

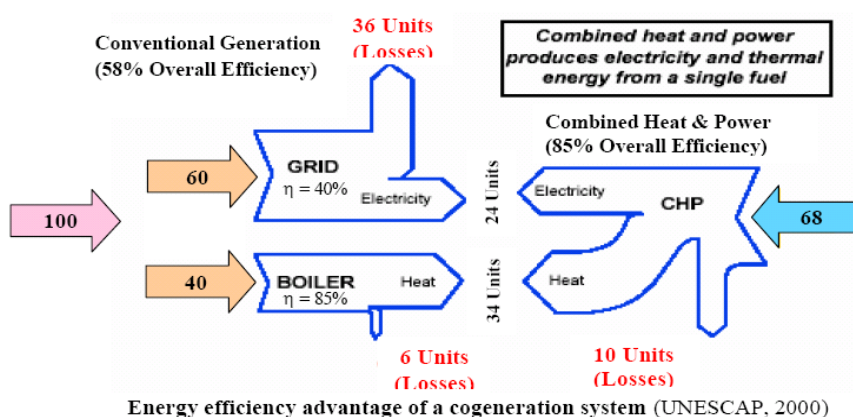
Koostootmissüsteemi CO₂ heite arvutused ja soovitused

1 Motivatsioon

CO₂ heitkoguste jagamise meetmed on väga olulised **energiapoliitika vahendid** ja need on välja töötatud **toetamaks energiasüsteemide planeerimist, otsuste tegemist ja poliitikate väljatöötamist** nii valituse, piirkonna kui ka tööstusettevõtete tasemel. CO₂ heitkogused tuleb jaotada koostootmise energiaväljunditele eraldi. Seda eriti juhul, kui toodetud soojust ja elektrit tarbivad erinevad tarbijad ning kui seda on vaja võrrelda teiste soojusvarustuse viisidega.

Koostootmissüsteemid toodavad elektrit ja soojust, kuid soojust eraldi saab toota fossiilkütustest või elektri vahendusel kasuteguriga rohkem kui 95% ja elektrit saab lahustootmisel fossiilkütustest kasuteguriga kuni 45%. Tekib küsimus:

Kui palju heitkoguseid peaksime jagama siis elektri ja soojustootmisele?



2 Kasvuhoonegaaside (GHG) heitkoguste hindamine

On kolm standardvõrrandit, mis kirjeldavad igat tüüpi põletatud kütuse CO₂ heitkoguseid:

$$GHG \text{ heitkogus} = Kütus * EF_1 \quad (1)$$

GHG heitkogus = CO₂, CH₄ või N₂O heitkogus, *Kütus* = põletatud kütuse mass või maht, *EF₁* = CO₂, CH₄ või N₂O heitekoefitsient massi- või mahuühiku kohta,

$$GHG \text{ heitkogus} = Kütus * HHV * EF_2 \quad (2)$$

HHV = Kütuse soojussisaldus (ülemine kütteväärtus), energiaühikutes kütuse massi või mahu kohta; *EF₂* = CO₂, CH₄ või N₂O heitekoefitsient energiaühiku kohta

$$GHG \text{ heitkogus} = Kütus * CC * 44/12 \quad (3)$$

CC = Kütuse süsinikusisaldus süsiniku massiühikutes kütuse massi või mahu kohta, $44/12 = \text{CO}_2$ ja süsiniku molekulmassi suhe.

2.1 Primaarenergia (PE)

Primaarenergia tähendab taastuvatest ja taastumatutest allikatest toodetud energiat, mida ei ole muundatud ega töödeldud. Primaarenergia võib olla fossiilne, taastuv või mõlema kombinatsioon. Seda saab muundada ja lõpptarbijatele tarnida lõppenergiana nt elektri või soojusena. Primaarenergia sisenditega käivad tavaliselt kaasas tegevused ja protsessid tarneahelas (st sisendkütuste kaevandamine, transport ja ettevalmistamine).

2.2 Primaarenergiategur (PEF)

Primaarenergiategur ühendab primaarenergia ja lõppenergia – näitab kui palju primaarengiat kasutatakse elektriühiku või kasutatava soojusenergia ühiku tootmiseks.

Primaarenergia * süsteemi kasutegur = lõppenergia

Primaarenergiategur = primaarenergia/lõppenergia

3 CO₂ jagamise meetodid

Projekti LowTemp käigus hinnati järgnevaid (EL kõige populaarsemaid) meetodeid: **Energeetiline meetod, alternatiivne tootmismeetod, boonusernergia meetod, eksergia meetod, 200% meetod, Pas 2050, Dresden'i meetod**. Kirjandusest leiab ka teisi meetodeid: töö meetod, Soome meetod, kõik säästud eraldatakse elektrienergiale, kõik säästud eraldatakse soojusele, 50%-50% heite jagamine soojuse ja elektri vahel, primaarenergia sisaldus soojuses ja elektris.

