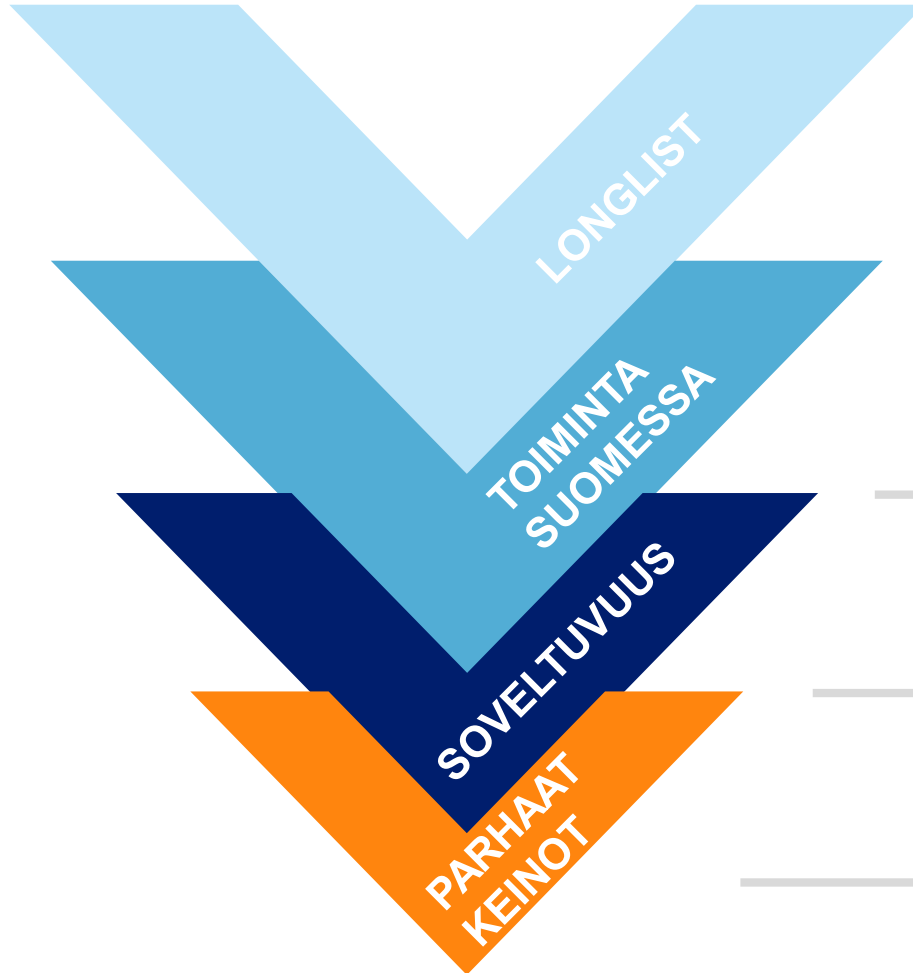
## Kädenjälki ja elinkaari

- Pääosa (Scope 1 ja 2) päästöistä syntyy ostoenergiasta, ja vaikutukset ovat merkittävämpiä raaka-aineiden ja tuotteen käytön kohdalla.
- → Olennaisempaa on kädenjälki- ja elinkaariajattelun hyödyntäminen, ja panostaminen tuotteiden positiivisiin ympäristövaikutuksiin oman tuotannon ulkopuolella.

## Kierrätettävyys ja IoT

- Kierrätyksen tehostamisessa IoT:n kaksisuuntainen vaikutus: toisaalta energian lisäkulutus, toisaalta tuotantoprosessin ja kierrätyksen optimointi.
  - IoT:n asteittainen käyttöönotto valmistavassa teollisuudessa niin että joka askeleessa tasapainotetaan kaksisuuntaista vaikutusta.

# LÄHESTYMISTAPA



Teknologiakartoitus aloitettiin kokoamalla pitkä lista teknologisia ratkaisuja teknologiateollisuuden omien kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen. Tämä perustui muun muassa aiempiin toimialaselvityksiin, kirjallisuudessa esitettyihin vaihtoehtoihin, uusimpiin tutkimustuloksiin ja asiantuntemukseen.

Teknologiateollisuutta käsiteltiin kolmeen toimialaryhmään jaettuna. Kullekin ryhmälle tehtiin katsaus sisältäen soveltuvilta osin pääasialliset tuotantoprosessit, suurimmat päästölähteet ja jo hyödynnetyt päästövähennysratkaisut.

Pitkästä listasta siivilöitiin asiantuntijoiden avulla päästövähennyskeinot, joita on teknisesti mahdollista hyödyntää. Lisäksi analysoitiin niiden sopivuutta Suomen toimintaympäristöön.

Lopputuloksena saatiin listaus teknologisista päästövähennyskeinoista, niiden hyödyntämismahdollisuuksien aikajänteestä, päästövähennyspotentiaalista ja edellytyksistä.

# VALMISTAVA TEOLLISUUS



## Yleiskuvas

Teollisuudenala jakautuu koneiden, metallituotteiden ja kulkuneuvojen valmistukseen sekä sähkö- ja elektroniikkateollisuuteen. Toimiala kattaa kolmanneksen Suomen teollisuuden tavaraviennistä ja osuus teollisuuden jalostusarvosta on yli 40%.

Valmistavan teollisuuden tuotevalikoima on laaja, voimakoneista, metallirakenteista ja laivoista tietoliikennelaitteisiin ja instrumentteihin.

Teollisuudenalan omien päästöjen vähennyskeinot liittyvät energian ja materiaalien käyttöön. Tämän toimialan teknologisilla ratkaisuilla on laajat vaikutukset myös toimialan ulkopuolella tuotteiden käytönaikaisten päästöjen kautta.

### Energia- ja päästöintensiiviset prosessit

- Päästöt syntyvät pääasiassa energiankäytöstä.
- Energiaintensiivimpiä vaiheita ovat mm. hitsaus, työstö, materiaalin siirtäminen ja maalin kuivatus, tuotteista riippuen.

### Päästövähennysten esteet ja hidasteet

- Toimia on tehty jonkin verran, ja monet lisätoimet vaativat tutkimus- ja kehitystyötä tai muutoksia myös muualla arvoketjussa. Hukkalämmön tekninen potentiaali arvioidaan verrattain pieneksi.

## ■ Päästövähennysteknologiat (2015-2035-2050)

- - Vaihtoehtoiset energianlähteet
- - Energiatehokkuus
  - Käyttövoimaratkaisut, kuten energiatehokkaat moottorijärjestelmät
  - Lämmönhallintaratkaisut
  - Liike-energian talteenotto
- Kevyet materiaalit ja uudet rakenteet
- Kiertotalousratkaisut
  - Jätteiden ja sivuvirtojen talteenotto, raaka-aineiden kierrätys (ml. "urban mining") ja koneiden uusiovalmistus
- Prosessimuutokset, materiaalitehokkuus ja prosessien optimointi
  - Materiaalia lisäävä valmistus ja 3D-tulostus
  - Älykkäät laitteet ja sensorit , simulointi, lisätty todellisuus, tekoälypohjainen analysointi. (katso kappale ICT)

## ■ Päästövähennyspotentiaali (2015-2035-2050), Scope 1 ja 2

### ■ Prosentteja:

- - Digitalisaatio, energiatehokkuustoimet, prosessioptimointi

### Kymmeniä prosentteja:

- Hukkalämmön hyödyntäminen

### Yli 50 %

- Vähähiilinen sähkö, vaihtoehtoiset polttoaineet (ml. varavoiman tuotanto)

*Merkittävät päästövähennykset mahdollisia muissa epäsuorissa päästöissä (Scope 3, erityisesti materiaalitehokkuus) sekä tuotteiden kädenjäljen kautta.*

Suorat khk-päästöt (2017)\*

**0.1 MtCO<sub>2</sub>/a**

Epäsuorat päästöt (energia)\*\*

**0.6 MtCO<sub>2</sub>/a**

\*Lähde: Tilastokeskus (TOL 26-30, 33)

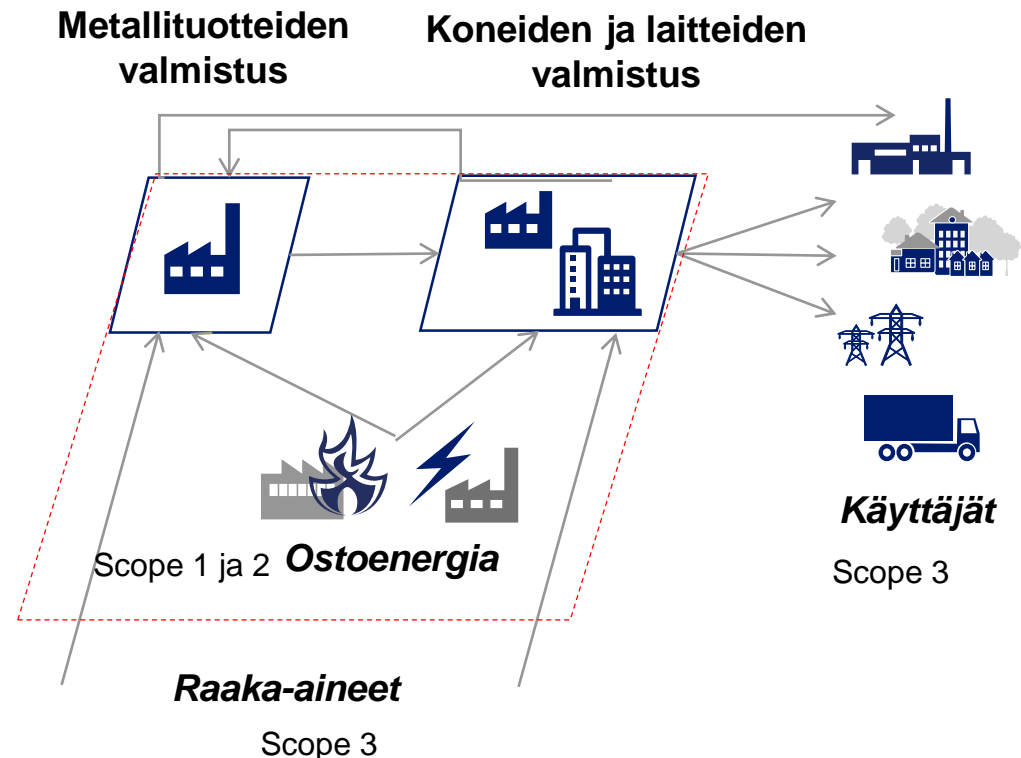
\*\* Tilastokeskus (TOL 25-30, 33), epäsuorat päästöt arvioitu energiankulutuksen ja Motivan päästökertoimien perusteella

# ARVOKETJUKUVAUS: VALMISTAVA TEOLLISUUS



Valmistavan teollisuuden tuotteet toimivat mahdollistajina lähes kaikilla toimialoilla

- Metallituotteiden valmistuksesta suuri osa on välituotteita, joita hyödynnetään koneiden ja laitteiden valmistuksessa, sekä muun muassa rakennusteollisuudessa.
- Metallituotteiden valmistus on paikallisempaa kuin koneiden ja laitteiden valmistus, jonka markkinat esimerkiksi elektroniikkatuotteiden tapauksessa ovat hyvin globaalit.
- Päästövähennysskenaarioissa huomioidaan kvantitatiivisesti teknologiateollisuuden omat suorat kasvihuonekaasupäästöt (scope 1) sekä ostetun energian tuotannosta aiheutuneet päästöt (scope 2), vaikutuksia raaka-aineiden ja muiden tarvittavien materiaalien päästöihin käsitellään kvalitatiivisesti.
- Teknologiateollisuuden tuotteiden ja palveluiden asiakkaiden päästövähennyksiä käsitellään kädenjälkiosiossa .



Jako skenaarioissa kvantitatiivisesti ja kvalitatiivisesti tarkasteltaviin kokonaisuuksiin merkitty punaisella katkoviivalla.

