

Sähkön ja lämmön yhteistuotanto (CHP)

Lämmön tuotanto ja sovellukset kaukolämpöjärjestelmissä

Lisää etunimi, sukunimi, ammattinimike, organisaatio, tapahtuman nimi jne.



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

Pilottienergiastrategia – esimerkkejä

Pilottitestaustoimet

CO₂-päästölaskenta

Elinkaariarviointilaskenta

Taloudelliset näkökohdat

LTDH-hankkeiden elinkaarikustannukset

Taloudellinen tehokkuus ja rahoitusvajheet

Urakointi- ja rahoitusmallit

Liiketoimintamallit ja uudet rahoitusrakenteet

Tekniset Näkökohdat

Putkistojärjestelmät

Sähkön ja lämmön yhteistuotanto (CHP)

Suuren kokoluokan aurinkoenergiajärjestelmät

Hukka- ja ylijäämälämpö

Suuren kokoluokan lämpöpumput

Power-2-Heat and Power-2-X -tekniikat

Lämpö-, aurinkoenergia- ja vaihemuutosmateriaalivarastot

Lämpöpumppujärjestelmät

Matalan lämpötilan järjestelmät ja lattialämmitys

Talousveden tuotanto

Ilmastointijärjestelmät

Hyvä käytäntö

Hyvä käytäntö I

Hyvä käytäntö II

- Johdanto Sähkön ja lämmön yhteistuotantoon (CHP)
- Sähkön ja lämmön yhteistuotannon perus-toimintaperiaatteet
- Sähkön ja lämmön yhteistuotantoyksiköt
- Sähkön ja lämmön yhteistuotantotekniikan tulevaisuuden näkymia



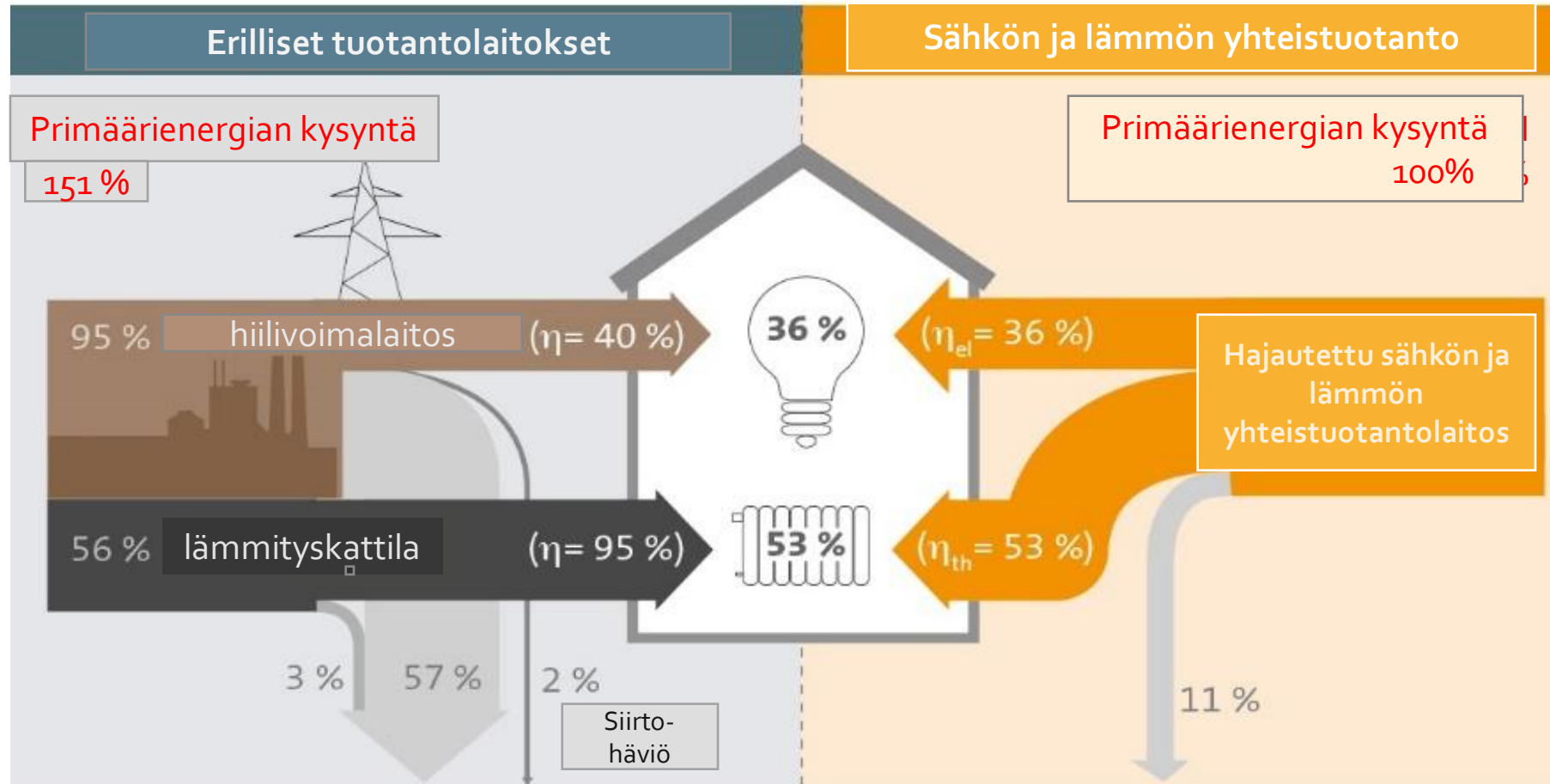
1. Johdanto sähkön ja lämmön yhteistuotantoon (CHP)

Johdanto sähkön ja lämmön yhteistuotantoon (CHP)

„Se tuottaa **lämpöä** ja **sähköä**“ tai
„Se tuottaa **sähköä** ja **lämpöä**“

- Sähkön ja lämmön yhtäaikainen tuottaminen lisää energiatehokkuutta ja vähentää CO₂-päästöjä
- CHP-tekniikka luo useita mahdollisuuksia vähentää riippuvuutta fossiilisista polttoaineista
- Se ei ole ristiriidassa tavoitteen kanssa integroida uusiutuvia energiamuotoja lämmitysalalle
- Sähkön ja lämmön yhteistuotantoa voidaan toteuttaa energialähteestä riippumatta
- Primäärienergiensäästöpotentiaali on jopa 30% – ja lämmitysalalla jopa 70%

Johdanto sähkön ja lämmön yhteistuotantoon (CHP)



