



LowTEMP2.0

# CO<sub>2</sub>-päästökiintiöt CHP-järjestelmissä sekä suosituksia

Itämeren maiden alueen LTDH-hanke

*LowTEMPin koulutuspaketti - 9*



# LowTEMP -koulutuspaketti - YLEISKATSAUS

## Johdanto

Johdanto – Ilmastonsuojelupolitiikka ja sen tavoitteet

Johdanto – Energianjakelujärjestelmät ja matalan lämpötilan kaukolämpö

Energianjakelujärjestelmät Itämeren alueella

## Energiastrategiat ja pilottiprojektit

Energiastrategioiden kehittämisen metodologia

Pilottienergiastrategiat – tavoitteet ja edellytykset

Pilottienergiastrategiat – Esimerkkejä

Pilottitestaustoimet

CO<sub>2</sub> -päästölaskenta

Elinkaariarviointilaskenta

## Taloudelliset näkökohdat

LTDH-hankkeiden elinkaarikustannukset

Taloudellinen tehokkuus ja rahoitusvajheet

Sopimus- ja hinnoittelumallit

Liiketoimintamallit ja uudet rahoitusrakenteet

## Tekniset näkökohdat

Putkistojärjestelmät

Sähkön ja lämmön yhteistuotanto (CHP)

Ison mittakaavan aurinkoenergiajärjestelmät

Hukka- ja ylijäämälämpö

Ison mittakaavan lämpöpumput

Power-2-Heat ja Power-2-X -tekniikat

Lämpö-, aurinkoenergia/jää- ja faasimuutosmateriaalivarastot

Lämpöpumppujärjestelmät

Matalan lämpötilan järjestelmät ja lattialämmitys

Talousveden tuotanto

Ilmanvaihtojärjestelmät

## Hyvä käytäntö

Hyvä käytäntö I

Hyvä käytäntö II

# Motivaatio



LowTEMP2.0

**Hiilidioksidipäästöjen jakomenetelmät** ovat erittäin tärkeitä **energiapoliittisia välineitä**, ja niitä kehitetään tukemaan **energiajärjestelmien suunnittelua, päätöksentekoa** ja politiikan kehittämistä sekä valtiollisella, alueellisella että teollisella tasolla.

**Yhteistuotantojärjestelmät** tuottavat sähköä ja lämpöä, mutta lämpöä voidaan tuottaa fossiilisista polttoaineista tai sähköstä yli **95%** hyötysuhteella.

sähköenergiaa tuotetaan fossiilisista polttoaineista/ lämmöstä jopa **45%** hyötysuhteella.

**Kuinka paljon päästöjä meidän pitäisi jakaa energian ja lämmön tuotantoon?**

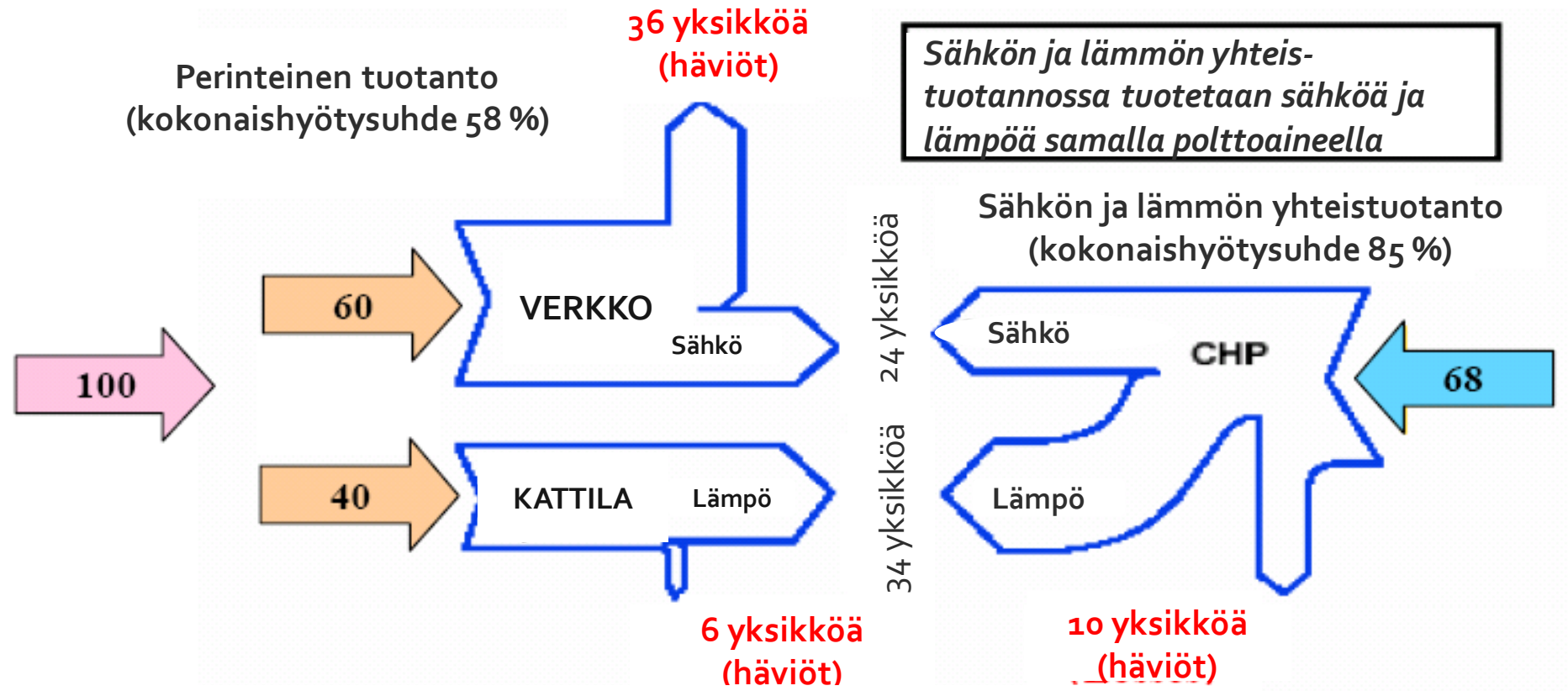


*Kuva 1: Päästöjä suurimmasta ruskohiilellä toimivasta voimalaitoksesta Belchatówissa (PL) Lähde: M. Dzierzgowski, IMP PAN*

# Yhteistuotannon edut



LowTEMP2.0



Yhteistuotantojärjestelmän energiatehokkuusetu (UNESCAP, 2000)

Lähde: UNESCAP, 2000

# Päästöjen lähteet ja niiden lämmitysvaikutus ilmastoon



LowTEMP2.0

## Lämmitysvaikutus (Global Warming Potential, GWP)

Fossiilisten polttoaineiden polttaminen johtaa kasvihuonekaasupäästöihin, pääasiassa hiilidioksidi-, metaani-, typpioksiduuli- ynnä muihin päästöihin. Näiden kaasujen päästöt muutetaan hiilidioksidiekvivalenteiksi kertomalla kasvihuonekaasujen määrä niiden lämmitysvaikutuksella.