# LONGLIST – VALMISTAVA TEOLLISUUS



## Tausta

- Laajan teknologiakartoituksen perusteella on kerätty globaali longlist teknisistä päästövähennyskeinoista

## Ratkaisut

- Suurin osa valmistavan teollisuuden keinoista keskittyy tuotteiden käytönaikaisten päästöjen vähentämiseen, mutta tässä keskitytään omasta tuotannosta aiheutuvien päästöjen vähennysratkaisuihin
- Menemättä lukuisien yksittäisten tuotantoprosessien tasolle, kaikki keinot on teknisesti mahdollista soveltaa jossain muodossa Suomeen

### Electrification & energy sources



- Alternative energy sources
- Electrification of power tools

### Energy efficiency and heat integration



- Energy efficient electric motor systems
- Excess heat recovery and utilisation, also for low quality heat
- Control systems for heating and cooling
- Kinetic energy recovery

### Process changes and optimization



- Additive manufacturing / 3D printing
- Process control and energy + material use optimisation by e.g.
  - Intelligent devices and sensors
  - AI-based data analysis
- Simulation / digital twins
- Augmented reality

### Raw material and product portfolio changes



- Light and strong structures, e.g. honeycomb
- Hard special steel, aluminium utilisation and tailored alloys
- Composites, biocomposites, ceramics and hybrid materials

### Circular economy and scrap metal



- Waste and side stream recovery
- Recycling of raw materials, including urban mining
- Design for recycling
- Remanufacturing

- Söppii Suomeen, potentiaalia jäljellä
- Sovelletaan jo Suomessa, ei lisäpotentiaalia
- Ei sovellettu Suomeen / sovellettuuus epävarma

# VALMISTAVAN TEOLLISUUDEN ALAKOHTAISIA KEINOJA



## Poimintoja erityisesti tietyille toimialoille sopivista ratkaisuista

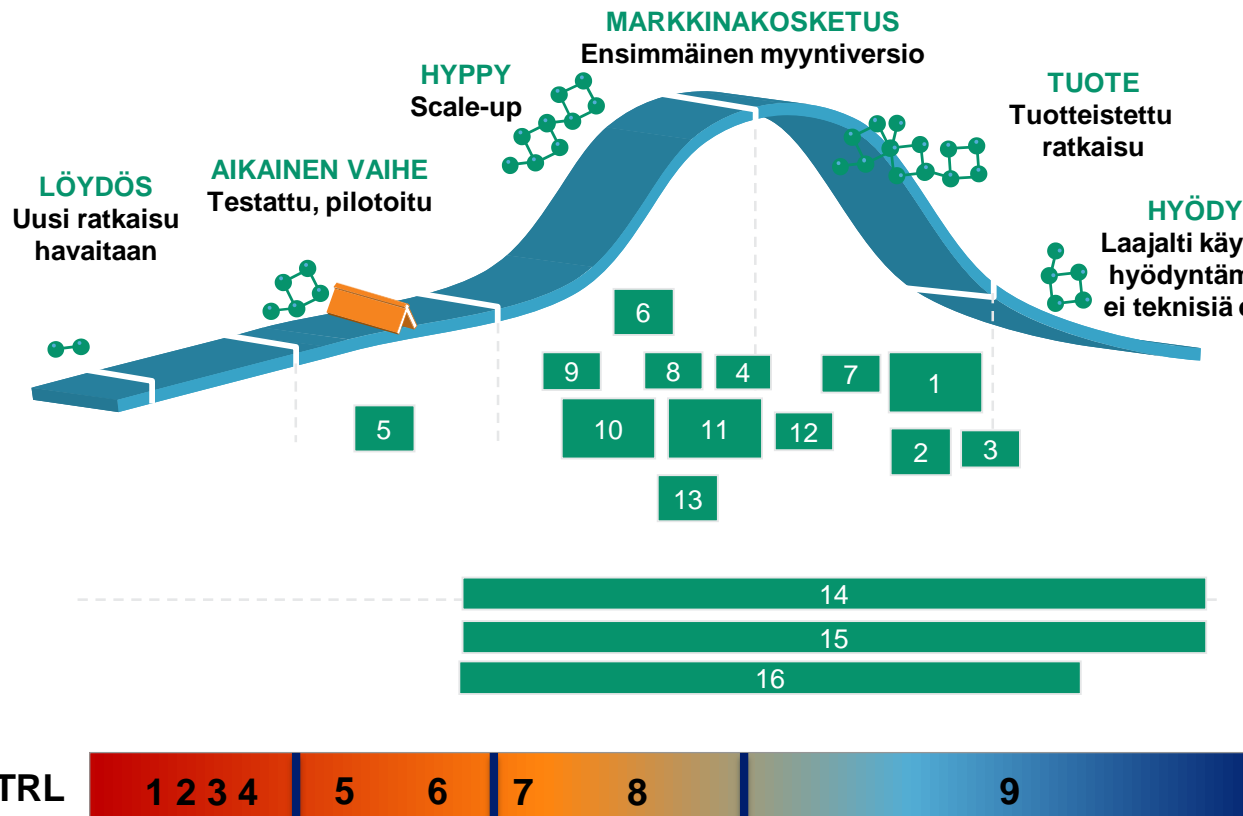
	Vaikutuksia suoriin päästöihin tai energiankulutukseen	Vaikutuksia materiaalien tuotantopäästöihin
<b>Metallituotteiden valmistus</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Lämmön talteenotto</li><li>• Käyttövoimaratkaisut, mm. taajuusmuuttajat</li><li>• Energiatehokkuustoimet ja uusiutuvan energian käyttö</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kevyemmät materiaalit ja rakenteet</li><li>• Tuotantomateriaalien käytön optimointi</li><li>• Sivuvirtojen hyödyntäminen</li><li>• Materiaalien kierrätys</li></ul>
<b>Elektroniikka ja sähkölaitteet</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Vaihtoehdot fluoratuille kasvihuonekaasuille (F-kaasut) kylmä- ja ilmastointilaitteissa sekä sähkönjakelulaitteissa</li><li>• F-kaasujen vähentäminen prosessikaasuna puolijohdeiden valmistuksessa</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Elektroniikkajätteen kierrätyksen tehostaminen ja ”urban mining”</li><li>• Kierrätettävyyden huomiointi tuotekehityksessä</li><li>• Tuotteen suunnitellun eliniän pidentäminen</li></ul>
<b>Muut koneet ja laitteet</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Lämmön talteenotto</li><li>• Käyttövoimaratkaisut, mm. taajuusmuuttajat</li><li>• Energiatehokkuustoimet ja uusiutuvan energian käyttö</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tuotantomateriaalien käytön optimointi</li><li>• Kevyemmät materiaalit ja rakenteet</li><li>• Uusio valmistus</li></ul>
<b>Moottoriajoneuvojen ja muiden kulkuneuvojen valmistus</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ylijäämälämmön talteenotto, hallinta ja hyödyntäminen lämmitys-, jäähdytys- ja maalinkuivatusprosesseissa</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kevyet materiaalit, kuten törmäysenergiaa sitovat komposiitit</li></ul>





# AIKAJANA: VALMISTAVA TEOLLISUUS

Päästöjen vähentämiseen täytyy yhdistellä monia erilaisia keinoja



## Valmistava teollisuus

1. Vaihtoehtoiset energianlähteet
2. Käyttövoimaratkaisut
3. Energiatehokkaat moottorijärjestelmät
4. Hukkalämmön talteenotto ja käyttö
5. Matalamman hukkalämmön talteenotto
6. Liike-energian talteenotto
7. Kevyemmät materiaalit: metalliseokset
8. Kevyemmät materiaalit: komposiitit
9. Uudet kevyemmät rakenteet
10. Jätteiden ja sivuvirtojen talteenotto ja hyödyntäminen
11. Raaka-aineiden kierrätyksen tehostaminen, ml. urban mining
12. Uusio valmistus
13. Uudenlaiset prosessit, esim. ainetta lisäävä valmistus / 3D-tulostus
14. Energian- ja materiaalikulutuksen optimointi: IoT-sensorit
15. Energian- ja materiaalikulutuksen optimointi / automaatio
16. Tekoälypohjainen tuotantodatan analysointi prosessioptimoinnissa



Suurempi koko tarkoittaa merkittävämpiä päästövähennyksiä.

# YHTEISIÄ ESTEITÄ PÄÄSTÖVÄHENNYSKEHITYKSELLE VALMISTAVAN TEOLLISUUDEN SEKTORILLA



## Top-2 päästövähennystoimien jarruttajina

### Top-2 taloudelliset

1. Erityisesti globaalien markkinoiden tuotteissa tuotantokustannusten on pysyttävä kilpailukykyisinä
2. Helpoimmat ja kannattavimmat ratkaisut on monin paikoin jo toteutettu

### Top-2 resurssit

1. Sähkön saatavuus ja hinta ovat merkittäviä tekijöitä
2. Raaka-aineen kierrätyksen tehostamiseksi tarvittaisiin kokonaisvirtaa hallitsevia toimijoita, esim. IoT-tiedon koordinoijaa, joita ei ole.

### Top-2 tekniset

1. Uusien keinojen käyttöönotto vaatii usein testausta ja/tai tuotekehitystä
2. Monilla tuotteilla on ominaisuuksia ja valmistusprosessia koskevia säädöksiä, kuten esimerkiksi paloturvallisuusvaatimuksia, jotka rajoittavat ratkaisuvaihtoehtoja

# YHTEISIÄ AJUREITA PÄÄSTÖVÄHENNYSKEHITYKSELLE VALMISTAVAN TEOLLISUUDEN SEKTORILLA



## Top-2 päästövähennystoimien ajureina

### Top-2 taloudelliset

1. Valmistavan teollisuuden tarjoamat ratkaisut mahdollistavat monen toimialan toimia vähähiilisyiden saavuttamiseksi, joten kysyntä on yleisesti ottaen kasvavaa. Oman toiminnan vähähiilisyys parantaa kokonaisuutta, ja on osin toteutettavissa myös itse tuotettujen ratkaisujen kautta
2. Monet päästövähennyskeinoista perustuvat energiankulutuksen vähentämiseen ja raaka-aineiden optimaaliseen käyttöön, jolloin ratkaisut voivat tuottaa myös taloudellisia säästöjä investointien jälkeen

### Top-3 resurssit

1. Tuotannon raaka-aineiden kierrätys- ja uusiokäyttö vaatii infrastruktuuria, joka on monin paikoin kehittymässä
2. Kuluttajien kiinnostus sekä tuotemyyjien lisääntyvät takaisinottovelvoitteet parantavat kierrätetyn raaka-aineen saatavuutta
3. Osaaminen ja koulutus ovat välttämätön mahdollistajia niin omille ratkaisuille kuin niiden viennille.

### Top-2 tekniset

1. Monet valmistavan teollisuuden ratkaisuista perustuvat innovatiiviseen tuotekehitykseen, jonka luonnollisena osana on ympäristönäkökulma
2. Valmistavan teollisuuden tuotannosta aiheutuvia päästöjä vähentävistä ratkaisuista monet ovat sovellettavissa monille toimialoille, mikä vähentää tarvetta täysin uniikkeihin ja aikaisemmin testaamattomiin kokeiluihin

# PALVELUT JA ICT-SEKTORI



# TOP-3 HAVAINTOA: ICT- JA KONSULTOINTISEKTORI



Yhtäältä palvelusektori tarjoaa ratkaisuja joka talouden alalla, mutta muista sektoreista poikkeavasti ICT:n oma energiankulutus on voimakkaassa kasvussa

## Energiaintensiivisyys nousussa ICT:ssä

- ICT-sektorilla, erotuksena muihin tässä työssä tarkasteltaviin sektoreihin, huima ja jatkuvasti kiihtyvä kehitys on johtanut energiankulutuksen ja osittain –intensiteetin nousuun,
  - Päästöjen vähentäminen ei pysy perässä yhtä helposti kuin kypsemillä sektoreilla, ja syklit ovat paljon lyhyempiä. Päästövähennykset ja kustannukset ovat äärimmäisen vaikeita ennakoida, kun moni ratkaisu on TRL 1-3. **Sen sijaan osaamistarve ja vientipotentiaali on mielenkiintoinen**