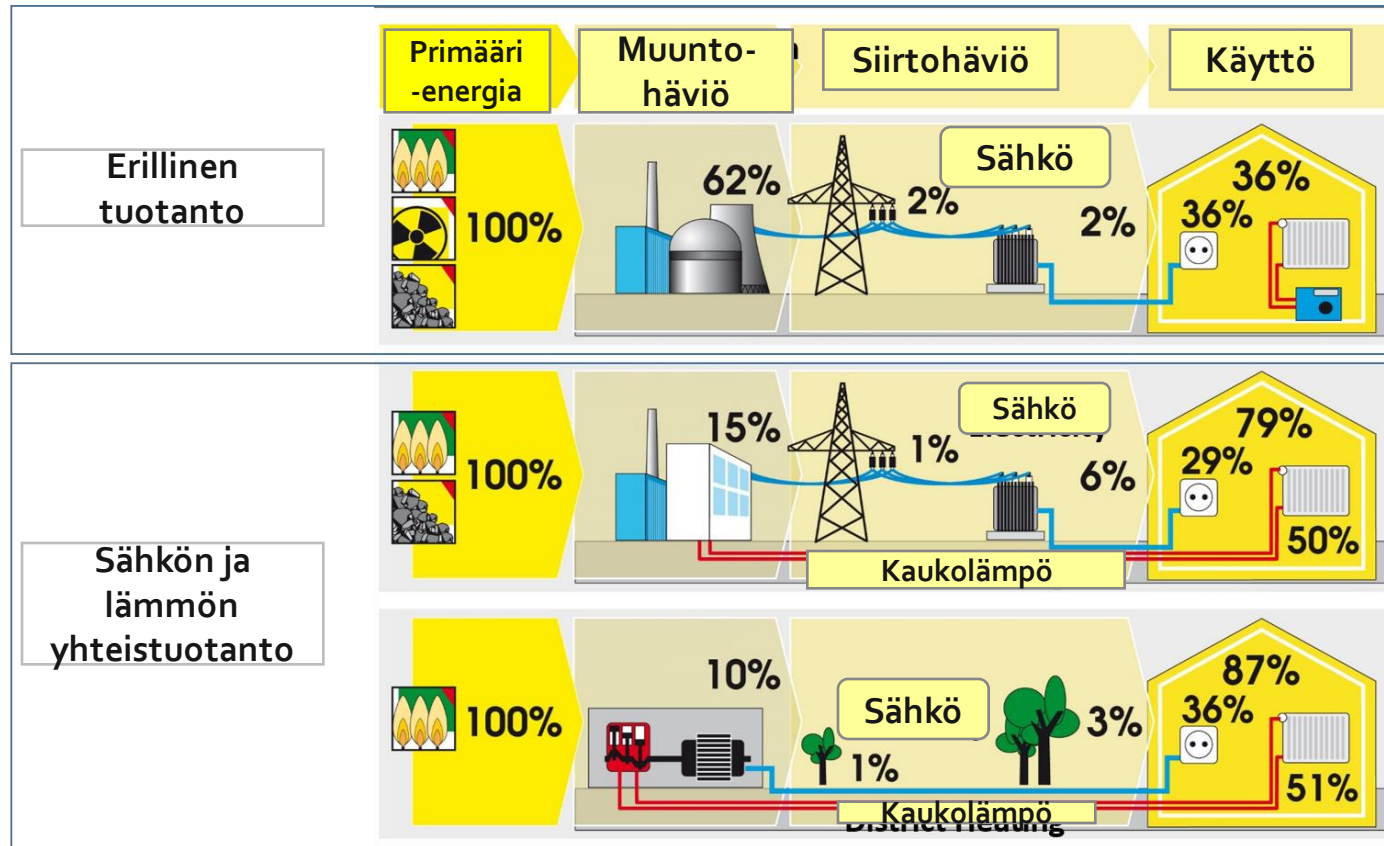
Kuva 1: CHP:n hyöty-Vertailu perinteisen energiajakelujärjestelmän ja CHP-jakelujärjestelmän välillä primäärienergiankulutuksessa (Lähde: ASUE2o; käännetty [1])