GWP lasketaan heijastamaan sitä, kuinka kauan kaasu keskimäärin pysyy ilmakehässä ja kuinka voimakkaasti se absorboi energiaa, eli ts. GWP-kerroin viittaa siihen, millainen kokonaisvaikutus kaasulla on ilmaston lämpenemiseen, joka johtuu yhden ko. kaasuyksikön päästöistä suhteessa yhteen vertailukaasun, CO<sub>2</sub>, yksikköön.

### Esimerkkejä:

GWP CO<sub>2</sub> -ekvivalentit (määritelmän mukaan)

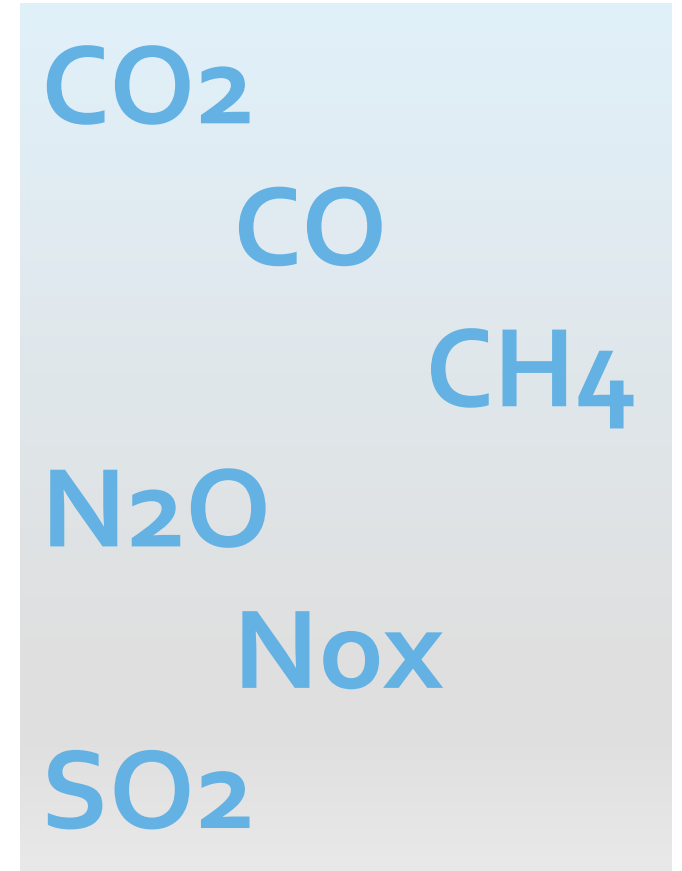
1

Metaani (CH<sub>4</sub>) :

28–36

Dityppioksi (N<sub>2</sub>O) :

265–298.



# Kasvihuonekaasupäästöjen arviointimenetelmiä



LowTEMP2.0

Kiinteistä polttolähteistä peräisin olevien kasvihuonekaasupäästöjen arvioimiseen on kaksi pääasiallista menetelmää:

- Suora mittaus
- Syötetyn polttoaineen analysointi

CO<sub>2</sub> -päästöjen suora mittaus voidaan suorittaa **jatkuvan päästöseurantajärjestelmän avulla.**

Polttoaine-analyysimenetelmässä CO<sub>2</sub> -päästöjen laskemiseen kuuluu poltetun polttoaineen hiilipitoisuuden määrittäminen;

**Päästökerroin** määrittellään tietyn kasvihuonekaasun keskimääräiseksi päästöasteeksi tietylle energialähteelle suhteessa toimintayksiköihin (tyypillisesti poltettujen polttoaineiden määrät tai käytetyn sähkön kWh jne.).





# Eri polttoaineiden kasvihuonekaasupäästöt

On 3 peruslaskukaavaa, joilla kuvata erityyppisten polttoaineiden CO<sub>2</sub>-päästöjä:

$$\text{Kasvihuonekaasupäästöt} = \text{polttoaine} * EF_1 \quad (1)$$

*Kasvihuonekaasupäästöt* = CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> tai N<sub>2</sub>O -päästöjen määrä,

*polttoaine* = poltetun polttoaineen massa tai tilavuus,

*EF<sub>1</sub>* = CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> tai N<sub>2</sub>O -päästökerroin massan tai tilavuuden yksikölle,

$$\text{Kasvihuonekaasupäästöt} = \text{Polttoaine} * HHV * EF_2 \quad (2)$$

EPA Greenhouse Gas Inventory Guidance, *Direct Emissions from Stationary Combustion Sources*, 2016;

*HHV* = polttoaineen lämpöpitoisuus (korkeampi lämmitysarvo, higher heating value), energiayksikköinä polttoaineen massaa tai tilavuutta kohti;

*EF<sub>2</sub>* = CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, tai N<sub>2</sub>O -päästökerroin energian yksikölle

$$\text{Kasvihuonekaasupäästöt} = \text{Polttoaine} * CC * 44/12 \quad (3)$$

*CC* = polttoaineen hiilipitoisuus hiili-massayksikköinä polttoaineen massaa tai tilavuutta kohti,

44/12 = hiilidioksidin ja hiilen molekyylipainojen suhde.

# Primäärienergia ja primäärienergiakerroin



LowTEMP2.0

## Primäärienergia (PE)

tarkoittaa uusiutuvista ja uusiutumattomista lähteistä peräisin olevaa energiaa, jota ei ole jalostettu tai muunnettu.