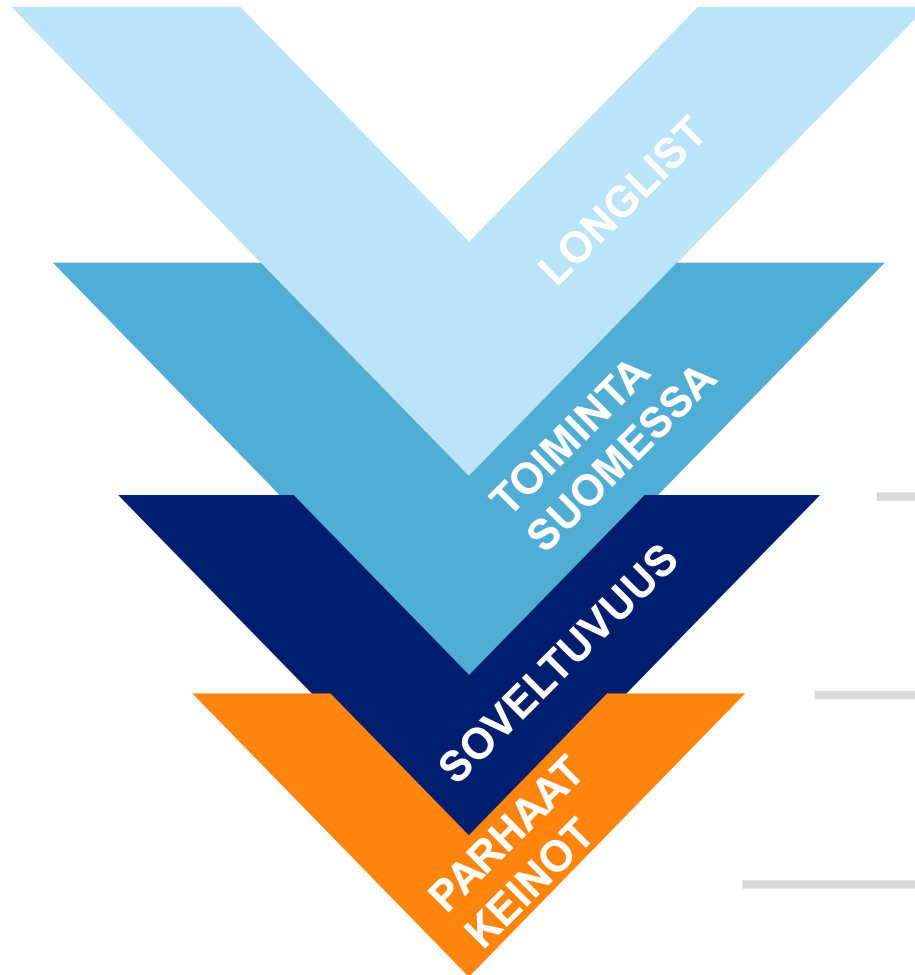
## ICT-ytimessä datakeskukset ja 5G

- Vaikka ICT-sektorissa on hyvin monia eri suuntia, datakeskukset, 5G (nG) ja niihin liittyen IoT (Internet of Things) kokoavat suuren osan ongelmia ja ratkaisuja – ja ovat samalla ytimessä lähes kaikkien muiden sektoreiden mahdollistajina
  - Mahdollisuuksia kuvataan datakeskusten ja 5G-siirtymän kautta ottaen huomioon IoT

## Konsultoinnilla (ja konttorityönomaisilla palveluilla) ei ole varsinaisia “omia” keinoja – paitsi muiden auttaminen

- Konsultointi on konttorityötä, johon liittyy vaihteleva osuus ICT-intensiteettiä ja liikkuvuutta. Sama koskee monta muuta palvelusektorin osaa
  - Konsultointi ja samoin toimiva palvelu on kiinteistöjen, toimistotyön, matkustamisen ja ICT:n päästöjen minimointia. Toisaalta konsultointi (kädenjälki) voi vaikuttaa muiden sektoreiden päästöjen minimointiin (Scope 1, 2, 3).

# LÄHESTYMISTAPA



Teknologiakartoitus aloitettiin kokoamalla pitkä lista teknologisia ratkaisuja teknologiateollisuuden omien kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen. Tämä perustui muun muassa aiempiin toimialaselvityksiin, kirjallisuudessa esitettyihin vaihtoehtoihin, uusimpiin tutkimustuloksiin ja asiantuntemukseen.

Teknologiateollisuutta käsiteltiin kolmeen toimialaryhmään jaettuna. Kullekin ryhmälle tehtiin katsaus sisältäen soveltuvilta osin pääasialliset tuotantoprosessit, suurimmat päästölähteet ja jo hyödynnetyt päästövähennysratkaisut.

Pitkästä listasta siivilöitiin asiantuntijoiden avulla päästövähennyskeinot, joita on teknisesti mahdollista hyödyntää. Lisäksi analysoitiin niiden sopivuutta Suomen toimintaympäristöön.

Lopputuloksena saatiin listaus teknologisista päästövähennyskeinoista, niiden hyödyntämismahdollisuuksien aikajänteestä, päästövähennyspotentiaalista ja edellytyksistä.



# MITEN SAADA TEHOKAS KUVA ÄÄRIMMÄISEN FRAGMENTOIDUSTA SEKTORISTA?

## Ytimessä muutama ratkaiseva kokonaisuus

- 👍 ICT ja palvelut on äärimmäisen hajanainen kokonaisuus
- 👍 Tehokkainta on etsiä ydintekijät, ja keinot vähentää päästöjä niissä
- 👍 Yhteistä konsultoinnille ja suurelle osalle palveluja on luonne: konttorityötä käyttäen ICT:tä yhdistyen enemmän tai vähemmän runsaaseen liikkuvuuteen
- 👍 ICT-alalla suuri osa tieto- ja telekomtekniikan päästöihin liittyvästä löytyy kasvavasta energiankulutuksen lähteestä, datakeskuksista ja niiden viestinnästä sekä telekommunikaation kasvavasta energiaintensiivisyydestä siirryttäessä kohti 5G:tä (viidettä sukupolvea)



# PALVELUT JA ICT-SEKTORI



## Yleiskuvaus

Tässä klusterissa käsitellään suunnittelua, konsultointia ja tietotekniikkaa. Suunnittelu ja konsultointi käsittää teollisuuden, yhteiskunnan ja rakentamisen asiantuntijapalvelut. Tietotekniikkaan kuuluvat ohjelmistojen ja tietojen käsittelypalvelut sekä palvelinkeskukset ja verkkoportaalit.

Suurin osa suunnittelun ja konsultoinnin palveluista myydään kotimaahan, kun taas tietotekniikkapalveluiden vienti on merkittävää.

Tämän teollisuudenalan palveluilla on suuri merkitys palveluja käyttävien toimijoiden päästöjen vähentämisessä. Ala jakautuu päästöjen osalta hyvin vähän ja paljon energiaa kuluttaviin palveluihin.

## ■ Energia- ja päästöintensiiviset prosessit

■ Palvelut ja IT on hyvin fragmentoitu klusteri.  
■ Liikenne, kiinteistöjen energiankulutus ja tietoliikenne/datakeskukset ovat päästöjen ytimessä. Koska liikenne käsitellään staattisena (LVM pohjana), keskitytään tässä datakeskuksiin

## ■ Päästövähennysten esteet ja hidasteet

■ Suurimmat ongelmat: sekä pilvipalvelut että yritysten yksityiset datakeskukset kasvavat, laskentakapasiteetissä on ensimmäistä kertaa ongelma, ja kapasiteetin lisäys on hyvin energiantensiivistä

## ■ Päästövähennysteknologiat (2015-2035-2050)

■ Datakeskukset: Kaikki "normaalit" tavat vähentää minkä tahansa sähköä kuluttavan elektroniikan energiatarvetta (virranhallinta kun tyhjäkäyntiä, taajuusmuuntimet jne.) ovat luonnollisesti käytössä, mutta datakeskuksilla on ominaispiirteensä.

Kolme ydintä, sama ydinilmiö:

- "Kaskadiefekt": on järkevää jakaa keskus *kysyntä*- (prosessorit, kovalevyt jne.) ja *tarjonta-puoleen* (jäähdytys, valaistus, katkeamaton virtalähde jne.). Säästö kysynnässä aiheuttaa yleensä moninkertaisen säästön tarjonnassa – "kaskadi".
- Kapasiteetinlisäys: prosessorien tehon kasvun "decoupling" energiankulutuksesta on osittain onnistunut, mutta grafiikkakorttitekologiaan perustuva "supertietokone" on äärimmäisen energiasyöppö – ja pitää sisällään oman *kaskadinsa* erittäin suurine jäähdytystarpeineen jne.
- "G-voima": siirtymä 4G > 5G lisää energiankulutusta, ja samalla mahdollistaa uusia teknologioita (itseohjautuvat autot jne.) jotka myös lisännevät *kaskadina* energiankulutusta

## ■ Päästövähennyspotentiaali (2015-2035-2050) Scope 1 ja 2

### ■ Prosentteja:

- Entisestäään lisätty esim. venttiilien automaatio, energiatehokkuustoimet, tilojen lämmitys

### ■ Kymmeniä prosentteja:

- Hukkalämmön hyödyntäminen (esim. kaukolämpönä), liikennöinti, tekoälyn tarkentuva käyttö datakeskusten energian hallinnassa, tilojen jäähdytys

Yli 50 %

■ Vähähiilinen sähkö, vaihtoehtoiset polttoaineet

■ **Merkittävät päästövähennykset mahdollisia muissa epäsuorissa päästöissä (Scope 3, erityisesti liikennöinti ja materiaali tehokkuus) sekä tuotteiden kadenjaljen kautta.**

Suorat khk-päästöt (2017)\*

**< 0.01 MtCO<sub>2</sub>/a**

Epäsuorat päästöt (energia)\*\*

\*Lähde: Tilastokeskus (TOL 62, 63, 71)

\*\*Tilastokeskus ja Motiva eivät nykyisin seuraa tietoliikenteen tai datakeskusten sähkönkulutusta erikseen.



# MIELEENPAINUVIA LUKUJA



AI	7:1	Vuoden 2012 jälkeen vaativimpien tekoälymallien opettaminen on vienyt 7 kertaa enemmän kapasiteettia kuin ennen sitä
AI-2	300 000:1	Vuoden 2012 käännepisteen jälkeen tekoälymallien opettamiseen on käytetty 300 000 kertaa enemmän kapasiteettia
5G	3.5:1	5G:n arvioidaan kuluttavan 3.5 kertaa enemmän sähköä kuin 4G:n
IoT	75 mrd 3:1	Vuoteen 2025 verkkoon kytkettyjen laitteiden määrän arvioidaan kolminkertaistuvan n. 75 miljardiin
Anti-brexit	1.4:1	”Suurempi Britannia” – yksi viimeisimmistä arvioista datakeskusten energiankulutuksesta on n. 3 % maailman sähköstä, 1.4-kertaisesti Ison-Britannian kulutus

# YKSI SILMUKKA JA KOLME KASKADIA

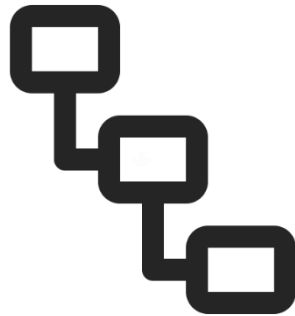


Päästöjen vähentämisen ytimessä ICT:ssä ovat yksi silmukka ja kolme kaskadia



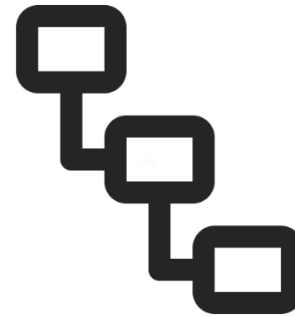
## ● **Tekoälysilmutka**

Tekoälyllä voidaan saavuttaa huomattavia tuloksia energiatehokkuudessa (Google mainitsee 30 %) – mutta tekoälyn opettamiseen vaadittava kapasiteetti seitsemänkertaistui 2012 ja viimeisen seitsemän vuoden aikana käyttö on kasvanut 300 000 kertaiseksi



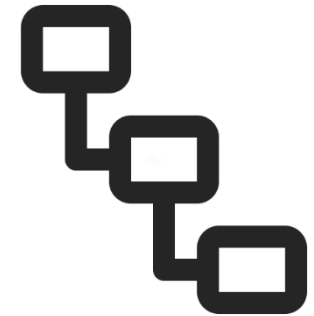
## ● **Sirukaskadi**

Kasvu tai säästö siruissa/kovalevyissä aiheuttaa arviolta kolminkertaisen kasvun/säästön tukitoimissa (jäähdytys jne.)



## ● **Kapasiteetti-kaskadi**

Laskentakapasiteetin tarpeen kasvu tapahtuu tällä hetkellä energia-intensiteettiä lisäten – uusi kaskadi



## ● **IoT-kaskadi**

Arvio on, että 5G kuluttaa 3,5 kertaa enemmän energiaa kuin 4G. Samalla se mahdollistaa uusien energiankuluttajien Internet Of Thingsistä autonomisiin autoihin > kaksi kaskadia!