LowTEMP2.0

2. Sähkön ja lämmön yhteistuotannon (CHP) perus- toimintaperiaatteet

Perus-toimintaperiaatteet

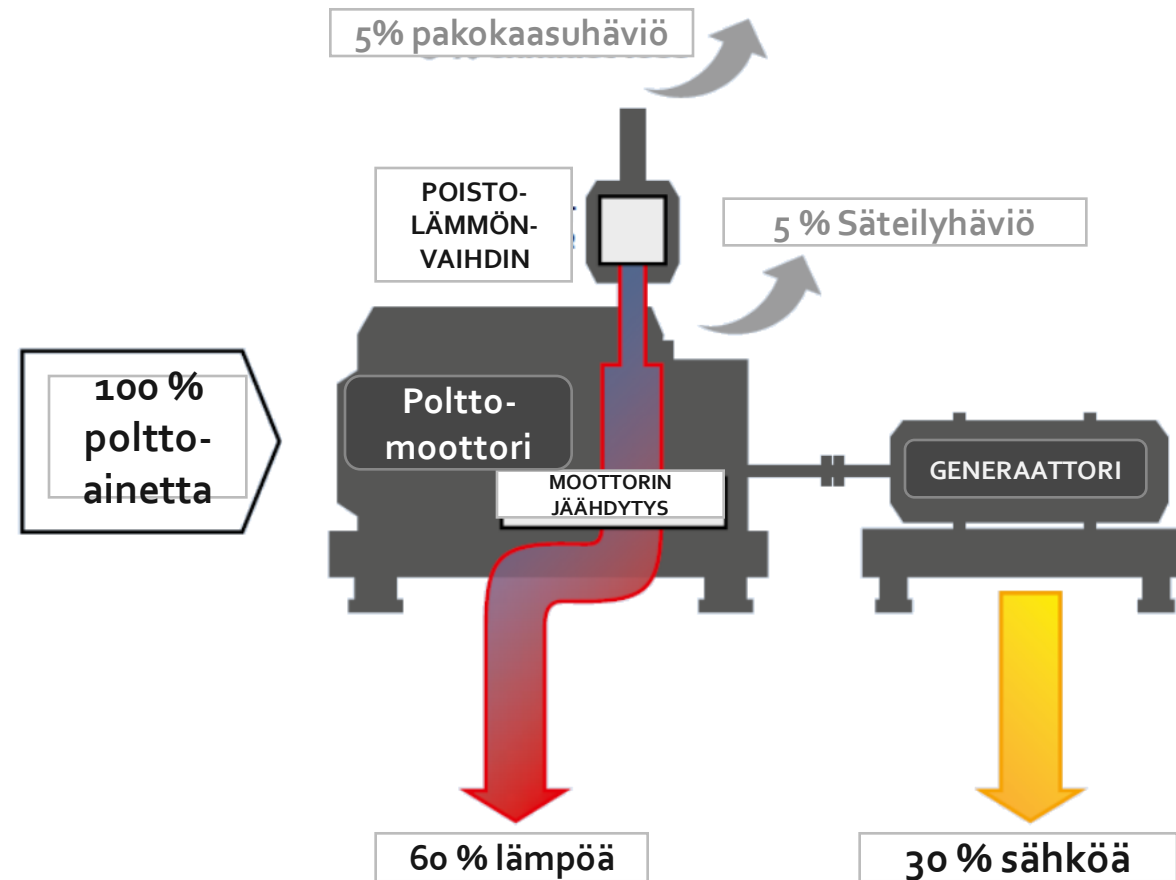


- 100 % polttoaineperäisestä energiasta 90 % voidaan muuntaa tehokkaaksi energiaksi
- Perinteisten voimalaitosten käyttöteho on vain noin 35-59%

Kuva 2: Energiavirta puhtaan energian jakelussa sekä keskitetyssä että hajautetussa CHP-tuotannossa (Lähde: ASUEgg) [2]

Perus-toimintaperiaatteet

- Lämmön ja sähkön yhtäaikainen tuotanto (CHP)
 - Kiinteä lämmön ja sähkön tuotannon suhde
 - Hyödyntämällä sekä sähköä että lämpöä
 - tehokkuus nousee jopa 90 % verrattuna perinteiseen sähköntuotantoon
 - Toimintaperiaatteet
 - Sähkövoittainen energiantuotanto
 - Lämpövoittainen energiantuotanto
 - Verkoston vaatimuksiin perustuva energiantuotanto
- Optimaalinen tehokkuus saavutetaan vain lämpövoittoisen energiantuotannon aikana



Kuva 3: Energiankulutus lämmön ja sähkön yhteistuotannossa (Lähde: EnergieAgentur.NRW GmbH: 2016; translated [3])



Yleiskatsaus CHP-toimintojen suunnitteluun

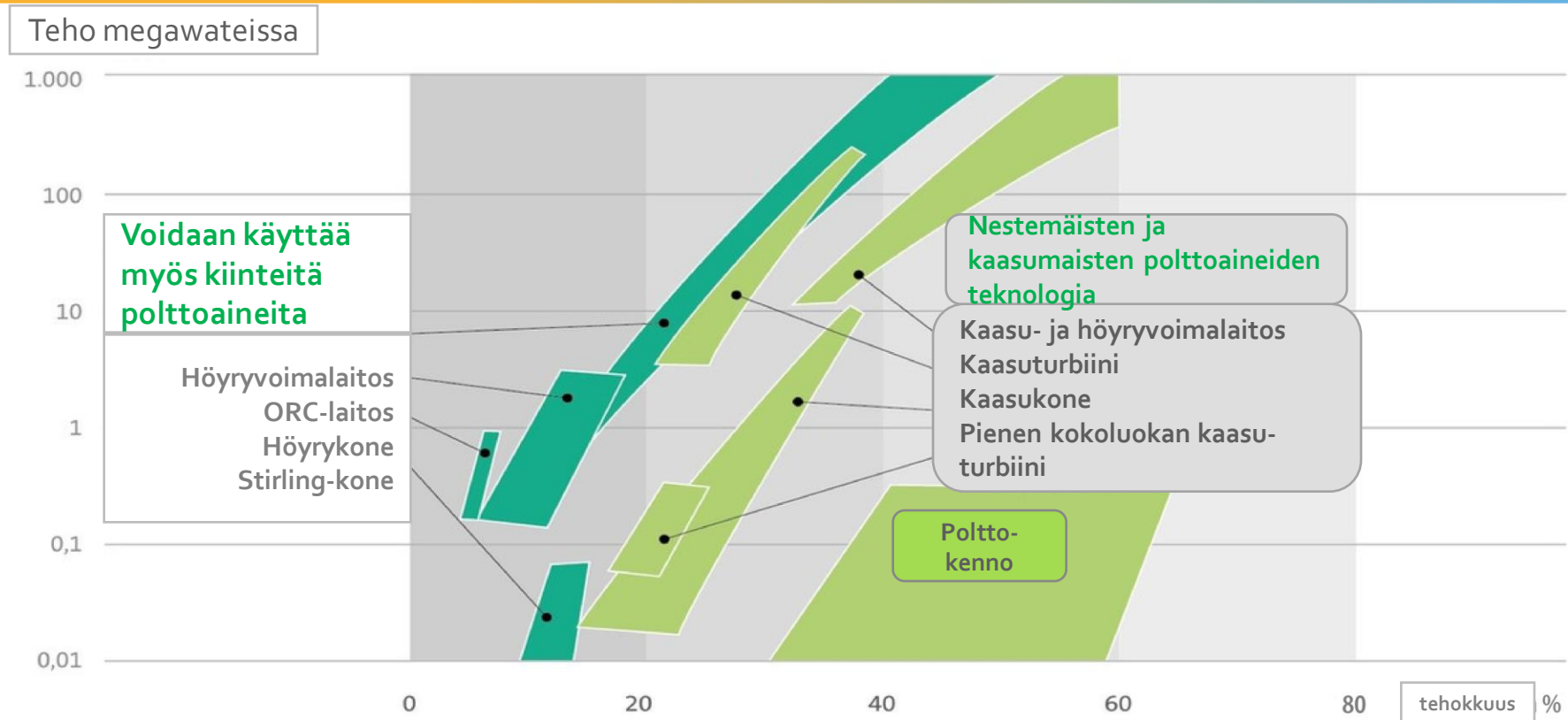
Hallitseva tekijä	Toiminta-periaate	Hyödyt	Haitat
Lämpö-voittoinen	Lämmön tarve määrittää prosessia	Suurin polttoaineen hyödyntämisen aste	Pienempi sähköntuotannon aste
Sähkö-voittoinen	Sähkön tarve määrittää prosessia	Suurin sähköntuotannon aste	Vähäisempi hyödynnettävyys
Verkosto-voittoinen	Verkon vaatimukset määrittävät prosessia	Vaikuttaa sähköverkon vakauteen Tasapainottavan energian markkinointi	