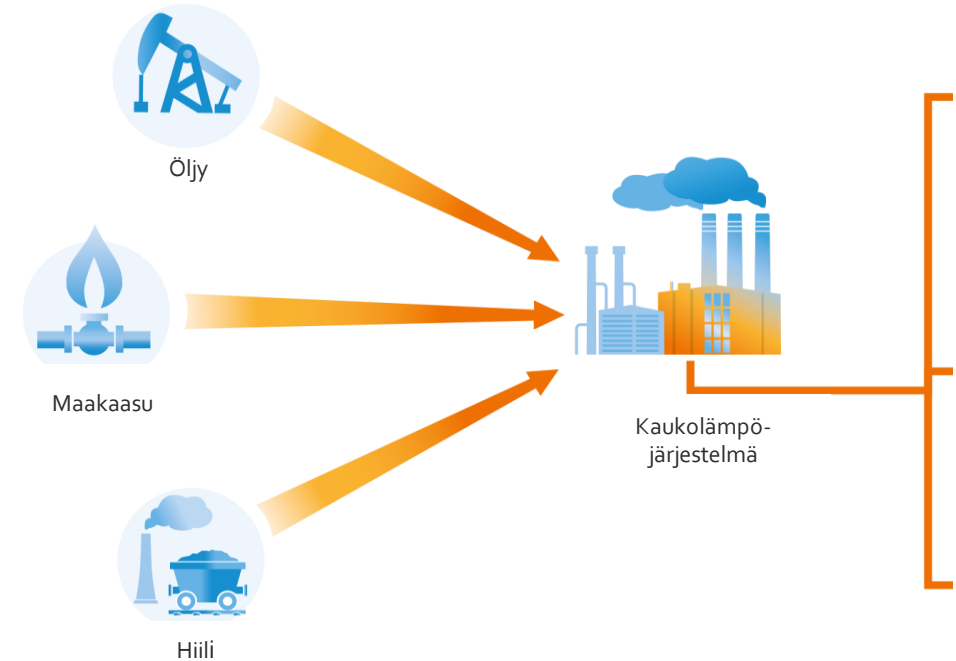
Primäärienergia voi olla fossiilista tai uusiutuvaa tai molempien yhdistelmä. Se voidaan muuntaa ja toimittaa loppukäyttäjälle loppuenergiana, esim. sähköinä tai lämpönä. Primäärienergian kulutus sisältää yleensä toimitusketjun alkupään toimintoja ja prosesseja (eli käytettävien polttoaineiden louhinnan, kuljetuksen ja valmistelun).

## Primäärienergiakerroin (Primary Energy factor, PEF)

yhdistää primääri- ja loppuenergian – kertoo, kuinka paljon primäärienergiaa käytetään sähkövirran yksikön tai hyödynnettävissä olevan lämpöenergian yksikön tuottamiseen

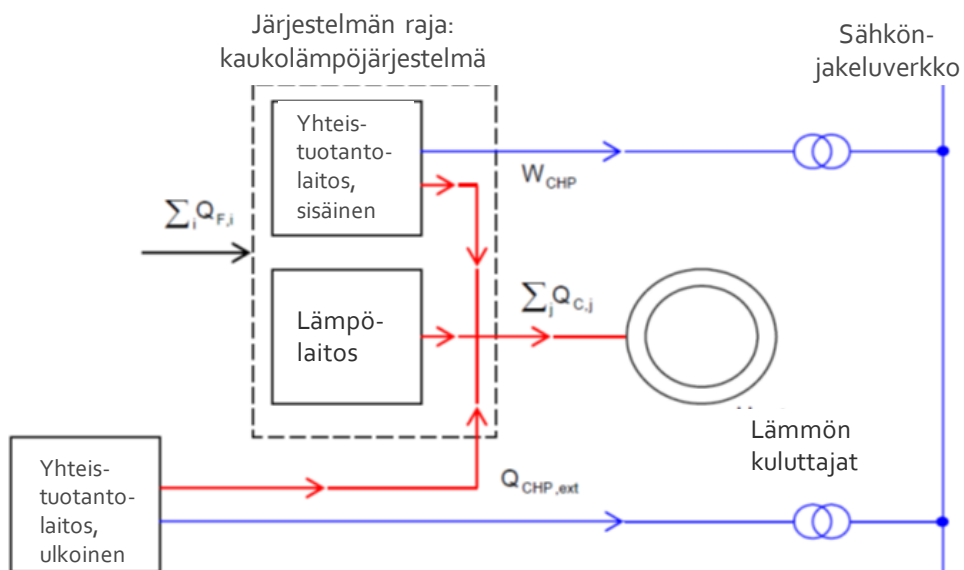
**Primäärienergia \* järjestelmän hyötysuhde = loppuenergia**

**Primäärienergiakerroin = primäärienergia/loppuenergialla**



Kuva 3: Perinteinen kaukolämmitys. Lähde: Alkuperäinen Peter Abrahamssonin, AliasDesign, tekemä LowTEMP-kuvitus Sustainable Business Hubille

# Kaukolämpöjärjestelmän primäärienergiakerroin $f_{P,DH}$



Kuva 4. Kaukolämpöverkon kaavio. Lähde: A. Wallisch, [1]

$$f_{P,DH} = \frac{\sum_i Q_{F,i} \cdot f_{P,F,i} - W_{CHP} \cdot f_{P,elt}}{\sum_j Q_{C,j}}$$

$Q_{F,i}$  - polttoaineen (loppuenergian) syöttö lämpölaitoksiin ja tarkasteltavan järjestelmän yhteistuotantolaitoksiin tarkastelujakson aikana (yleensä yksi vuosi) - polttoaineen toimituspaikassa mitattuna;

$W_{CHP}$  - tarkasteltavan järjestelmän yhteistuotantolaitosten sähköntuotanto;

$Q_{C,i}$  - lämpöenergian kulutus mitattuna asiakkaan lämmönjakokeskusten ensisijaisella puolella *tarkastelujakson aikana (yleensä yksi vuosi)*;

$Q_{CHP,ext}$  - lämmönjakelu tarkasteltavaan järjestelmään ulkoisilta yhteistuotantolaitoksilta

$f_{P,F,i}$  - polttoaineen primäärienergia-/resurssikerroin (loppuenergian kulutus);

$f_{P,elt}$  - sähkötehon primäärienergia-/resurssikerroin

# Kaukolämpöjärjestelmän tuottamat CO<sub>2</sub> –päästöt



LowTEMP2.0

$$K_{dh} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{F(i)} * K_{F,tot(i)} - \sum_{i=1}^n \frac{W_{chp(i)} * K_{F,chp(i)}}{\eta_{el,(i)}}}{\sum_{j=1}^n Q_{C(j)}}$$

$K_{dh}$  – hiilidioksidipäästökerroin rakennukseen toimitetulle lämmölle kg:issa CO<sub>2</sub>/MWh,

$Q_{F(i)}$  – polttoaineen "i" nettoenergiasisältö, joka toimitetaan porttiin, missä se lopulta muutetaan lämmöksi [MWh] (pienemmällä lämmitysarvolla),,

$K_{F,tot(i)}$  – hiilidioksidipäästökerroin polttoaineelle i, kg:ssa CO<sub>2</sub>/MWh<sub>polttoaine</sub>

$W_{chp(i)}$  – yhteistuotantolaitoksessa polttoaineesta "i" tuotettu nettosähkö (tuotettu sähkö miinus lisäsähkön käyttö),

$K_{F, chp(i)}$  – CHP -laitoksessa tuotetun sähkön kasvihuonekaasupäästöjen kokonaiskerroin, kg CO<sub>2</sub>/MWh,

$\eta_{el,(i)}$  –  $\eta_{el, (i)}$  - perinteisen lämpövoimalaitoksen sähköntuotannon hyötysuhteen oletuskondensaatio (electrical efficiency condensing) asetettu 40%: iin,

$Q_{C(j)}$  – järjestelmän rajalla sijaitsevaan rakennukseen "j" toimitettu lämpö.