# TEKO-IKILIIKKUJA?



## Tekoäly taistelemassa itsensä kanssa

### **Datakeskus kuluttaa**

Arviolta 3 % maailman energiasta menee tällä hetkellä datakeskuksiin, ja luku on nousussa



### **Tekoäly lisää kulutusta**

Vaativimpien tekoälysovellusten opettamisessa tuli katkopiste 2012: sen jälkeen opettaminen on vaatinut 7 kertaa enemmän kapasiteettia (ja ilmiö todennäk. voimistuu). Vuodesta 2012 on käytetty 300 000 kertaa enemmän kapasiteettia tekoälyn opettamiseen kuin aiemmin

### **Tekoäly vähentää kulutusta**

Google arvioi uusien datakeskuksiin erikoistuneiden palvelujensa keskimäärin pystyvän leikkaamaan 30 % datakeskuksen energiankulutuksesta

# TEKOÄLYSILMUKKA: VANHA MOOREN LAKI - JA UUDET TEKOÄLYLAIT

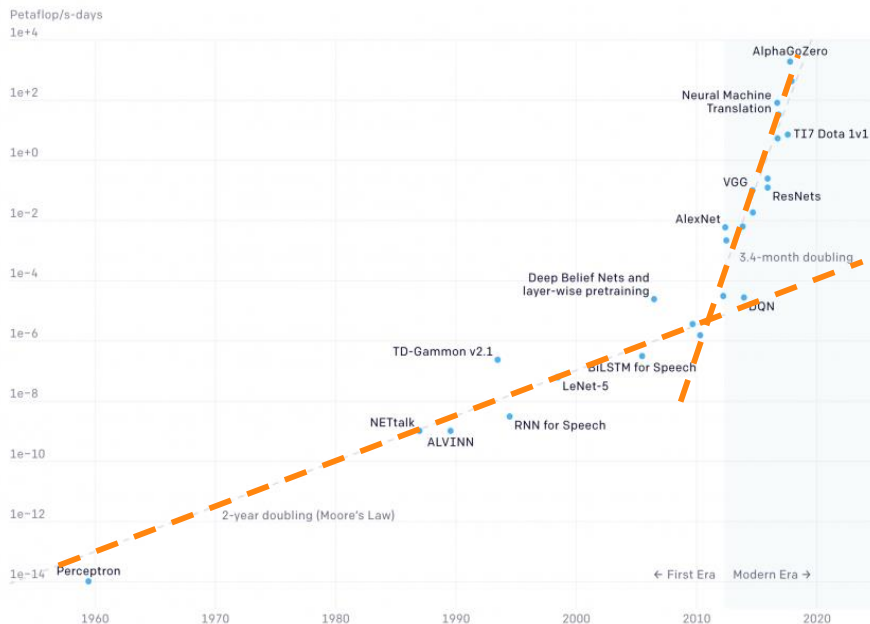


Vanha: samanhintainen laskentakapasiteetti kaksinkertaistui kahdessa vuodessa

## Uusi laki I

OpenAI-säätiö totesi vuonna 2018 että vaativimpien tekoälymallien opettamiseen vaadittava kapasiteetti kaksinkertaistui kerran 100 päivässä vuodesta 2012. Sen jälkeen käyttöön on tullut monta vaativampaa mallia.

Two Distinct Eras of Compute Usage in Training AI Systems



## Seuraukset

"7x"  
Vaadittava opetuskapasiteetti on (vähintään) seitsemänkertaistunut vuoden 2012 taitepisteen jälkeen

"300 000x"  
Käytetty kapasiteetti on 300 000-kertaistanut seitsemässä vuodessa

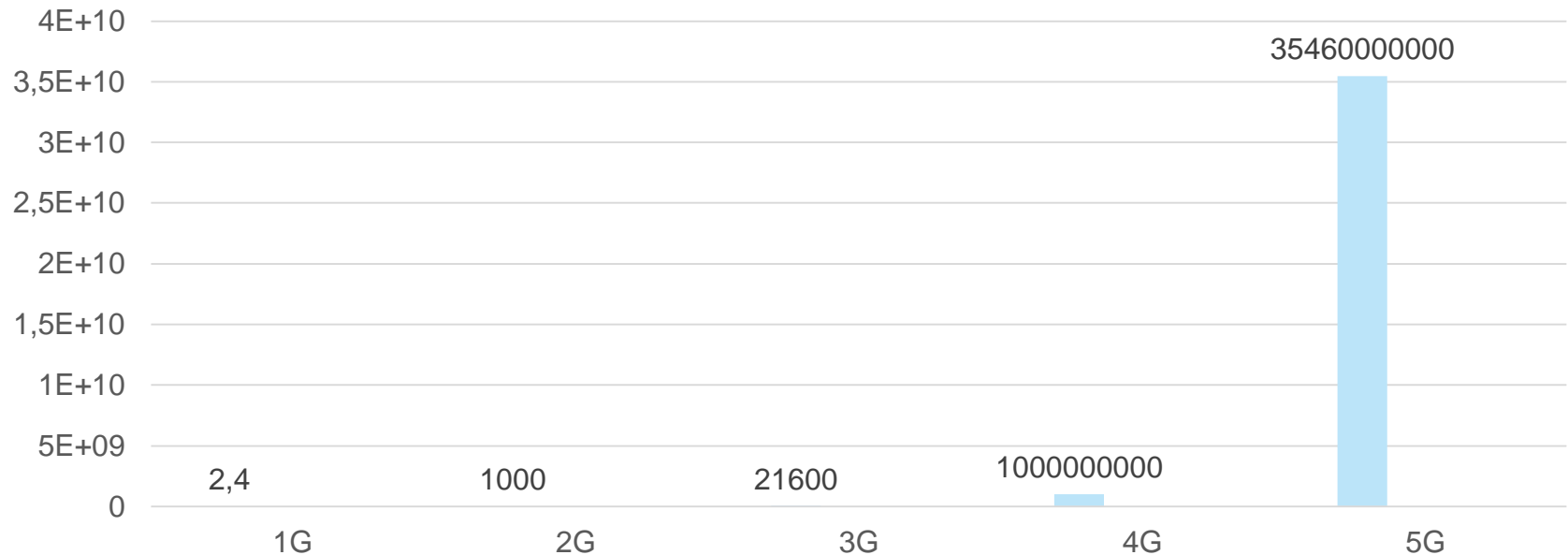
Lähde: Karen Hao, MIT Technology Review 2019

$$5G = 35 * 4G = 1\ 600 * 3G = 35\ 000 * 2G = 15\ 000\ 000 * 1G$$



Visuaalisten ohjenuorien vastainen kuva kertomaan 5G:n eroa tiedonsiirtokapasiteetissa verrattuna aikaisempiin sukupolviin

Maksimisiirtonopeus, kbps, 5G (teoriassa) = 35,46 Gbps



# IOT ON ESINEIDEN INTERNET, IHMISILLÄKIN ON ROOLINSA

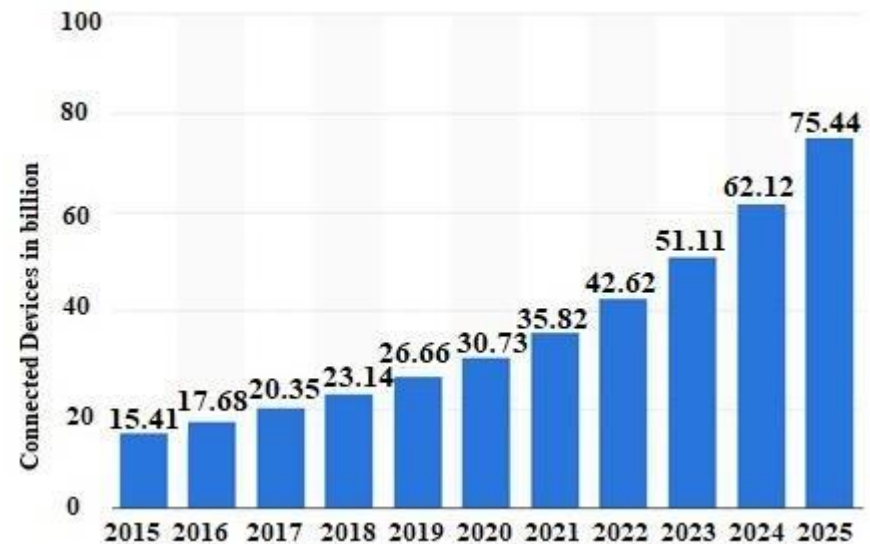


Jo nyt sangen moni esine (kännykät, televisiot, hälyttimet jne) kodeissamme on kytketty nettiin. Jatkossa määrä lisääntyy – ennusteita on monia

IoT (ja/tai IoE<sup>\*)</sup>, ja/tai IIoT<sup>\*\*</sup>) lähtee selkeästä periaatteesta: tekniset laitteet (hyvin pienistä hyvin suuriin) on kytketty Internetiin, niin että ne välittävät kerättyä tietoa ja niitä voidaan ohjata kerätyn tiedon analyysin pohjalta.

## ”Ei IoT:tä IoT:n takia”

Asioiden kytkeminen yhteen ei ole itseisarvo; kerätty tieto ja siitä jalostettu ymmärrys ja toiminta on lisäarvo.

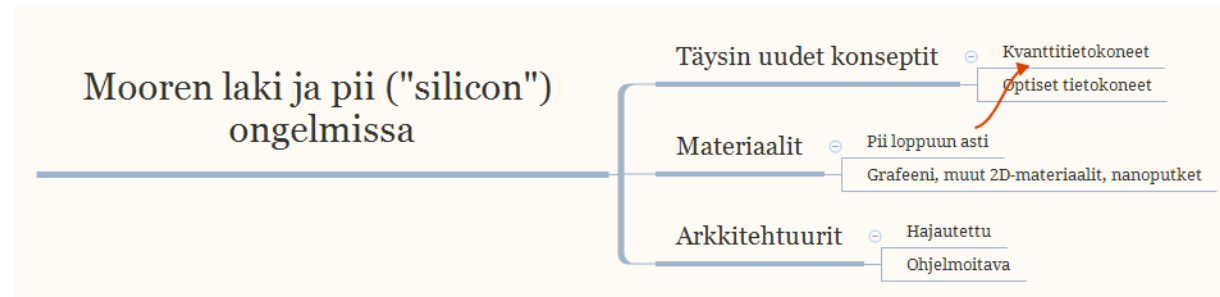


\*) Internet of Everything, "kaiken Internet", laajennetaan kaikkialle  
\*\*) Industrial Internet of Things, "teollinen IoT", rajoittuu teollisuuteen  
Lähde: Statista

# RATKAISUJA: LASKENTA, TIETOKONEET, SIRUT



## Mooren laki ja pii eivät enää riitä...



### Materiaalit

- Piisirut pienetessään lähestyvät kokorajaa, jonka jälkeen monet fysikaaliset syyt estävät jatkon.
- Grafeeni ja muut 2D-materiaalit sekä hiilinanoputket ovat mahdollisia korvaajia.

### Arkkitehtuuri

- Hajautettu arkkitehtuurisuuntaus alkoi moniytimisillä prosessoreilla ja jatkuu.
- Ohjelmoitava hardware, eli siru joka konfiguroi itsensä sopimaan eri tehtäviin, on tavoitteena.

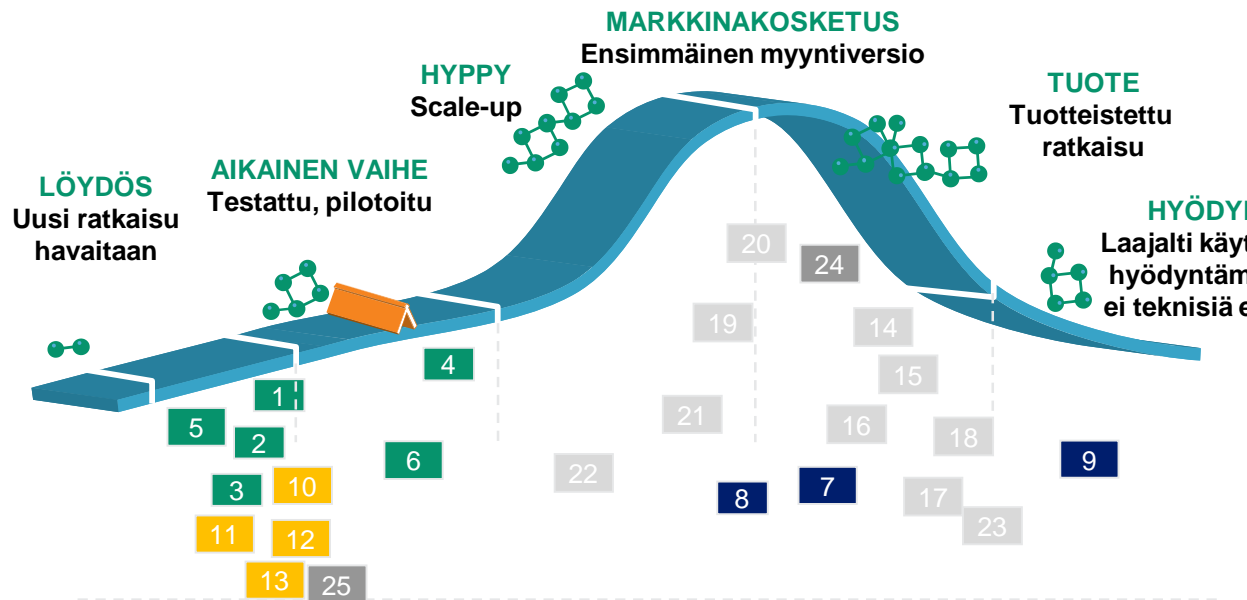
### Uudet konseptit

- Kvanttitietokone (jonka määritelmästä ei olla aivan yhtä mieltä) hyödyntää *qubitteja*, jotka ovat yhtäaikaan monessa tilassa. Suurin huomio on kuitenkin esim. Googlen ja IBM:n taistelussa kvanttitietokoneissa. Intel kehittää siruosaamisensa pohjalta piipohjaisia kvanttitietokoneita.
- Optiset tietokoneet hyödyntävät valoa – valonsäde on nopea, tehokas ja ”mahtuu pienempään tilaan”.