CHP-menetelmät - teholuokkien luokittelu

	TEHOLUOKKA	POLTTOAINEET
Höyry- tai lauhdutusturbiini	$500 \text{ MW} < P_{el} < 1100 \text{ MW}$ Ydinvoimalaitos: $P_{el} < 1600 \text{ MW}$	Hiili (öljy, kaasu, biomassa, hukkaydinvoima)
Kaasuturbiini	$1 \text{ MW} < P_{el} < 545 \text{ MW}$ Mikroturbiini: $P_{el} < 100 \text{ kW}$	(maa-) kaasu, polttoaineöljy
Poltto- / mäntämoottori	$1 \text{ kW} < P_{el} < 10 \text{ MW}$	(maakaasut, biomassa) kaasu, (biomassa) polttoaineet
Polttokennot	$125 \text{ kW} < P_{el} < 1,4 \text{ MW}$ (59 MW prototyyppi)	Metanoli, maakaasut, vety, synteettinen kaasu (kaupunkikaasu)

Taulukko 2: Eri CHP-yksikköjen luokittelu [7]

CHP-menetelmät – teholuokkien luokittelu



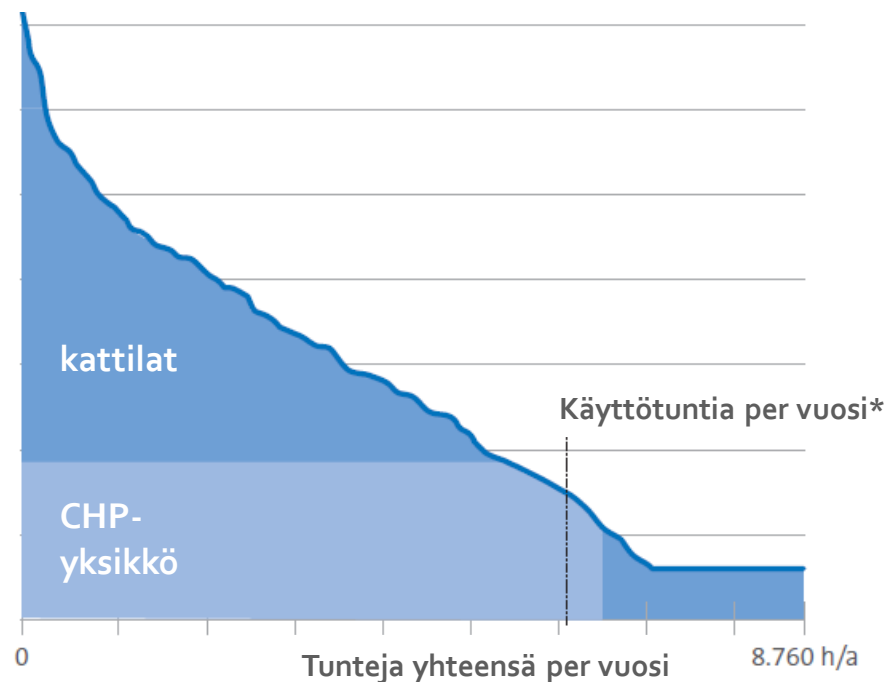
Kuva 5: CHP-laitetekniikan keskeiset tekijät. Suorituskyky riippuvainen tehokkuudesta (Lähde: ASUE16 [8])

CHP-yksikköjen koko & mitoitus

Vuosittaisen lämmönkysynnän pysyvyyskäyrä

(tiloien lämmitys & kuuma vesi)

Lämmöntuotto kW:issa



*Vuosittaisten käyttötuntien summa laskettuna parhaan hyötysuhteen alueella.

Kuva 6: Esimerkki käyttötunneista ja CHP-yksikön mitoituksesta (Lähde: ASUE, 2015 [9])

- Oikeanlainen mitoitus varmistaa pitkän käyttöiän ja korkean täyden hyödyn käyttötuntien asteen per vuosi
- CHP-yksikön lämmöntuoton nimelliskapasiteetista noin 20 % pitäisi käyttää laskelmien ja suunnittelun pohjana
- Yksikkö kattaa pohjakuorman ja 50 % vaaditusta vuosittaisesta lämmöntarpeesta
- Lämpökattilat tai muut lisälämmönlähteet kattavat yleensä loput lämmöntarpeesta