# CO<sub>2</sub> –päästöjen jakaminen CHP-laitosten tuottamaan sähköön ja lämpöön



LowTEMP2.0

Hiilidioksidipäästöjen jakaminen yhteistuotannon energiantuotannolle on tarpeen erityisesti silloin, kun tuotettua lämpöä ja sähköä käyttävät eri asiakkaat ja kun on tehtävä vertailua muihin lämmöntuotantotapoihin.

Lämpöä ja sähköä samanaikaisesti tuottavien yhteistuotantolaitoksien kohdalla on vaikeaa/kiistanalaista määrittellä, kuinka primäärienergian kulutus, päästöt tai käyttökustannukset jaetaan tarkasti kummallekaan näistä tuotoksista.



Kuva 5. 50 kW yhteistuotantoyksikkö; lähde: A.Cenian, IMP PAN

# CO<sub>2</sub> –päästöjen jakomenetelmät



LowTEMP2.0

LowTemp –hankkeessa arvioitiin seuraavia (EU-alueen suosituimpia) menetelmiä:

Energiamenetelmä,

Hyödynjakomenetelmä

Bonusmenetelmä (EN15316-4-5)

Eksergia-analyysi,

200%:n menetelmä,

Pas 2050,

Dresden-menetelmä.

On myös muita menetelmiä:

Työmenetelmä

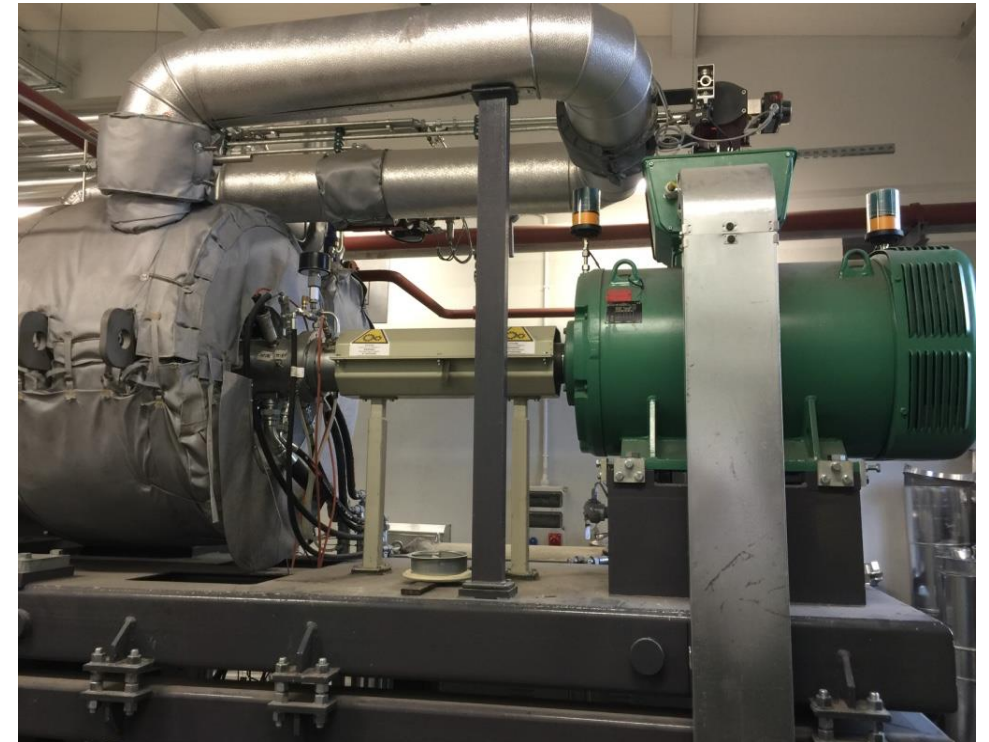
Suomalainen menetelmä

Kaikki säästöt jaetaan sähköntuotannolle

Kaikki säästöt jaetaan lämmöntuotannolle

50%-50% -menetelmä: hyöty jaetaan tasaisesti lämmön- ja sähköntuotannon kesken

Lämmön ja sähkön primäärienergiapitoisuus.



Kuva 6. 120 kW ORC CHO turbiini; lähde: A. Cenian, IMP PAN

120 kW ORC CHP turbine

 **Interreg**  
Baltic Sea Region



EUROPEAN  
REGIONAL  
DEVELOPMENT  
FUND

# Energiamenetelmä

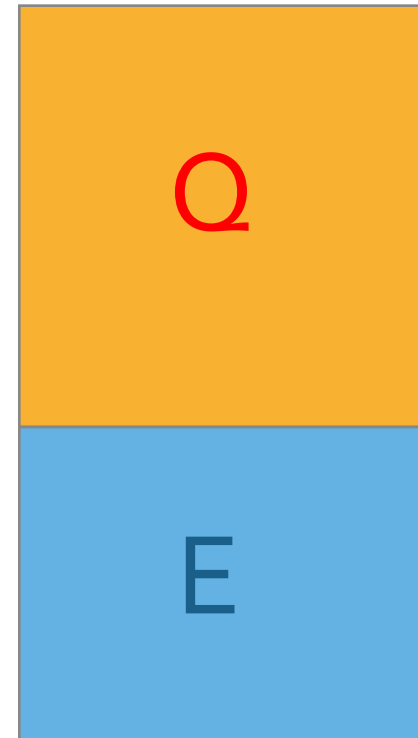


LowTEMP2.0

**Energiamenetelmä** - polttoaineen syöttö tai hiilidioksidipäästöt jaetaan tuotetulle lämmölle ja sähkölle tuotteiden energiasisällön perusteella. Tämän menetelmän etuna on, että se on hyvin yksinkertainen ja läpinäkyvä. Haittapuolena on, että tuotteiden energiasisältö ei erottele energiatuotteita eli ei ota huomioon niiden ominaisuuksia (sähkö voidaan muuntaa lämmöksi helpommin kuin lämpö sähköksi).