# AIKAJANA: ICT

Kysymykset ovat tiedossa, arkipäivän työkaluja samoin, mutta moni ratkaisu on vielä kaukana – tai huomisen läpimurto.



## Tietokoneet/sirut

1. Kvanttietokoneet
2. Optiset tietokoneet
3. Grafeeni/nanosirut
4. Hajautettu arkkitehtuuri
5. Konfiguroitava siru
6. Cold computing

## Palvelut

7. Energiatehokkaammat pilvipalvelut
8. Energiatehokkaammat sumupalvelut (fog/edge computing)
9. Kyberturvallisuus yht'aikaa parempi ja vähemmän kapasiteettia vaativa

## Telekom

10. Energiatehokas 5G "Massive MIMO"
11. Tehokas tapa sovittaa yhteen 5G/4G/3G
12. Energiatehokkaampi mobiili sumupalvelu
13. Tarvittavan palvelupeaton saavuttaminen ilman 2-3-kertaista määrää noodeja

## Datakeskuksen hallinta

14. Heterogeenisen serverikaluston tehokas optimointi
15. Prosessoinnin priorisointialgoritmien tehostaminen
16. Keskusten mitoittaminen alle piikkikapasiteetin ja tehokas marginaaliratkaisu
17. Yhteiset osat: "blade"-serverit vs "rack"-serverit
18. Ilmajäähdytys > tehokas nestejäähdytys
19. 80/20-ongelman ratkaisu
20. UPS-ketjun hyötyasteen tehostaminen
21. Lisjäähdyttimet
22. Integrointi mikroverkkoihin
23. Integrointi uusiutuvaan energiaan

## Monikäyttöalgoritmit

24. Tehokkaampi tiedonpakkaus
25. Energiatehokkaampi/"opetusniukka" tekoäly

Tietokoneet/prosessorit

Telekom

ICT-palvelut

Datakeskuksen hallinta

Monikäyttöalgoritmit

TRL

1 2 3 4

5

6

7

8

9





## Kvanttitietokoneet

- Massiivisesta rahoituksesta huolimatta kaukana arkipäivän ratkaisusta – ja kvanttietu on tietynlaisissa ongelmissa.

## Optiset tietokoneet

- Korvataan elektronit fotoneilla eli valolla. Pienempää, nopeampaa, tehokkaampaa – mutta kaukana kaupallisista ratkaisusta.

## Grafeeni/nanosirut

- Nopeampi ja tehokkaampi johtamaan sähköä. Teoriassa nanotuubisiru olisi n. kolme kertaa nopeampi ja käyttäisi kolmasosan piisirun energiasta, kokonaisuutena 10-kertainen teho.

## Hajautettu arkkitehtuuri

- Yksinkertaistus: Yksinäinen prosessori on usein ”ylimitoitettu” tehtäviinsä ja ajaa tyhjäkäyntiä. Hajautetuissa ratkaisussa kuorman tasaus on helpompaa.

## Konfiguroitava siru

- Siru/tietokone/hardware joka ei ole staattinen, vaan joka voidaan asemoida uudelleen eri tehtäviä varten.

## Cold computing

- Laskennan tehostaminen tai nopeuttaminen siirtymällä alhaisempiin lämpötiloihin (huoneenlämmöstä kohti nollapistettä), säästäen energiaa.

# TEKNOLOGIAKATSAUS: PALVELUT



## Energiatehokkaammat pilvipalvelut

- Pilvipalveluissa tieto sijaitsee etänä ja prosessointia suoritetaan samoin. Datakeskukset ovat pilvipalvelujen ydin – kaikki datakeskuksia ja tiedonkulkua energian suhteen tehostava auttaa kohti ”vihreää pilveä”.

## Energiatehokkaammat sumupalvelut (fog/edge computing)

- Edge computing: osa datasta ja prosessoinnista sijaitsee poissa pilvestä, esim. yrityksen omissa tiloissa.
- Fog computing/sumupalvelu on standardi joka määrittelee miten edgen tulisi toimia. Edge kasvaa huimaa vauhtia, ja energiatehokkuus verrattuna suurin datakeskuksiin on huomattavasti pienempi – skaalaedun puutteeseen ei tällä hetkellä ole ratkaisua.

## Kyberpalvelujen suurempi energiatehokkuus

- Jokainen eri turvaohjelmistoja omalla tietokoneellaan käyttänyt tietää miten suuria eroja prosessorin kuormituksessa löytyy. Kyberhyökkäysten lisääntyessä tämä sinänsä mitään tuottamaton kapasiteetti ja siihen liittyvä energiankulutus lisääntyy. Energianiukkaan kyberohjelmistoon pääsy on yhdistelmä eri keinoja, ei ole yhtä taikatemppua.



## Serverikaluston tehokas optimointi

- Useimmiten datakeskuksen serverit ovat erilaisia laskenta- ja muistikapasiteetiltaan. Mitä sekalaisempi joukko servereitä, sen hankalampaa saada aikaan optimaalinen kuormitus. Kaikki serverit eivät realistisesti katsoen tule olemaan samanlaisia – paremmat optimointialgoritmit.

## Priorisointialgoritmien tehostaminen

- Eri töillä joita datakeskuksessa ajetaan on eri prioriteetti - usein datakeskuksen omalla toiminnalla on korkein prioriteetti. Eri prioriteettien ajon optimointi vähentää tyhjäkäyntiä

## Keskusten mitoittaminen alle piikkikapasiteetin ja tehokas marginaaliratkaisu

- Datakeskukset useimmiten mitoitetaan vastaamaan odotettua maksimikuormaa. Pienempi mitoitus ja tehokas ratkaisu piikkikuorman käsittelyyn olisi usein tehokkaampi ratkaisu.

## Tasapaino "blade"-serverit vs "rack"-serverit

- "Rack": yksittäisenä toimiva serveri.
- "Blade": samaan "koteloon" sijoitettava serveri.
- "Blade"-klusteri pystyy käyttämään yhteisiä osia. Edut huollossa, tilan- ja energiankäytössä jne. vaativat blade/rack-suhteen optimointia.

## Ilmajäähdytys > tehokas nestejäähdytys

- Jäähdytys on suuri energiasyöppö. Vesi/neste on tehokkaampi jäähdytin – mutta veden vuotaminen rakenteisiin voi tuhota kaluston. Esim. Google käyttää Suomessa merivettä jäähdytykseen.

## 20/80-ongelman ratkaisu

- Serverien energiankulutus on usein korkea vaikka kuormitus kevenee: mittauksissa esim. 20 % kuormitus usein johtaa 80 % energiankulutukseen. Mikään yksi keino ei ratkaise tätä



## UPS-ketjun hyötyasteen tehostaminen

- UPS = Uninterruptible power supply, keskeytymätön virransyöttö. Ketjussa sähkön tallettamisesta sen käyttöön tasaamaan saantia hyötysuhde ei aina ole optimaalinen.

## Lisäjäädyttimet

- Veden lisäksi datakeskukseen sopivat muut energiatehokkaat jäähdytyslisäratkaisut voivat auttaa tehokkuutta

## Integrointi mikroverkkoihin

- Kehittyessään älykkäät sähkön mikroverkot voivat auttaa datakeskuksia monin tavoin – vähentäen hävikkiä ja jäähdytystarvetta, tuoden joustoa ja helpottaen esim. sähkön myyntiä verkkoon integroidusta energiasta

## Integrointi uusiutuvaan energiaan

- Jotta uusiutuvaa energiaa voidaan myydä tarvittaessa verkkoon, on sitä oltava – integroituna datakeskuksen sisällä tai esim. tuulivoimapuistona



## Energiatehokas 5G "Massive MIMO"

- 5G vaatii, ainakin nyt, nykytilanteeseen verraten massiivisen suuret antenniklusterit. Vielä ei olla pitkällä antennien ja muiden osien energiatehostamisessa.

## Tarvittavan palvelupeiton saavuttaminen ilman 2-3-kertaista määrää asemia

- 5G voi tukea n. miljoonaa laitetta neliökilometriä kohden, 10 kertaa enemmän kuin 4G. Tarvittavaa peittoa varten vaaditaan 2-3 kertaa enemmän asemia.

## Tehokas tapa sovittaa yhteen 5G/4G/3G

- "Legacy"/teknologiaperintö on erittäin suuri. Maailma ei siirry 5G:hen kerralla, vaan jopa 2G on vielä elossa, ja 4G pysynee käytössä vielä kauan. 5G-infran pitää pystyä myös palvelemaan edellisiä sukupolvia, mikä lisää kompleksisuutta ja energiankulutusta.

## Energiatehokkaampi mobiili sumupalvelu

- Sumupalveluista puhuttiin kohdassa "palvelut" – mobiili sumupalvelu tulee yhä hyödyllisemmäksi 5G:n kapasiteetin myötä, mutta sama energiaongelma on siinäkin.



## Tehokkaampi tiedonpakkaus

- Zip-formaatti lienee tuttu monelle esimerkkinä tiedonpakkauksesta pienempään tilaan. Mitä enemmän dataa pitää siirtää (esim. 5G), sitä suuremmat säästöt paremmalla pakkauksella.
- Nörttien suuresti ihaileman tieteellisen humoristin Randall Munroen (sarjakuva XKCD, kirjoja) tuoreessa kirjassa "How to: absurd scientific advice for common real-world problems" tuodaan esille tosiasia, että jokaista G:ta nopeampi tiedonsiirto tällä hetkellä on esim. täyttää laukku microSD-korteilla ja postittaa se määränpään. Emme tässä toista Munroen esimerkkiä perhosista vielä tehokkaampana tiedonsiirtovälineenä.

## "Opetusniukka" tekoäly

- Edellä on esitelty tekoälyn opettamiseen kuluvan kapasiteetin seitsenkertaistumista käänneasteessa 2012. Tähän asti pyrkimyksenä on suurelta osin ollut ratkaista yhä vaativampia ongelmia ilman erityistä ajatusta energiankulutuksen pienentämiselle. Tämä on luonnollista erittäin voimakkaassa kasvuvaiheessa, muttei kestävää.
- On myös huomattava, että äärimmäisen voimakkaan huomion kohteena ovat "syväoppivat neuroverkot" ovat hyvin "opetusintensiivisiä" – eivätkä suinkaan ainoita mahdollisia ratkaisuja.

# ESTEITÄ PÄÄSTÖVÄHENNYSKEHITYKSELLE ICT-ALALLA



## Top-N päästövähennystoimien jarruttajina

### Top-2 taloudelliset

1. **Huima kasvu** on painopisteenä, ja on houkuttelevampaa kasvaa kuin optimoida olemassaolevaa.
2. Pääosa helpoista ratkaisuista on tehty, eikä markkinakelpoisia ratkaisuja juuri ole tarjolla rahallakaan.

### Top-2 resurssit

1. Data on merkittävin raaka-aine, ja sen saatavuus ei ole ongelma vaan pikemminkin sen valtavan, jatkuvasti kasvavan määrän hallinta ja hyödyntäminen.
2. **Sähkön saatavuus ja hinta.**

### Top-2 tekniset

1. Teknisissä ratkaisuissa energia on harvoin prioriteetti.
2. Ongelmanratkaisun tekninen kulttuuri on kärjistäen: jokainen ongelma on osoitettava ratkaistavaksi, vaikka resurssien kulutus olisikin tehotonta – liian usein mielletään että ICT on ympäristöongelmien ulkopuolella. Opetus- ja koulutuspoliittiset implikaatiot.
3. Ympäristövaikutusten ja esimerkiksi sähkönkulutuksen tilastointi ja raportointi tietoliikennealalla (esim. datakeskukset) on nykyisin puutteellista. Yhdenmukaiset toimintatavat ja uudenlainen yrityskulttuuri tietojen raportointiin toisivat läpinäkyvyyttä toimialalle.

# AJUREITA PÄÄSTÖVÄHENNYSKEHITYKSELLE ICT-ALALLA



## Top-N päästövähennystoimien ajureina

### Top-3 taloudelliset

1. **Laskentakapasiteetti on muuttunut loputtomasta resurssista rajalliseksi** myös globaaleille jäteille.
2. Toimijat ovat kansainvälisiä, mutta Suomi on itse asiassa sekä maantieteelliseltä sijainniltaan, henkiseltä kapasiteetiltaan ja toimintaympäristöltään mahdollinen pilottiympäristö.
3. Ongelmat ovat tiedossa, ratkaisut ovat globaaleja valttikortteja.