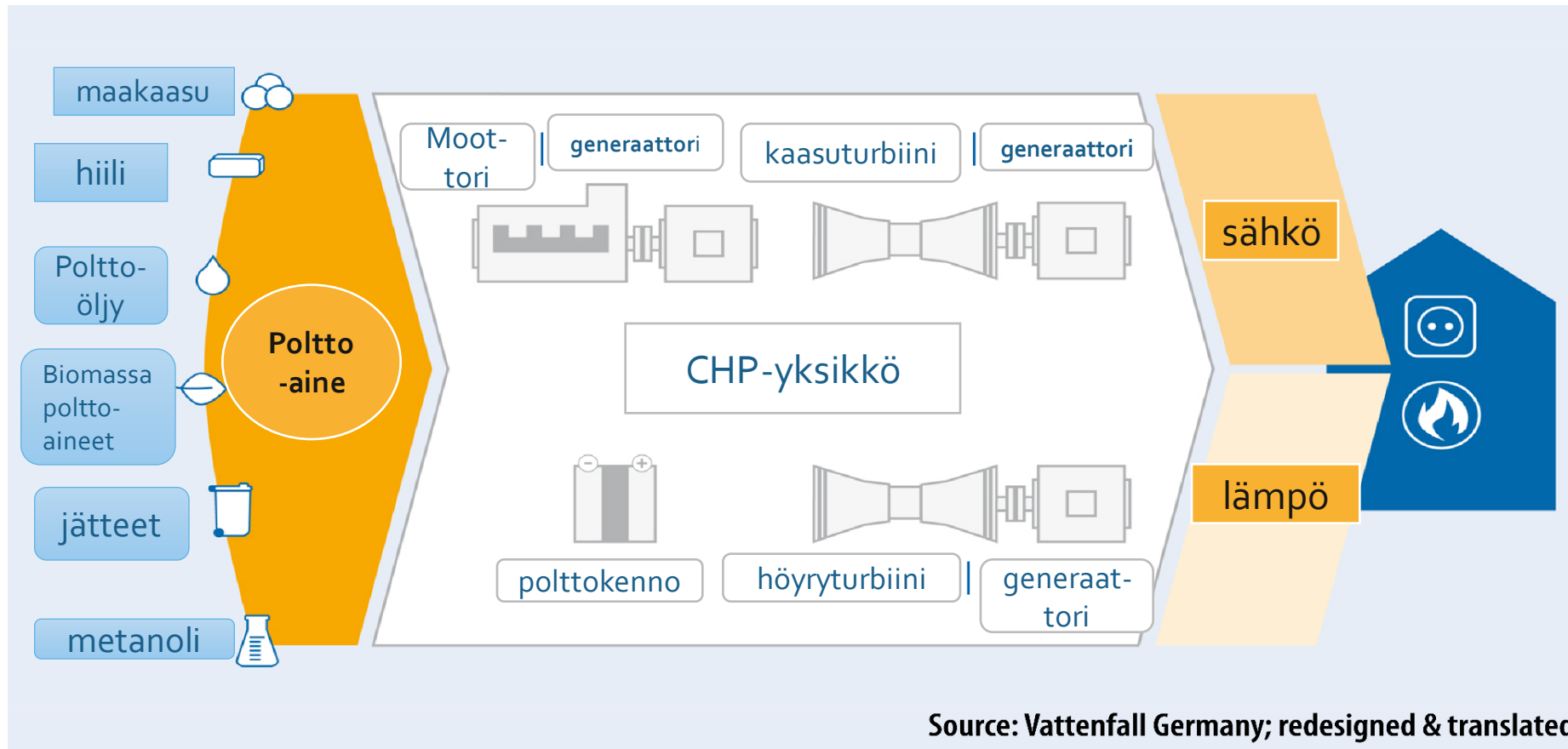
LowTEMP2.0

3. Yleiskatsaus CHP-yksiköistä

CHP-yksiköt jaoteltuna polttoaineiden ja käyttöalan mukaan



LowTEMP2.0



Source: Vattenfall Germany; redesigned & translated

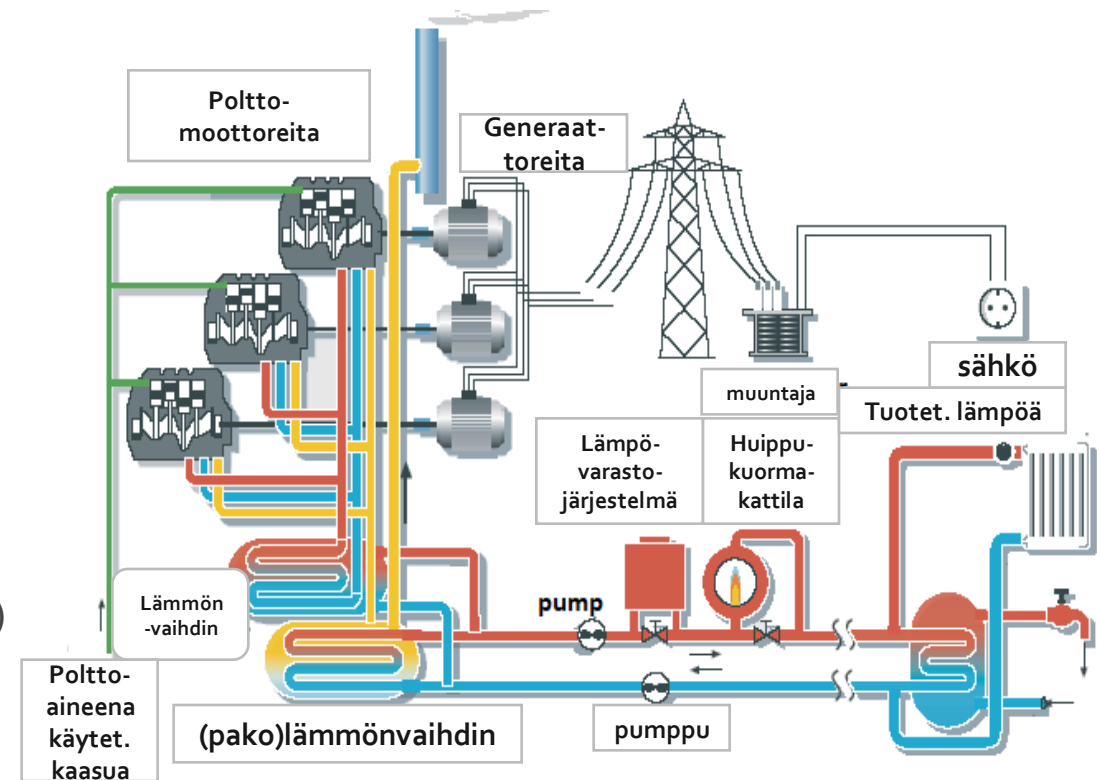
Kuva 7: Erialaisten sähköksi ja lämmöksi muutettavien polttoaineiden jakeluketju monenlaisten CHP-yksikköjen avulla. (Lähde: Vattenfall Germany [10])

Polttomoottorit

- Standardipoltto, yleensä lisäkattila huippukuormia varten
- Jäähdytysvesi ja öljy ovat 80-90°C -asteisia
- Pakokaasujen lämpötila on tarpeeksi korkea höyryn tuottamiseen

Toiminnalliset ominaisuudet

- Sähkön- ja lämmöntuotannon suhde on yleensä vakio
- Moottorimoduulit toimivat tavallisesti nimelliskuormalla eli parhaan hyötysuhteen alueella (eivät siis täysillä kierroksilla)
- Niitä voidaan parantaa uusilla ohjausjärjestelmillä ja/tai lämpövarastoilla
- Toimivat jopa 72 tuntia ilman jatkuvaa valvontaa