**CO<sub>2</sub> -päästöjen jakokerroin  
lämmöntuotannolle:**

$$f_Q = Q / (Q + E)$$



Q:lle jaetut  
CO<sub>2</sub> -päästöt

E:lle jaetut  
CO<sub>2</sub> -päästöt

Tuotettu lämpö ja sähkö

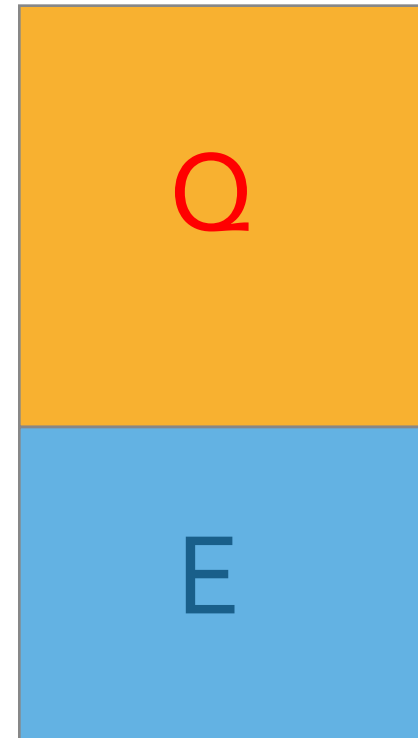
# Hyödynjakomenetelmä



LowTEMP2.0

**Hyödynjakomenetelmän**, joka tunnetaan paikoin myös nimellä Vaihtoehtoisen tuotannon menetelmä (Alternative Generation Method) ja Hyötysuhde-menetelmä (Efficiency Method), on kehittänyt Palveleva kaukolämpö FinDHC -yhdistys. Menetelmä jakaa hiilidioksidipäästöt ja -resurssit lämmön ja sähkön tuotantoon suhteessa polttoaineeseen, joka tarvitaan, että saadaan tuotettua sama määrä lämpöä tai sähköä eri laitoksissa. Vaihtoehtoinen tuotanto kahdessa erillisessä laitoksessa riippuu niiden  $\eta_{\text{lämmön}}$  ja  $\eta_{\text{sähkön}}$  -tuotannon hyötysuhteista.

$$f_Q = (Q/\eta_{\text{vaihtoeht.lämpö}}) / (Q/\eta_{\text{vaihtoeht.lämpö}} + E/\eta_{\text{vaihtoeht.sähkö}})$$



Tuotettu lämpö ja sähkö

Q:lle jaetut  
CO<sub>2</sub> -päästöt  
 $f_Q = (Q/\eta_{\text{alt.heat}}) / (Q/\eta_{\text{alt.heat}} + E/\eta_{\text{alt.elec}})$

Q:lle jaetut  
CO<sub>2</sub> -päästöt  
 $f_E = 1 - f_Q$

# Bonusmenetelmä



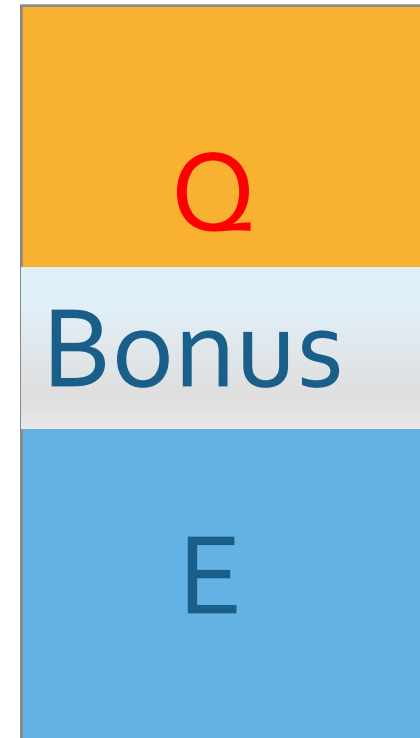
LowTEMP2.0

**Bonusmenetelmää** (Power Bonus Method, sama kuin EN15316-4-5) käytetään usein hiilidioksidipäästöjen jakamiseen lämmön ja sähkön tuotannon välillä Euroopan unionin alueella.

Tässä menetelmässä lämpö on päätuote, kun taas prosessin aikana tuotettu sähkö nähdään bonuksena.

Primäärienergia jaetaan ensin CHP-laitoksella tuotetulle sähkölle, joka vähennetään myöhemmin primäärienergian kulutuksesta.

$$f_Q = (E_{P,in} - W_{CHP} f_{P,elt}) / (Q_{del} + E_{del})$$



Q:lle jaetut  
CO<sub>2</sub> -päästöt

$$\text{Bonus} = W_{CHP} f_{P,elt}$$

Q:lle jaetut  
CO<sub>2</sub> -päästöt

Tuotettu lämpö ja sähkö

**Eksergia-analyysi** (physically correct -menetelmä) - polttoaineen käyttö tai hiilidioksidipäästöt jaetaan tuotetulle lämmölle ja sähkölle tuotteiden eksergiatason perusteella. Tuotteen eksergiataso on mittari, joka kertoo energian maksimaalisen työhön kykenevän määrän. Energia- ja eksergiatason välistä suhdetta kutsutaan laatutekijäksi.

Termodynaamiselta kannalta yhteistuotannon aikana tuotettua sähköä arvioidaan eksergiakertoimella 1, joten sähköenergia määritellään  $Ex_E = E$ . Tämä tarkoittaa, että 100% sähköstä voidaan muuntaa mihin tahansa energiamuotoon. Lämpö voidaan muuntaa sähköksi tai muuksi energiaksi vain jossain määrin, joten lämmön eksergia voidaan laskea

$$Ex_Q = (1 - T_o/T) Q$$

jossa  $T_o$  – on keskimääräinen ympäristön lämpötila lämmitysjakson aikana ja  $T$  on kaukolämmön termodynaaminen keskilämpötila

$$T = (T_s - T_r) / (T_s/T_r):ssa$$

$$f_Q = Ex_Q / (Ex_Q + Ex_E)$$

# 200 prosentin menetelmä

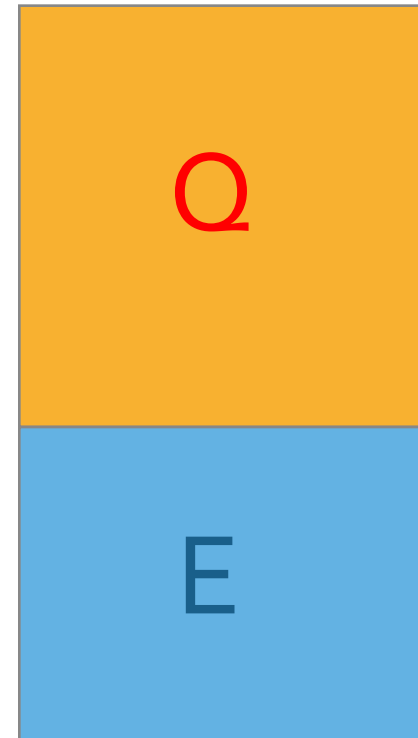


LowTEMP2.0

**200% menetelmä** olettaa, että lämmöntuotannolla on 200% hyötysuhde. Se tarkoittaa, että yhden lämpöyksikön tuottamiseksi on käytettävä 0,5 yksikköä polttoainetta ja toinen 0,5 yksikkö otetaan talteen turbiinin lauhduttimesta. Näin puolet lämmöntuotantoon liittyvistä päästöistä voidaan yhdistää sähköntuotantoon.