### Top-1 resurssit

1. Resurssitehokkuus (metallit, raaka-aineet, energia, vesi) ja resurssien hyväksyttävä alkuperä on toiminnan mahdollistaja ja yhä enemmän edellytys.

### Top-1 tekniset

1. Pääosassa ratkaisuja teknologinen kehitys on niin huimaa, että se vetää puoleensa rahaa ja osaajia – mikä entisestään kiihdyttää kehitystä.

### Top-1 ympäristö

1. Markkinahyväksyntä ravistelee pörssikursseja – myös ICT-jättien on oltava kestävä kehityksen listoilla.





# KONSULTOINTI JA PALVELU KONTTORITYÖOLOSUHTEISSA

# KONSULTOINTI (JA TOIMISTOTYÖMUOTOISET PALVELUT)



## Yleisesti ICT-intensiivistä konttorityötä vaihtelevalla liikkuvuudella

Konttorityö

- Kaksi päähaaraa
  - konttoritilojen ympäristösertifiointi, jossa LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) on käytetyin globaali luokittelu
  - konttoritoiminta-aloitteet, esim. WWF:n Green Office
  - syvempi tarkastelu on lähinnä rakennus- ja kiinteistöteollisuuteen kuuluvaa

Liikkuvuus

- Paikallinen konsultointi (ja muut palvelut) ja globaali vienti-orientoitunut konsultointi ovat saman periaatteen alla: minimoi päästöintensiivinen matkustaminen esim. suosimalla vähäpäästöisiä välineitä ja virtuaalitapaamisia.

ICT

- Mahdollisimman energiatehokkaiden elektronisten laitteiden tehokkaan käytön lisäksi ollaan ICT-alueella, ja keinot löytyvät suosimalla mm. päästömielessä parhaita datakeskusratkaisuja.

Kädenjälki

- Konsultointi ja design jolla minimoidaan sekä kokonaisuuden että konsultoitavan kohteen scope 1, 2 ja 3-päästöjä. Merkittävä katalyytti teknologioiden kaupallistamisessa sekä kansainvälistymisessä.

# SKENAARIOT



# PÄÄSTÖVÄHENNYSSKENAARIOT

## Skenaarioiden luomista varten on määriteltävä selkeästi lähtöoletukset

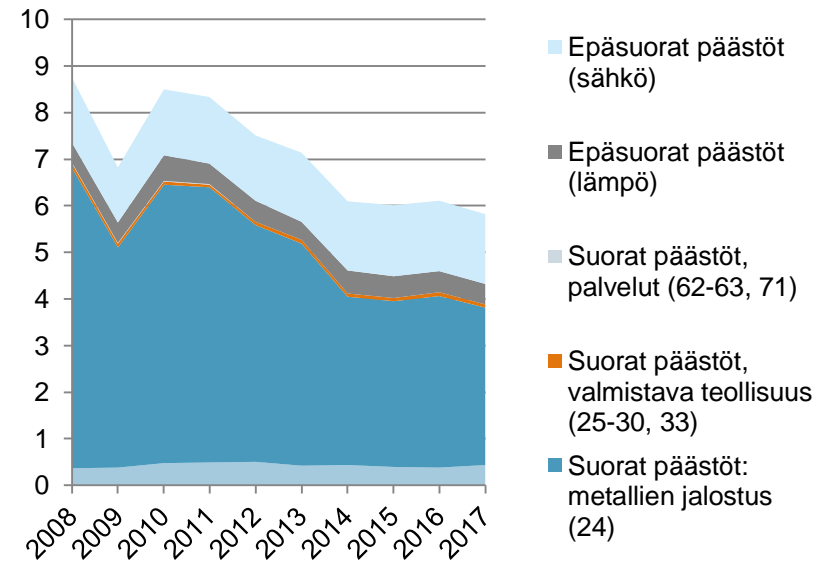
### Miten määritellään business as usual -kehitys?

- Referenssivuosi: 2015
  - Lisäksi kuvataan muutos vuoteen 1990 verrattuna
- Volyymikasvu (%/a)
  - Klusterikohtaiset (kaivokset ja metallit, valmistava teollisuus, palvelut) arviot
- Energiatehokkuusparannukset (%/a)
- Energiasektorin BAU-kehitys
  - Erityisesti sähkösektori vähähiilistyy BAU-kehityksessä
- Tuoteportfoliomuutokset ja niiden vaikutukset?

### Mitä muut skenaariot sisältävät?

- Nopea teknologinen kehitys?
- Tavoiteltu päästötaso?

## Toimialojen khk-päästöt 2008-2017



Lähde: Tilastokeskus. Kuvaajassa teollisuuden khk-päästöt raportoitu TOL-luokan mukaan, eikä jaottelu kaikilta osin vastaa esimerkiksi EU:n päästökauppatilastoa. Epäsuorat päästöt on arvioitu teollisuuden energiankäytön perusteella, joka sisältää sähkön ja lämmön ulkopuolisen nettohankinnan. Ostosähkön ja -lämmön päästökertoimina on käytetty Motivan viimeksi julkaisemia päästökertoimia (viiden vuoden keskiarvo): sähkö 158 kg CO<sub>2</sub>/MWh; lämpö 164 kg CO<sub>2</sub>/MWh. TOL-luokkien 62, 63 ja 71 energiankulutus ja epäsuorat päästöt eivät sisälly kuvaajaan.

# LIITTEET



# TOIMIALALUOKITUS

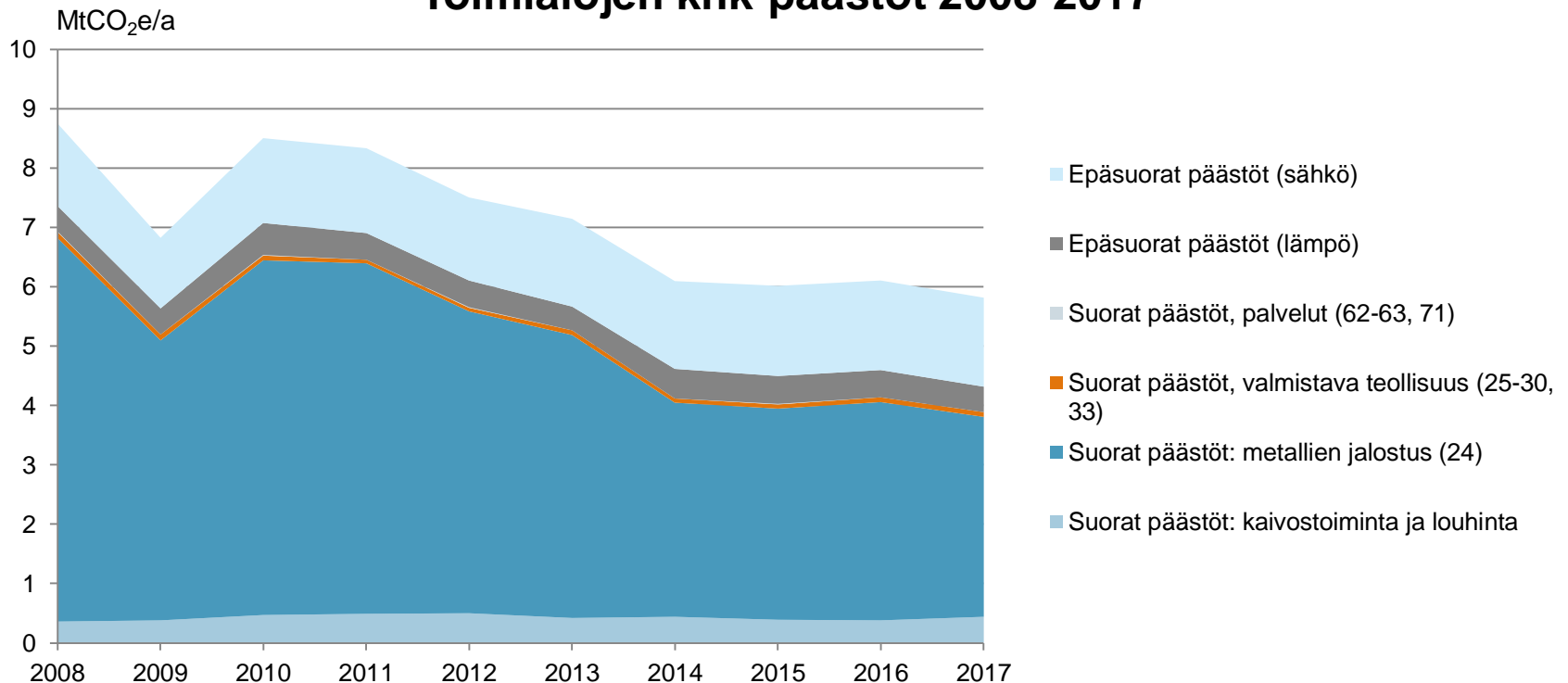
## Toimialajako noudattelee Tilastokeskuksen toimialaluokitusta

Kategoria	TOL 2008 -luokitus
<b>Metallinjalostus ja kaivokset</b>	<b>5-9, 24</b>
Kaivostoiminta ja louhinta	5-9
Metallien jalostus	24
<b>Valmistava teollisuus</b>	<b>25-30, 33</b>
Metallituotteiden valmistus (pl. koneet ja laitteet)	25
Tietokoneiden sekä elektronisten ja optisten tuotteiden valmistus	26
Sähkölaitteiden valmistus	27
Muiden koneiden ja laitteiden valmistus	28
Mootoriajoneuvojen, perävaunujen ja puoliperävaunujen valmistus	29
Muiden kulkuneuvojen valmistus	30
Koneiden ja laitteiden korjaus, huolto ja asennus	33
<b>Palvelut</b>	<b>62-63, 71</b>
Ohjelmistot, konsultointi ja siihen liittyvä toiminta	62
Tietopalvelutoiminta	63
Arkkitehti- ja insinööripalvelut; tekninen testaus ja analysointi	71

[Toimialaluokitus 2008](#) (TOL 2008) on Tilastokeskuksen käyttämä luokitus taloudellista toimintaa kuvaavien tilastojen tilastoinnissa.

# TEKNOLOGIATEOLLISUUDEN TOIMIALOJEN SUORAT PÄÄSTÖT

## Toimialojen khk-päästöt 2008-2017



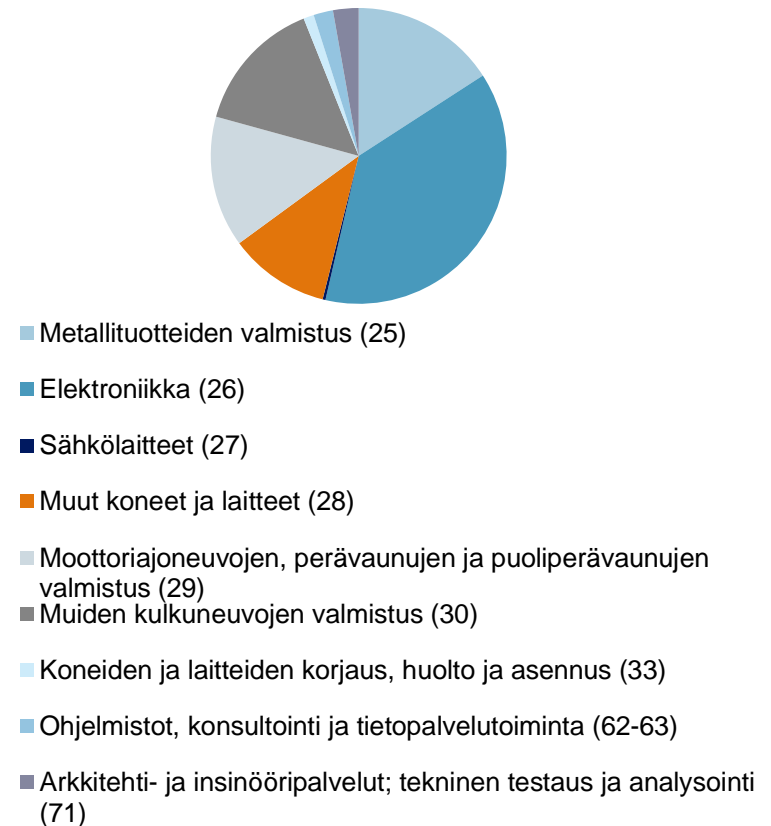
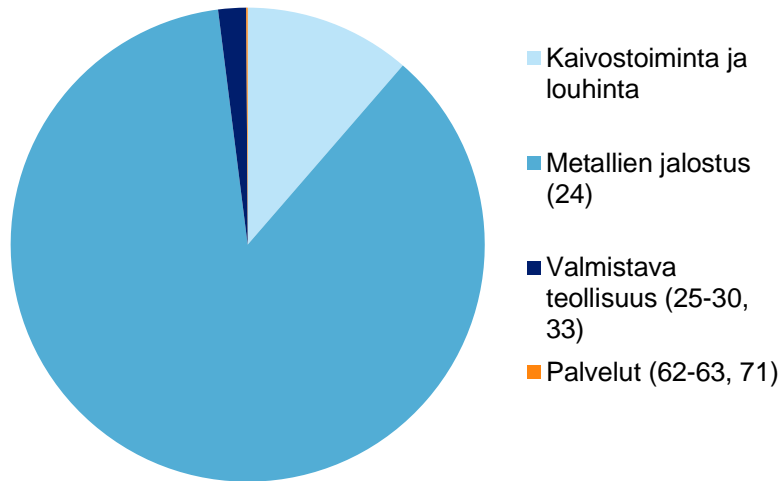
Lähde: Tilastokeskus. Kuvassa teollisuuden khk-päästöt raportoitu TOL-luokan mukaan, eikä jaottelu kaikilta osin vastaa esimerkiksi EU:n päästökauppatilastoa. Epäsuorat päästöt on arvioitu teollisuuden energiankäytön perusteella, joka sisältää sähkön ja lämmön ulkopuolisen nettohankinnan. Ostosähkön ja -lämmön päästökertoimina on käytetty Motivan viimeksi julkaisemia päästökertoimia (viiden vuoden keskiarvo): sähkö 158 kg CO<sub>2</sub>/MWh; lämpö 164 kg CO<sub>2</sub>/MWh. TOL-luokkien 62, 63 ja 71 energiankulutus ja epäsuorat päästöt eivät sisälly kuvaajaan.