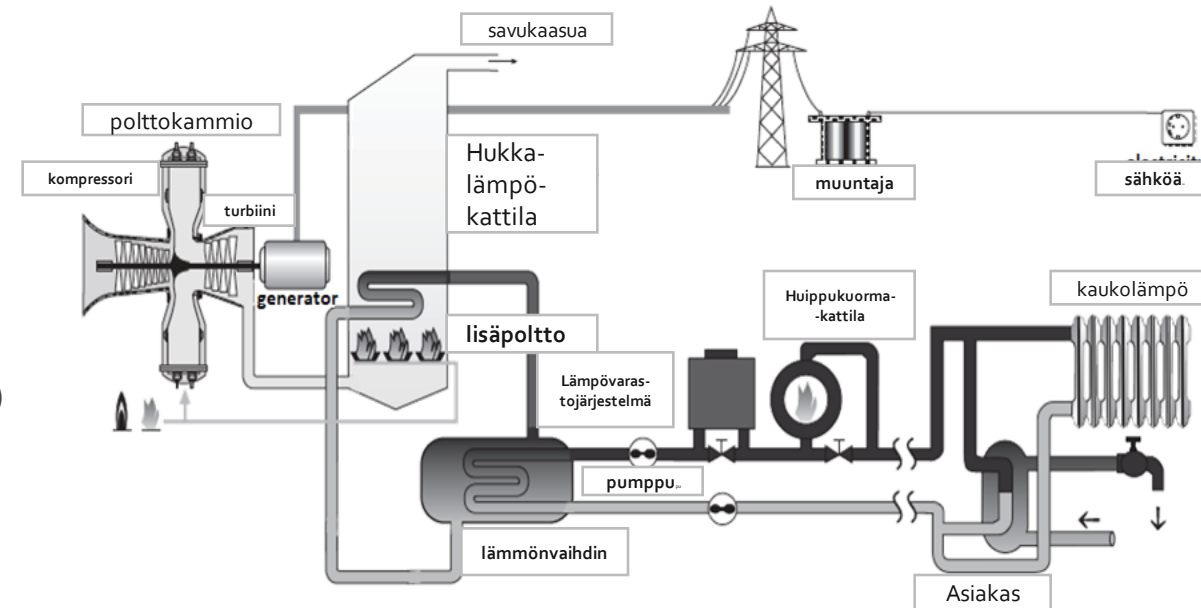
Kuva 8: Tavallinen voimalaitoksen CHP-yksiköiden kaavio. Laitoksella on useita polttomoottoreita yhdistettynä generaattoreihin ja lämmönlähteisiin suuren kysynnän varalta (Lähde: AGFW11)

Kaasuturbiinit

- Järjestelmä koostuu yhdestä tai useammasta kaasuturbiinista
- Lämmön hyödyntäminen tapahtuu hukkalämpökattilassa joko lisäpoltolla tai ilman
- Työhön liittyvät sähköarvot $0,5 - 0,8 \text{ kWh}_{\text{el}}/\text{kWh}_{\text{th}}$
- Kaasuturbiinit käyttävät $400-600^\circ\text{C}$ lämpöä pakokaasuista
- Järjestelmän osat ovat pitkälle kehitettyjä, pienikokoisia ja hyvin tehokkaita

Olellaiset ominaisuudet:

- Halvat toimintakustannukset (toiminnan aloittaminen, automaatio)
- Sähkön erottaminen lämmön tuotantoon
- Pieni koko
- Ei vaadi kuin vähäisiä investointeja
- Vaatii vain vähän henkilökuntaa, koska prosessi on pitkälle automatisoitu

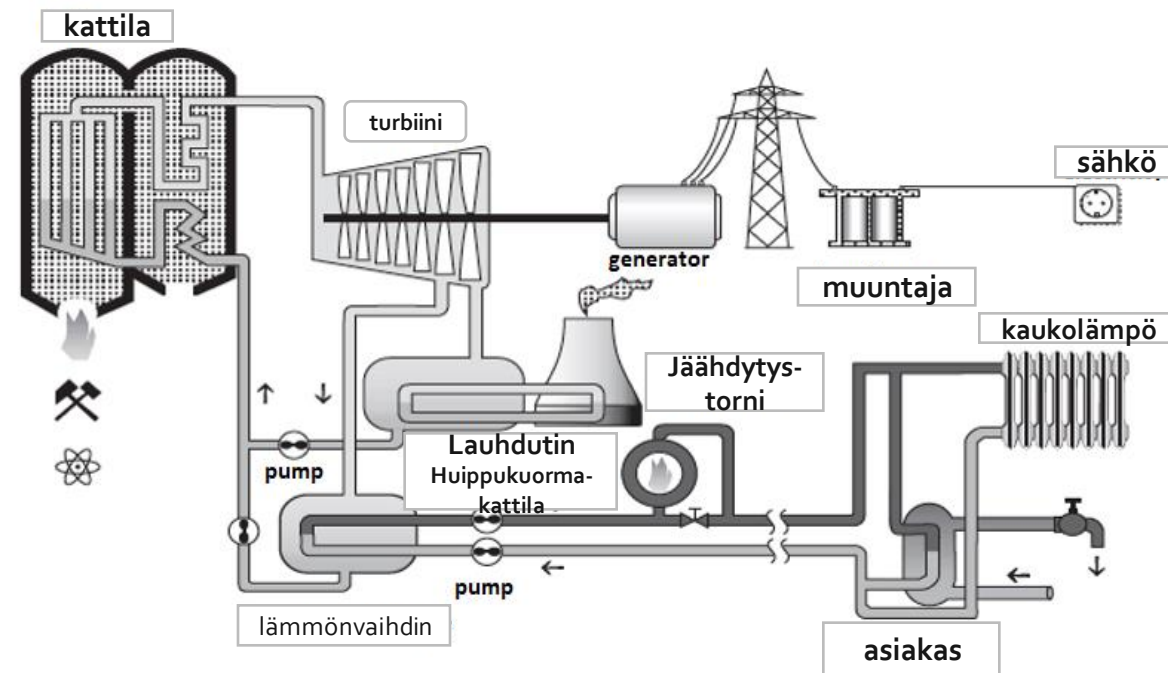


Kuva 9: Esimerkki, jossa kaasuturbiinivoimalaitoksesta irrotetaan kaukolämpöä (Lähde: AGFW11)