Tätä Tanskan energiaviraston käyttöön ottamaa menetelmää voidaan käyttää yhteistuotannon polttoainekustannusten jakamisessa lämmöntuotannolle energia- ja päästötilastoissa.

$$f_Q = Q / 2 \text{ Polttoaine}_{in}$$



Tuotettu lämpö ja sähkö

Q Q/2:lle jaetut  
CO<sub>2</sub>-päästöt

Q:lle jaetut  
CO<sub>2</sub>-päästöt

# PAS 2050 menetelmä

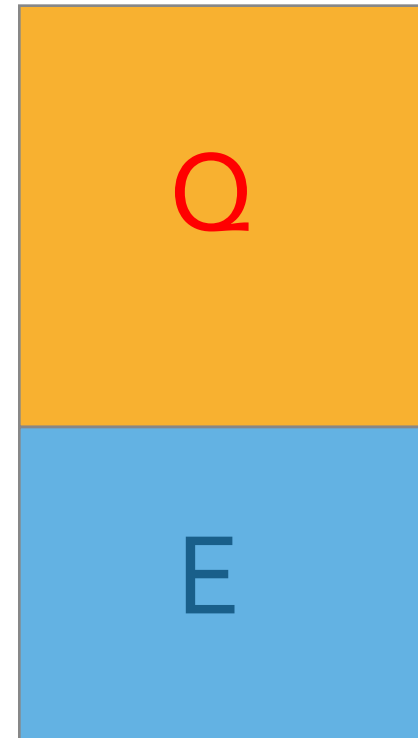


LowTEMP2.0

**PAS 2050** -menetelmä on brittiläinen standardi, joka selittää, miten tavaroiden ja palvelujen tuotannosta syntyneet kasvihuonekaasupäästöt lasketaan. Yhteistuotantojärjestelmän päästöjen jakamisessa tuotetulle lämmölle ja sähkölle käytetään erityistä "intensiteettikerrointa" 'n', joka määrittää polttoaineen palamisen aikana vapautuvat päästöt.

$$f_Q = Q / (Q + n E)$$

Päästöjen jakaminen lämmölle ja sähkölle perustuu lämmön ja sähkön prosessikohtaiseen suhteeseen kussakin CHP-järjestelmässä. Kattilapohjaisille CHP-järjestelmille (hiili, puu, kiinteä polttoaine) kerroin  $n$  on 2,5, ja turbiinipohjaisille CHP-järjestelmille (maakaasu, kaatopaikkakaasu)  $n = 2,0$ .



Q:lle jaetut  
CO<sub>2</sub> -päästöt  
 $f_Q = Q / (Q + n E)$

Q:lle jaetut  
CO<sub>2</sub> -päästöt  
 $f_E = 1 - f_Q$

Tuotettu lämpö ja sähkö

# Dresden-menetelmä



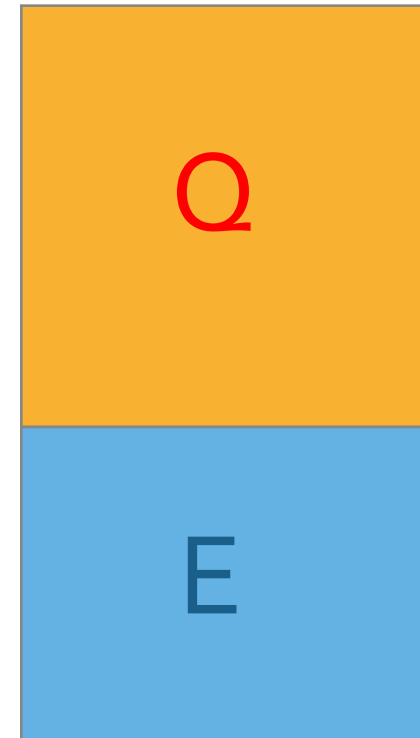
LowTEMP2.0

**Dresden-menetelmä** perustuu eksergian arviointiin. Voimalaitoksissa kaikki primäärienergia liittyy sähkön tuotantoon. Samaan aikaan CHP-laitoksissa yksi osa primäärienergiasta käytetään lämpöenergian tuotantoon. *Dresden-menetelmässä* kuvataan, miten lämmön erottamisesta koituva sähkön menetys (vesihöyryn tiivistyminen) CHP-laitoksessa arvioidaan.

$$\Delta E = Q \eta_c \nu_p,$$

missä  $\eta_c$  on Carnot-hyötysuhde ja  $\nu_p$  on prosessin laadun aste.

$$f_Q = \Delta E / E$$



Q:lle jaetut  
CO<sub>2</sub>-päästöt  
 $f_Q = \Delta E / E$

Q:lle jaetut  
CO<sub>2</sub>-päästöt  
 $f_E = 1 - f_Q$

Tuotettu lämpö ja sähkö

# Hiilidioksidin jakokertoimet lämmöntuotannolle



LowTEMP2.0

Jakokerroin sähkön ja lämmön yhteistuotantojärjestelmälle, jonka vuosittainen lämpökuorma on 27 GWh ja suurin lämmöntarve 14 MW