# TEKNOLOGIATEOLLISUUDEN SUORAT PÄÄSTÖT

Valtaosa suorista päästöistä syntyy kaivosteollisuudessa ja metallinjalostuksessa

Suorat päästöt (2017) olivat 3.8 MtCO<sub>2</sub>e

Ilman kaivos- ja metalliteollisuutta 0.065 MtCO<sub>2</sub>e



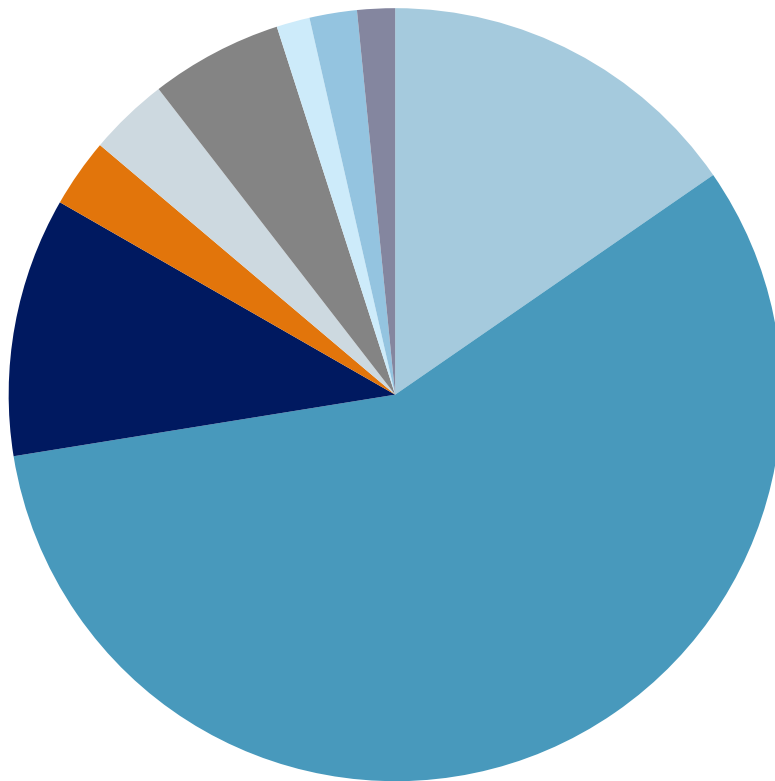
Lähde: Tilastokeskus



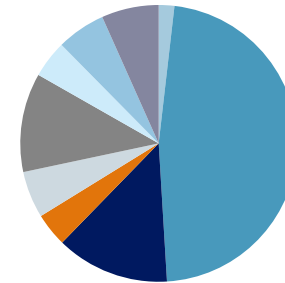
# TEKNOLOGIATEOLLISUUDEN OSTOENERGIAN KULUTUS TOIMIALOITTAIN

## Ostoenergian jakauma toimialojen kesken on tasaisempi

Ostosähkön kulutus 9.4 TWh (2017)



Ostolämmön kulutus 2.6 TWh (2017)

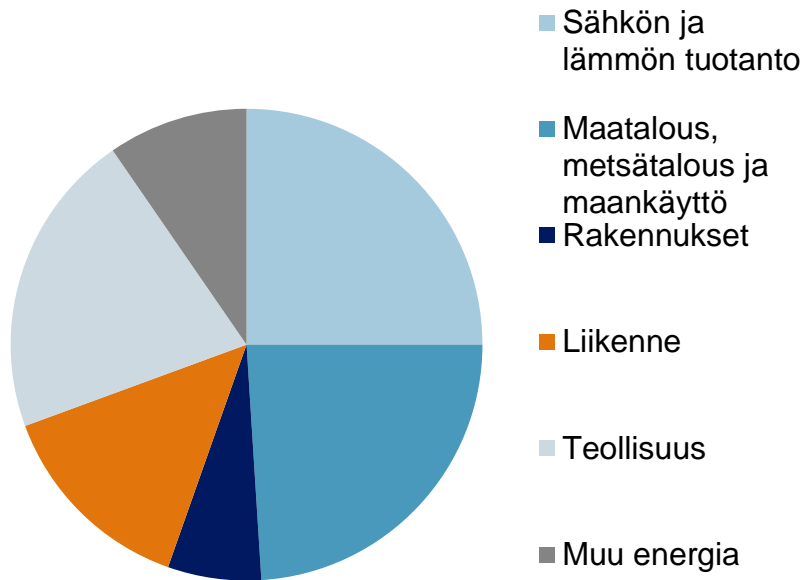


- Kaivostoiminta ja louhinta
- Metallien jalostus (24)
- Metallituotteiden valmistus (25)
- Elektroniikka (26)
- Sähkölaitteet (27)
- Muut koneet ja laitteet (28)
- Moottoriajoneuvojen, perävaunujen ja puoliperävaunujen valmistus (29)
- Muiden kulkuneuvojen valmistus (30)
- Koneiden ja laitteiden korjaus, huolto ja asennus (33)

\*Luvut sisältävät ainoastaan mainitut toimialaluokat.

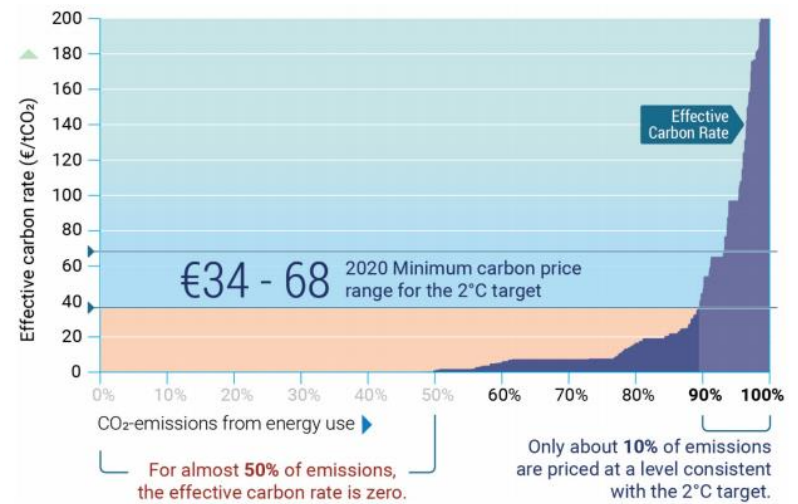
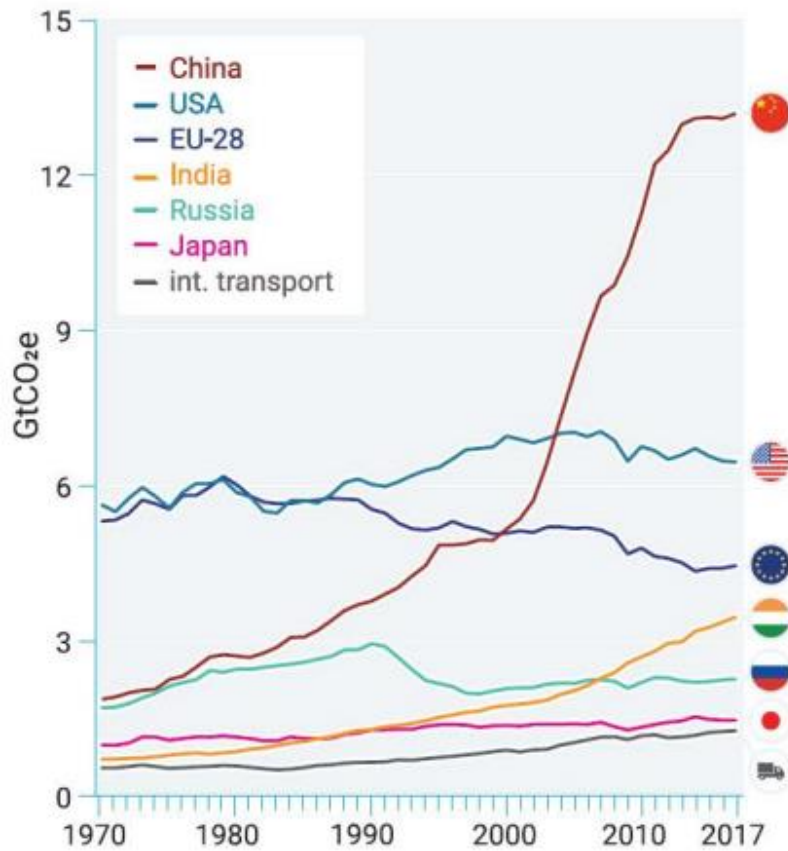
# GLOBALIT PÄÄSTÖT

Globaalit päästöt 49 GtCO<sub>2</sub>e (2010)



Lähde: [IPCC \(2014\)](#)

# GLBAALIT PÄÄSTÖT



Lähde: [UN Environment \(2018\)](#)