Höyry- / lauhdutusturbiini

Käyttöominaisuudet

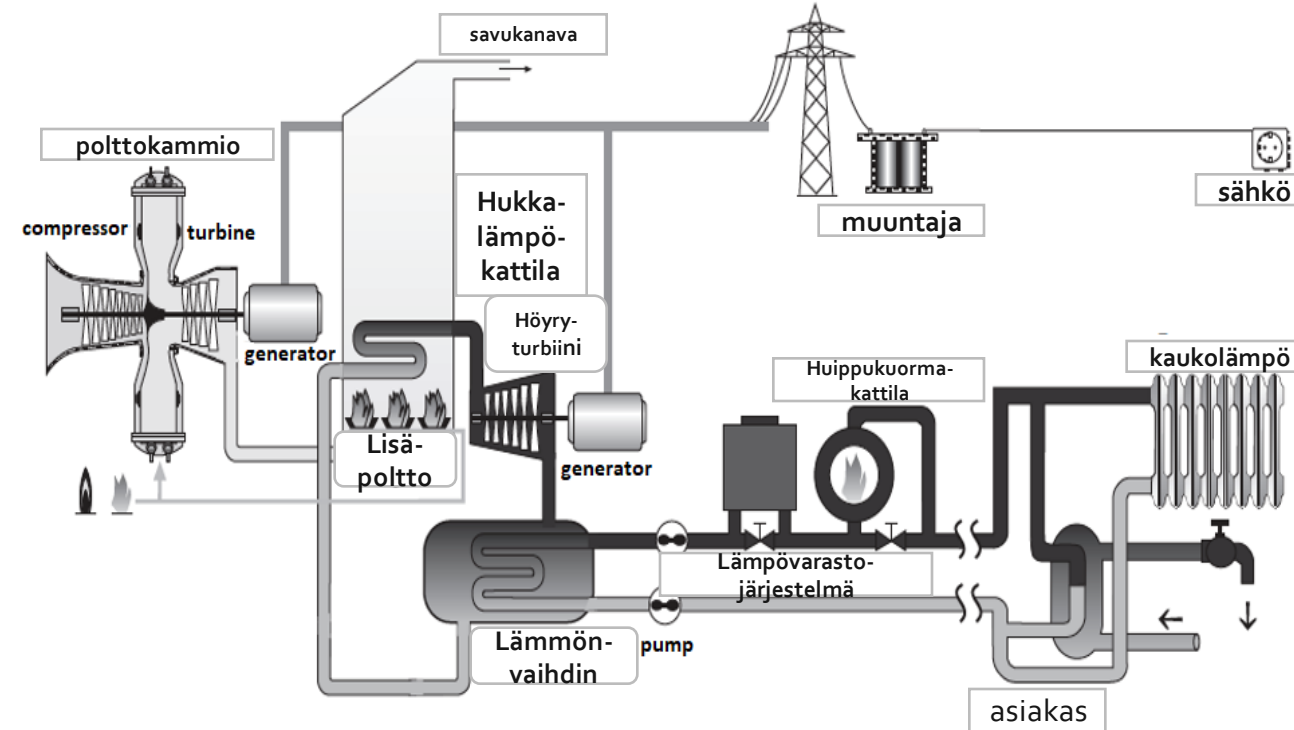
- Vesi muutetaan höyryksi kattilajärjestelmässä
- Kun höyry laajenee turbiinin sisällä, höyryn tuottama energia muuntuu liikkeeksi, joka sitten muutetaan sähköksi
- **Lämmön tuotantoon** on kaksi eri menetelmää:
- Voimalaitosprosessista irrotetaan lämpöä
- Käytetään lauhdutusprosessissa syntynyttä ylijäämälämpöä



Kuva 10: Lauhdutusvoimalaitoksen toimintaperiaate (Lähde: AGFW11)

Kaasukombivoimalaitos

- Kaasuturbiinit keskittyvät sähkön tuotantoon (65-80%)
- Pakokaasuja voidaan hyödyntää matalassa lämpötilassa
- Hyödyntämisestä rajoittavat läinnä savukaasun rajalliset ominaisuudet
- Työhön liittyvät sähköarvot $0,8 - 1,2 \text{ kWh}_{el}/\text{kWh}_{th}$
- Höyryturbiiniprosessiin ei tarvita muuta lämmönlähdettä → korkea energian käytön suhde



Kuva 11: Kaukolämpöä irrotetaan kaasu- ja höyryvoimalaitoksesta (Lähde: AGFW11)

Kaasukombivoimalaitos

Yksityiskohtainen selitys kaasuturbista ja höyryturbiinista koostuvasta yhdistelmäprosessista

Prosessi rakentuu yhdestä (tai useammasta) kaasuturbiinista ja yhdestä (tai useammasta) höyryturbiinista koostuvalle järjestelmälle

- 400-600°C –asteinen pakokaasu tuottaa 40-80bar/350-540°C tuoretta höyryä
- Lisäpoltto kasvattaa höyryturbiinin ja /tai kaukolämmön tuottamaa sähkövirtaa

Hukkalämpöprosessin ominaisuudet

- Höyryturbiiniprosessiin ei tarvita muuta lämmönlähdettä
- Vaatii vain vähän henkilökuntaa
- Melko pienet investointikulut
- Ominaislämmön kulutuksessa tasainen käyrä osittaisella sähkökuormituksella

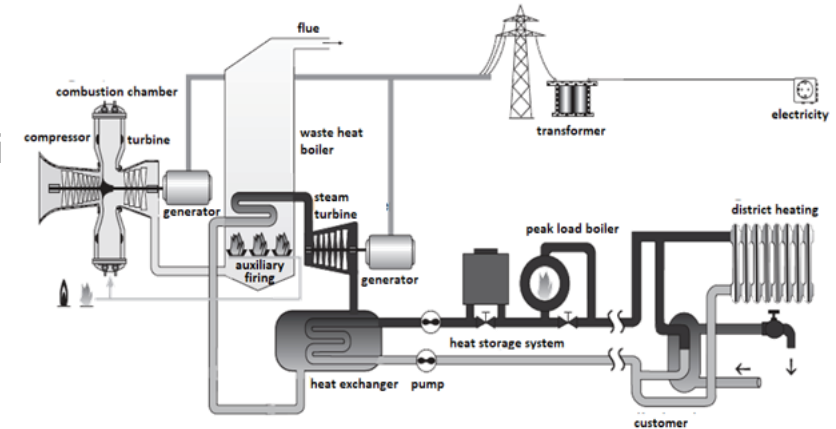


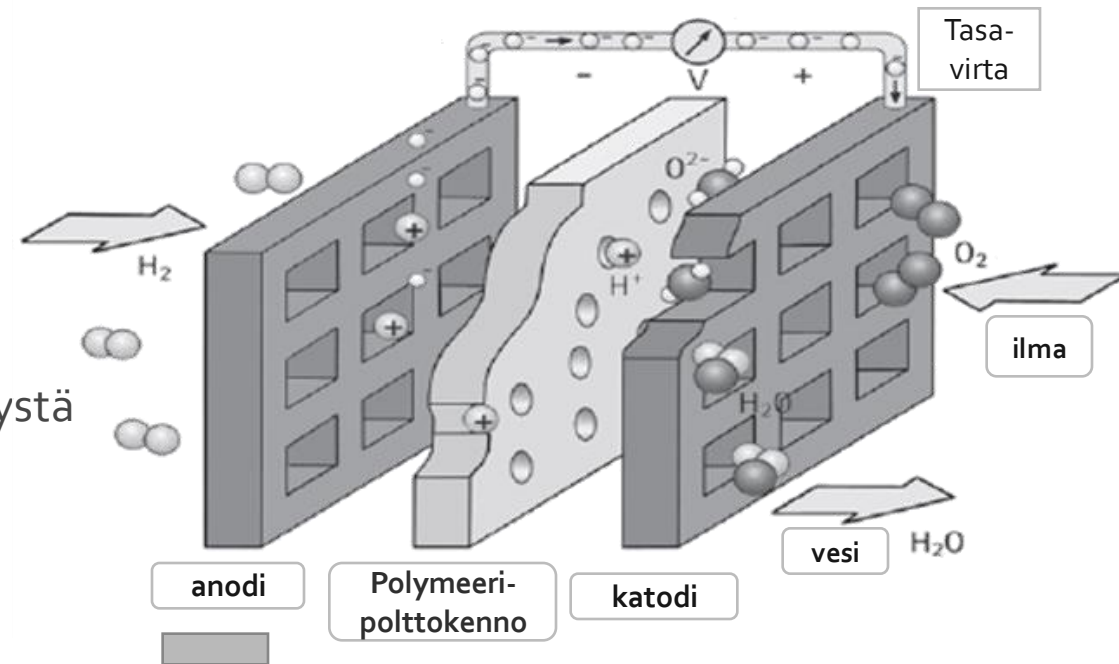
Figure 12: Decoupling District Heat from a gas and steam power plant (Source: AGFW11)