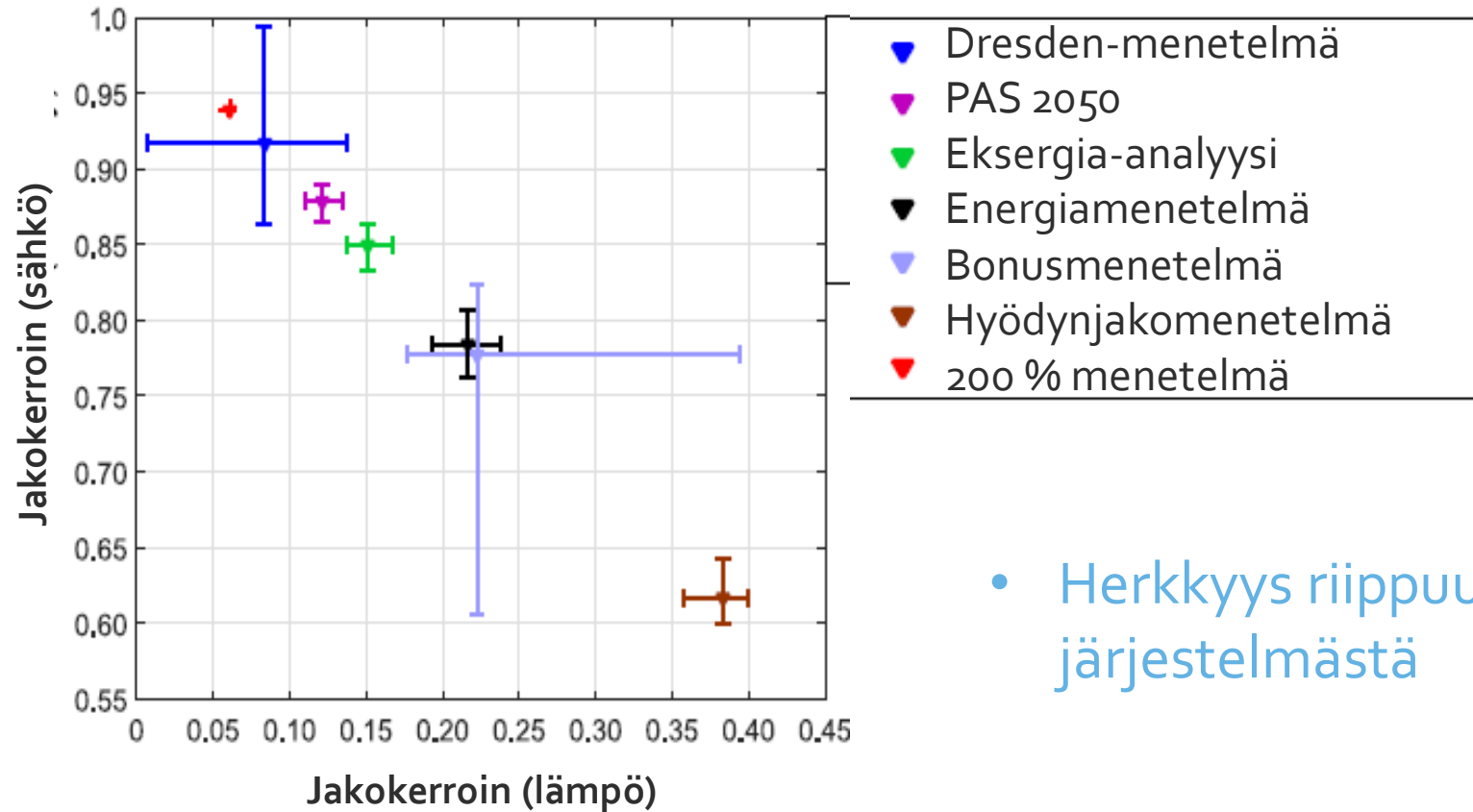
Menetelmä	Lämmöntuotannon jakokerroin, $f_Q$	$f_Q$ -arvo esim.
Energiamenetelmä	$Q / (Q + E)$	0,2162
Hyödynjakomenetelmä	$f_Q = (Q/\eta_{\text{vaihtoeht.lämpö}}) / (Q/\eta_{\text{vaihtoeht.lämpö}} + E/\eta_{\text{vaihtoeht.sähkö}})$	0,3830
Bonusmenetelmä	$(E_{P,in} - W_{CHP} f_{P,elt}) / (Q_{del} + E_{del})$	0,2226
Eksergia-analyysi	$EX_Q / (EX_Q + EX_E)$	0,1507
200 % menetelmä	$Q / 2 \text{ Polttoaine}_{in}$	0,0608
PAS 2050	$Q / (Q + n E)$	0,1212
Dresden-menetelmä	$\Delta E / E$	0,0834

Läde: T. Tereshenko, [2]

# CO<sub>2</sub> -päästöjen jakomenetelmien herkkyys



LowTEMP2.0



- Herkkyys riippuu käytetystä järjestelmästä

Kuva 7. CO<sub>2</sub> -päästöjen jakomenetelmien herkkyys; lähde: T.Tereshenko et al.[2]

# LTDH-hankkeen arvio CO<sub>2</sub> –päästöjen jakomenetelmistä



LowTEMP2.0

LowTEMP-hankkeessa arvioitiin **hiilidioksidipäästöjen laskentamenetelmiä** käyttämällä monikriteeristä päätös-analyysiä ja yhdeksää kriteeriä, jotka kuuluvat neljään ryhmään: suosio (menetelmän yksinkertaisuus, soveltamisala ja se, että menetelmä on tunnustettu ja todistettu), termodynaamiset näkökohdat (sopiva CO<sub>2</sub>-päästöjen laskemiseen, termodynaaminen uskottavuus, yhteistuotannon tehokkuuden sisällyttäminen, eksergia), tietojen saatavuus ja menetelmän herkkyyks.

Kriteerejä ja myöhempiä menetelmiä ovat arvioineet 7 Itämeren alueen LowTEMP -hankkeen kumppania: AGFW, ZEBAU, BTU, RTU, IMP PAN, Thermopolis ja HEM, viidestä Itämeren alueen maasta (Saksa, Suomi, Latvia, Puola ja Ruotsi).

## MCDA-kriteerit

- Menetelmän yksinkertaisuus,
- Soveltamisala,
- Tunnustettu ja todistettu men.
- Sopiva CO<sub>2</sub> –päästöjen laskemiseen,
- Termodynaaminen luotettavuus,
- CHP-laitoksen tehokkuuden sisällyttäminen,
- Eksergia
- Tietojen saatavuus
- Menetelmän herkkyyks.

# LTDH –hankkeen arvio hiilidioksidipäästöjen jakomenetelmistä



LowTEMP2.0

Taulukko 4.1. Yhteistyökumppanien ja heidän ryhmittymiensä ehdottama painotus asteikolla 1-5 (aritmeettinen keskiarvo – ekv. (4.3))

LowTemp-kumppani	Menetelmän yksinkertaisuus	Soveltamisala	Menetelmän tunnistettavuus ja todistettavuus	Sopiva CO <sub>2</sub> -päästöjen jakamiseen	Termodynaaminen uskottavuus	CHP:n tehokkuuden sisällyttäminen	Eksergia	Tietojen saatavuus	Herkkyys
AGFW	1	5	2	5	5	5	4	2	4
ZEBAU	1	5	2	5	5	5	3	2	3
BTU	2	3	3	5	5	4	4	3	4
RTU	3	3	3	3	3	3	3	3	3
IMP PAN	3	3	4	3	5	3	4	4	3
Thermopolis	4	4	4	4	3	2	1	4	4
HEM	5	4	3	5	3	3	2	5	4
Keskiarvo	2.714	3.857	3.000	4.143	4.143	3.571	3.000	3.286	3.571