# EU:N PÄÄSTÖT, HISTORIA

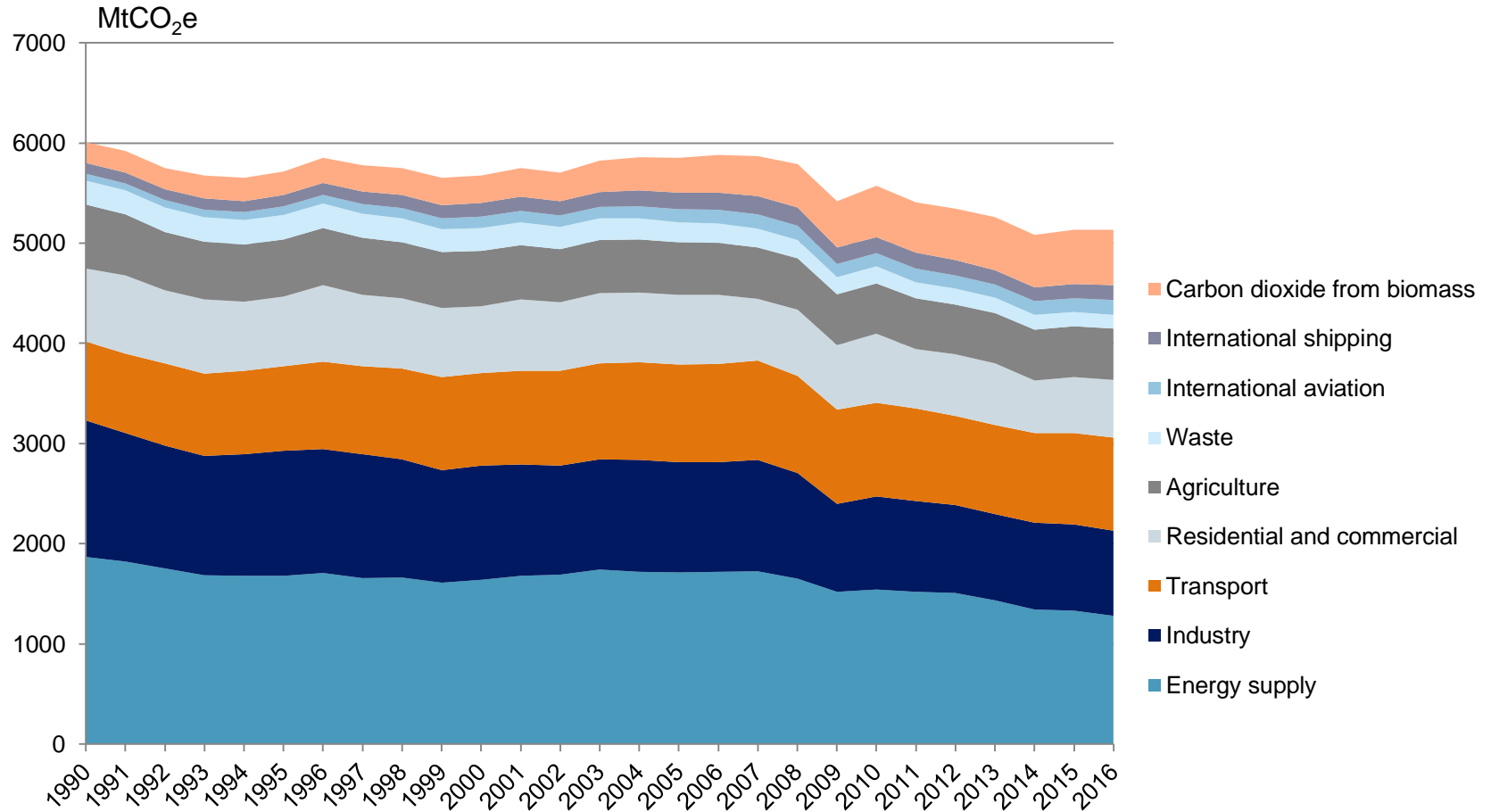


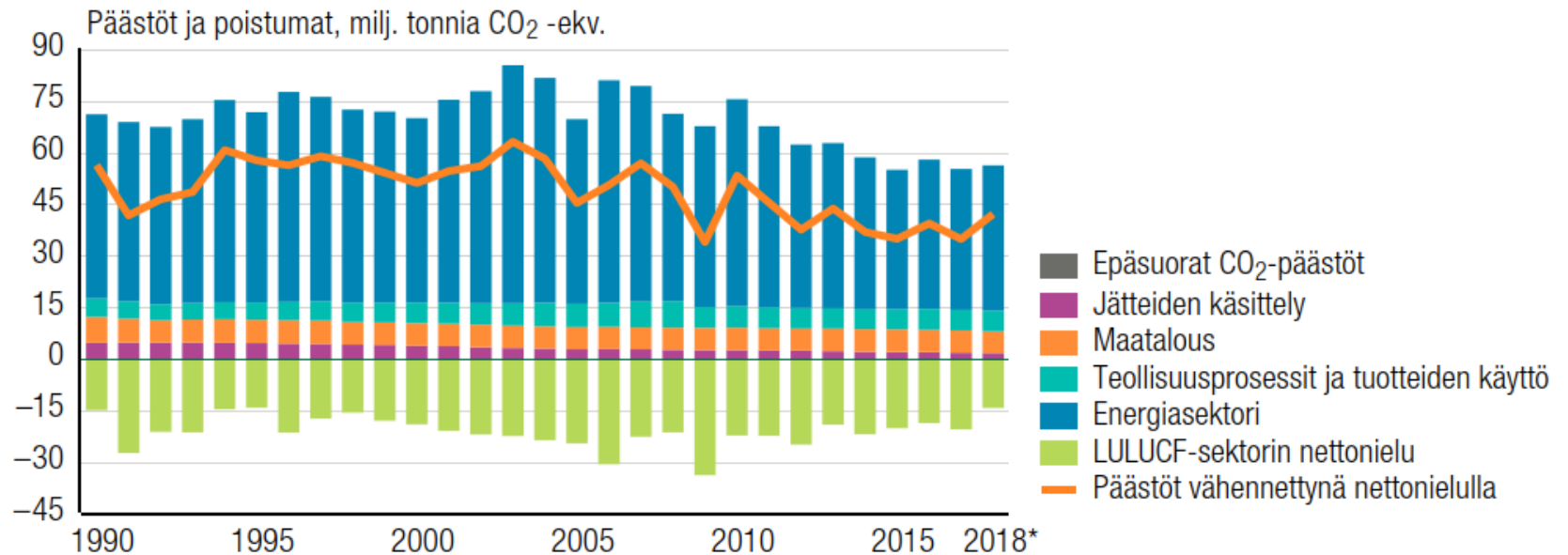
Figure above does not include LULUCF sector (-301 MtCO<sub>2</sub>e in 2016) and other (8 MtCO<sub>2</sub>e in 2015).

Source: [European Environment Agency](https://www.eea.europa.eu)

# SUOMEN PÄÄSTÖT

Kuvio 1.1

Suomen kasvihuonekaasupäästöt 1990–2018 ilman LULUCF-sektoria ja LULUCF-sektori huomioituna. Vihreä pylväs kuvaa LULUCF-sektorin nettopoistuman eli nielun suuruutta



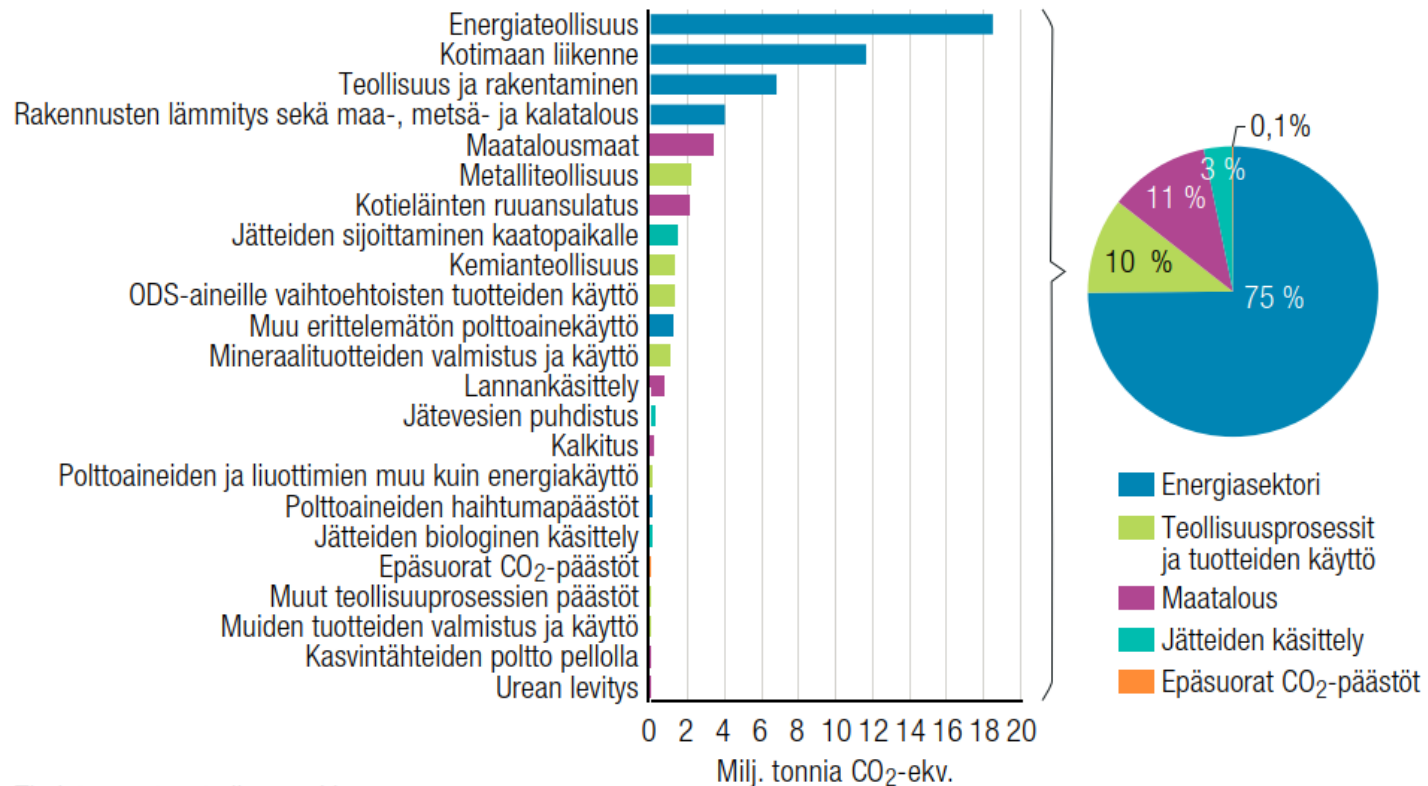
\* Pikaennakko

Lähde: Tilastokeskus (2019): Suomen kasvihuonekaasupäästöt 1990-2018

# SUOMEN PÄÄSTÖT

Kuvio 1.5

Kasvihuonekaasupäästöjen lähteet sektoreittain ja osuudet kokonaispäästöistä vuonna 2018



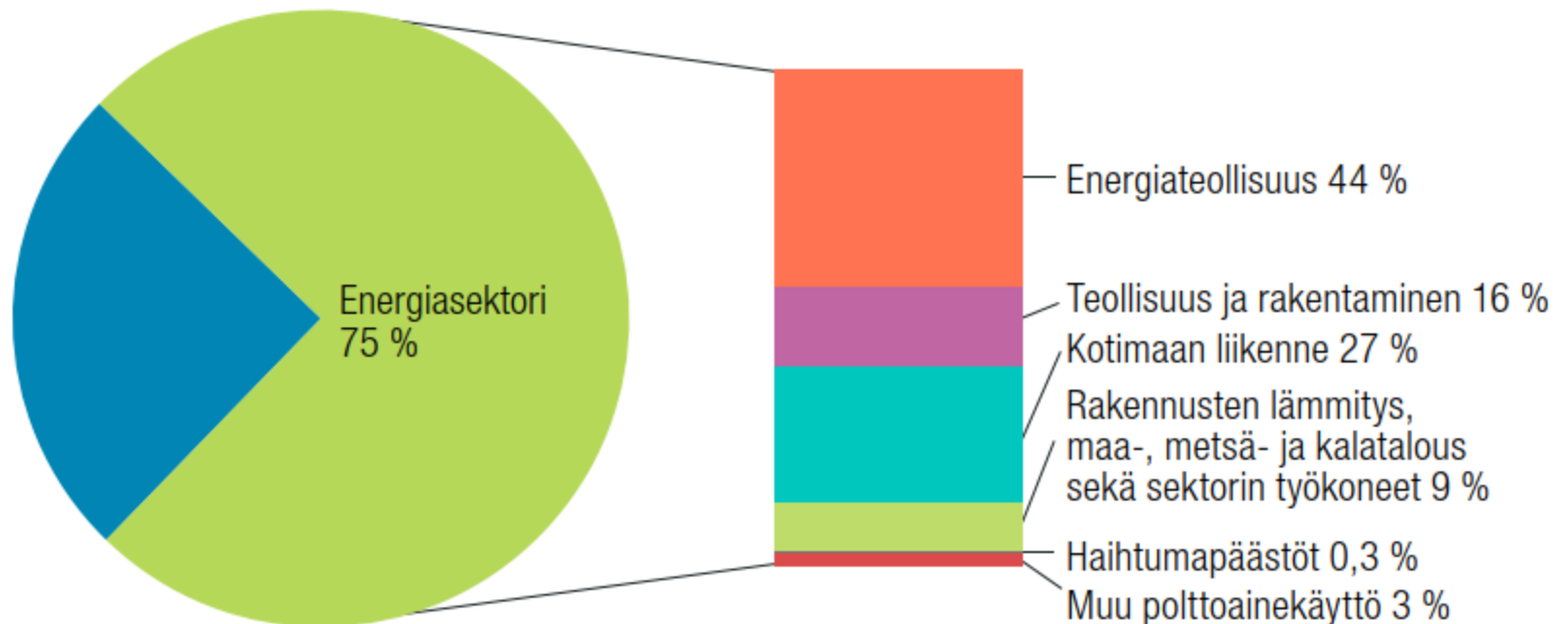
Tiedot perustuvat pikaennakkoon.

Lähde: Tilastokeskus (2019): Suomen kasvihuonekaasupäästöt 1990-2018

# SUOMEN PÄÄSTÖT

Kuvio 1.8

Energiasektorin kasvihuonekaasupäästöjen jakautuminen vuonna 2018\*



\* Pikaennakkotieto

Lähde: Tilastokeskus (2019): Suomen kasvihuonekaasupäästöt 1990-2018



The leading advisor to the world's energy, forest and bio-based industries. Clients choose us for the sharpness of our insight, deep industry expertise and proven track record – because results count.

**Pöyry Management Consulting**