Polttokennot

- Suora sähkön ja lämmön yhteistuotanto ilman koneellisesti tuotettua energiaa
- Typen ja hapen hallittu reaktio vedessä
- Tällä elektrokemiallisella prosessilla tuotettu sähkö on hyvin tehokasta ja sitä on helppo hallita.
- Hyödynnettävissä oleva hukkalämpö on eri asteista – käytetystä polttokennotekniikasta riippuen
- Polttokennot erotellaan (käytetyn) tekniikan ja/tai käyttölämpötilan mukaan (matala, keskilämpöinen, korkea)

Kehitysalueita:

- Ihanteelliset materiaalit, kennojen elinikä, sijoituskustannukset ja oheiskustannukset



Kuva 13: Vetyperusteisen polttokennon toiminta
(Lähde: Vaillant Remscheid [11])



4. Sähkön ja lämmön yhteistuotantotekniikan tulevaisuuden näkymiä

CHP-tekniikan tulevaisuuden näkymiä

Tiivistelmä viimeaikaisesta CHP-tekniikasta & tulevaisuuden potentiaalista

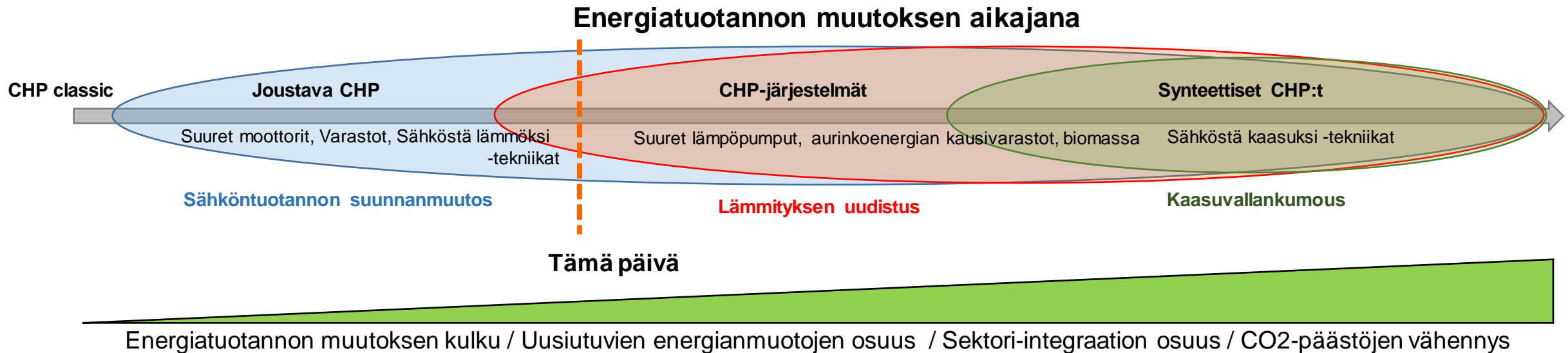
- CHP-laitokset ovat kehittyneet nopeasti viime vuosina
 - CHP-ratkaisut edesauttavat energian ja lämmön muuntamista monella tavalla
 - Ne ovat joustava ratkaisu yhä useampien uusiutuvien energialähteiden käyttöönottoon tulevaisuudessa.
 - Tärkeä rajapinta energia-, kaasu- ja lämmityssektorien välillä
 - Useimmissa sähkön ja lämmön yhteistuotantojärjestelmissä käytetään edelleen fossiilisia polttoaineita
- vaihtoehtoiset polttoaineet ovat välttämättömiä ja niitä voidaan käyttää myös jo olemassaolevissa laitoksissa

CHP-tekniikan tulevaisuuden näkymiä

Mahdollisia uusiutuvia energialähteitä

Biomassan ja viemärikaasujen käyttö

- Uusiutuvalla energialla tuotetun vedyn tai metaanin käyttö (nk. synteettiset kaasut)



Kuva 14: Energiatuotannon muutoksen aikajana ja CHP:n rooli (Lähde: AGFW 2019)



Lähteet

- [1] Asue 2020. <https://www.asue.de/node/2880>
- [2] Asue 99. <https://www.asue.de/node/1934>
- [3] EnergieAgentur.NRW GmbH: 2016; translated; https://www.energieagentur.nrw/content/anlagen/B_EA453en.pdf
- [4] Getec 2020. <https://www.getec-energyservices.com/Home/Technologies/CHP-units/>
- [5] Asue 2015. https://www.gemeindewerke-huenxe.de/fileadmin/gelsenwasser_de/content/waerme/dateien/broschuere_waerme-plus_asue_bhkw-fibel-2012.pdf
- [7] R. Zahoransky: *Energietechnik - Systeme zur konventionellen und erneuerbaren Energieumwandlung. Kompaktwissen für Studium und Beruf*. 8. Überarbeitete und ergänzte Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2019.
- [8] Asue 16. <https://asue.de/node/2587>
- [9] Asue 15. https://asue.de/blockheizkraftwerke/grafiken/geordnete_jahresdauerlinie_des_waermebedarfs_waermebedarfsdeckung_durch_bhkw_und_kesselanlagen
- [10] Vattenfall Germany. <https://group.vattenfall.com/de/zukunft/kraft-waerme-kopplung>
- [11] Vaillant Remscheid. Quoted after https://www.bhkw-infozentrum.de/innovative/bz_gl.html
- [all others]. Own illustrations AGFW.

Contact



LowTEMP2.0

AGFW-Project GmbH

Project company for rationalisation,
information & standardisation

Stresemannallee 30
60596 Frankfurt am Main
Germany

E-mail: info@agfw.de

Tel: +49 69 6304 - 247

www.agfw.de