Omat monikriteeriseen päätöksentekoaanlyysiin perustuvat laskelmat

# LTDH –hankkeen arvio hiilidioksidipäästöjen jakomenetelmistä

Taulukko 4.2 Valitun menetelmän pisteet MCDA-analyysillä laskettuna

Menetelmä	AGFW	ZEBAU	BTU	RTU	IMP PAN	Thermopolis	HEM	SUM	Sija	Hajonta
Energiamenetelmä	52,000	52,000	49,857	52,286	53,143	<b>59.143</b>	53,143	<b>371,57</b>	<b>5</b>	<b>5,0 %</b>
Hyödynjakomenetelmä	43,286	53,286	46,429	52,714	45,857	36,429	40,571	<b>318,57</b>	<b>7</b>	<b>12,5 %</b>
Bonussähkömenetelmä	48,286	48,286	41,286	52,143	<b>55,429</b>	44,571	39.857	<b>329,86</b>	<b>6</b>	<b>11,1 %</b>
<b>Eksergiamenetelmä</b>	<b>71,000</b>	<b>71,000</b>	<b>70,714</b>	<b>60,714</b>	<b>60,571</b>	<b>59,429</b>	<b>57,000</b>	<b>450,43</b>	<b>1</b>	<b>9,0 %</b>
<b>200 % -menetelmä</b>	<b>60,286</b>	56,857	<b>59,143</b>	56,143	53,143	44,571	<b>66,000</b>	<b>396,14</b>	<b>3</b>	<b>10,9 %</b>
<b>PAS 2050</b>	57,571	<b>57,000</b>	<b>59,429</b>	<b>63,857</b>	<b>57,286</b>	44,571	<b>58,571</b>	<b>398,29</b>	<b>2</b>	<b>9,6 %</b>
Dresden-menetelmä	<b>63,857</b>	<b>63,857</b>	45,714	<b>60,143</b>	46,286	44,571	50,429	<b>374,86</b>	<b>4</b>	<b>15,1 %</b>
	<b>15,5 %</b>	<b>12,4 %</b>	<b>17,9 %</b>	<b>7,7 %</b>	<b>9,5 %</b>	<b>16,5 %</b>	<b>16,9 %</b>			

# LowTempin suositukset



LowTEMP2.0

Yhteistyökumppanit ovat todenneet **Eksergia (Carnot) -menetelmän** parhaaksi käytettävissä olevaksi hiilidioksidipäästöjen jakomenetelmäksi (yli 450 pistettä) ainakin tarkasteltujen menetelmien joukossa. Kahta muuta menetelmää: **PAS 2050** ja **200%**: ta olisi pidettävä mahdollisina vaihtoehtoina – ne saivat yhtäläiset pisteet eli lähes 400 pistettä.

Termodynamiikan kannalta sopivin menetelmä – **eksergiamenetelmä** – huomioi laajemmin energian laadun ja osoittaa fyysisen ylärajan hiilidioksidipäästöjen jakamiseen sivutuotteena syntyneelle lämmölle. Eksergiamenetelmästä on olemassa muunnelma, Dresden-menetelmä, mutta sitä varten tarvitaan enemmän dataa ja laajemmat laskelmat.

Vähiten hyödyllisiksi vaihtoehtoiksi hankekumppanit ovat todenneet **hyödynjakomenetelmän** ja **Bonusmenetelmän**.

- [1] Wallisch A; [van Stralen C](#); Hellmers C; Piel E; Ernst H; Spadoni L; Blechingberg M; Wirgentius N, ECOHEATCOOL, Work package 3, Guidelines for assessing, the efficiency of district heating and district cooling systems, 2006 <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/20758197>
- [2] Tereshenko T, Nord N, Uncertainty of the allocation factors of heat and electricity production of combined cycle power plant, Applied Thermal Engineering 2015; 76:410-422. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.11.019>
- [3] IPCC, Climate Change 2007: Synthesis Report, Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge. (2007). See also [https://www.leg.mn.gov/docs/2015/other/150681/PFEISref\\_2/Solomon%20et%20al.%202007.pdf](https://www.leg.mn.gov/docs/2015/other/150681/PFEISref_2/Solomon%20et%20al.%202007.pdf)
- [4] EPA, Greenhouse Gas Emissions, <https://www.epa.gov/ghgemissions/>
- [5] WRI/WBCSD, Allocation of GHG Emissions from a Combined Heat and Power (CHP) Plant Guide to calculation worksheets (September 2006) v1.0 A WRI/WBCSD GHG Protocol Initiative calculation tool; [https://indiaghgp.org/sites/default/files/CHP\\_guidance\\_v1.0\\_4.pdf](https://indiaghgp.org/sites/default/files/CHP_guidance_v1.0_4.pdf)
- [6] Harmelink M, Bosselaar L, Assessment of CO<sub>2</sub> emissions of electricity and heat used at industrial plants, ECEEE, Industrial Summer Study, June 4, 2014 [https://www.eceee.org/library/conference\\_proceedings/eceee\\_Industrial\\_Summer\\_Study/2014/3-matching-policies-and-drivers-policies-and-directives-to-drive-industrial-efficiency/assessment-of-co2-emissions-of-electricity-and-heat-used-at-industrial-plants/](https://www.eceee.org/library/conference_proceedings/eceee_Industrial_Summer_Study/2014/3-matching-policies-and-drivers-policies-and-directives-to-drive-industrial-efficiency/assessment-of-co2-emissions-of-electricity-and-heat-used-at-industrial-plants/)
- [7] Olsson L, [Wetterlund E](#), [Söderström M](#), Assessing the climate impact of district heating systems with combined heat and power production and industrial excess heat; Resources, Conservation and Recycling, 2015; 86:31-39. DOI:[10.1016/j.resconrec.2015.01.006](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.01.006)
- [8] Esser A, Sensfuss F, Evaluation of primary energy factor calculation options for electricity, Final Report, Multiple Framework Service Contract ENER/C3/2013-484. [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/final\\_report\\_pef\\_eed.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/final_report_pef_eed.pdf)
- [9] Rosen MA, Allocating carbon dioxide emissions from cogeneration systems: descriptions of selected output-based methods, Journal of Cleaner Production 2008; 16:171-177. DOI : [10.1016/j.jclepro.2006.08.025](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.08.025)
- [10] Dittmann A, Sander T, Robbi S, Allocation of CO<sub>2</sub>-Emissions to Power and Heat from CHP-Plants, Technische Universität Dresden, Dresden. [https://tu-dresden.de/ing/maschinenwesen/iet/gewv/ressourcen/dateien/veroefftlg/alloc\\_co2?lang=en](https://tu-dresden.de/ing/maschinenwesen/iet/gewv/ressourcen/dateien/veroefftlg/alloc_co2?lang=en)

## Polish Academy of Sciences

**Adam Cenia**  
Professor

ul. Fiszera 14  
80-231 Gdańsk  
Poland

E-mail: [cenian@imp.gda.pl](mailto:cenian@imp.gda.pl)

Tel: +48 58 699 52 76

[www.imp.gda.pl](http://www.imp.gda.pl)

[www.lowtemp.eu](http://www.lowtemp.eu)



**Jarosław Losiński**

[jlosinski@imp.gda.pl](mailto:jlosinski@imp.gda.pl)