3.1 Energeetiline meetod

Energeetiline meetod – kütuseallika või CO₂ heitkogused jaotatakse toodetud soojusele ja elektrienergiale lähtudes toodetud toote energiasisaldusest. Selle meetodi eelis on see, et see on väga lihtne ja läbipaistev. Puudusteks on asjaolu, et toodete energiasisaldust ei eristata energiatoodetel, st ei arvestata nende omadusi (elektrit saab soojuseks muundada kergemini kui vastupidi). **CO₂ jagamise tegur (e jaotustegur) soojuse tootmiseks:**

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

3.2 Alternatiivne tootmismeetod

Alternatiivne tootmismeetod tuntud ka kui tõhususe meetod või kasu jagamise meetod (BSM), mille on välja töötanud Soome kaugkütteühing. See meetod jagab CO₂ heitkogused ja ressursid soojuse- ja elektritootmisele proportsionaalselt kütusega, mis oleks vajalik sama koguse soojuse või elektri tootmiseks eraldi jaamades. Alternatiivne tootmine kahes eraldi tehases sõltub nende tõhususest η_{heat} ja η_{elec} .

$$f_Q = (Q/\eta_{alt_heat}) / (Q/\eta_{alt_heat} + E/\eta_{alt_elec})$$

3.3 Boonusernergia meetod

Boonusenergia meetodit kasutatakse sageli CO₂ heitkoguste jaotamiseks soojust ja elektri tootmise vahel Euroopa Liidus. Selle meetodi puhul on soojust põhitoodet, samas kui protsessi käigus toodetud elektrienergiat peetakse boonuseks. Primaarenergia jagatakse esmalt koostootmisjaamas toodetud elektrienergiaks, mis hiljem lahutatakse primaarenergia sisendist.

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

3.4 Eksergia meetod

Eksergia meetod (füüsikaliselt õige meetod) – kütusekasutus või CO₂ heitkogused on jagatud toodetud soojustele ja elektrienergiaks, lähtudes toodete eksergia sisaldusest. Toodete eksergia sisaldus on näitaja maksimaalse kasuliku töö kohta, mida toode saab teha. Energia- ja eksergiasisalduse suhte vahet nimetatakse kvaliteediteguriks.

Termodünaamilisest seisukohast, koostootmisel toodetud elektrienergiat hinnatakse eriteguriga 1, seega elektrienergia eksergia on määratud kui $Ex_E = E$. See tähendab, et 100% elektrist saab muundada mis tahes energiaks. Soojust saab muundada võimsuseks või muuks energiaks ainult teatud määral, seega soojust eksergiat saab arvutada:

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

kus T_o – on kütteperioodi keskmine ümbritsev temperatuur ja T – on kaugküttevõrgu (nt vee) termodünaamiline keskmine temperatuur $T = (T_s - T_r) / \ln(T_s/T_r)$

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

3.5 200% meetod

Eeldab soojust tootmisel 200% efektiivsust. See tähendab, et 1 ühiku soojust tootmiseks peab kasutama 0,5 ühikut kütust ja teine 0,5 ühikut saadakse turbiini kondensaatorist. See tähendab, et pool soojust tootmisega seotud heitkogustest võib olla seotud elektritootmisega. Seda Taani energiaagentuuri poolt kasutusele võetud meetodit saab kasutada, kui jagada koostootmise kütusekulu soojust tootmisel energia ja heitkoguste statistikas.

$$f_Q = Q / 2 Fuel_{in}$$

3.6 Pas 2050

PAS 2050 meetod on Briti standard, mis seletab kasvuhooonegaaside heitkoguste arvutust kaupade tootmisel ja teenustel. Jagades koostootmissüsteemi heitkogused toodetud soojustele ja elektrile, kasutades spetsiaalset intensiivsuskoeffitsienti 'n', mis määrab kütuse põlemisel eralduvad heitkogused

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

Heitkoguste jagamine soojustele ja elektrienergiaks sõltub iga koostootmissüsteemi soojust ja elektrienergia protsessipõhisest suhtest. Koeffitsient n on katla baasil koostootmissüsteemide puhul (kivisüsi, puit, tahke kütus) 2,5, kuid gaasiturbiinipõhistel koostootmissüsteemidel (maagaas, prügilagaas) on see 2,0.

3.7 Dresden'i meetod

Dresden'i meetod põhineb eksergia hinnangul. Elektri jaamades on kogu primaarenergia seotud elektri tootmisega. Samal ajal tarbitakse koostootmisjaamades üks osa primaarenergiast soojusenergia tootmiseks. Dresden'i meetod kirjeldab, kuidas hinnata elektrikadu, mis on põhjustatud heitsoojuse kasutamisest (veeauu kondenseerumine suitsugaasidest) koostootmisjaamas $\Delta E = Q \eta_c \nu_p$, kus η_c on Carnot' kasutegur ja ν_p on protsessi kvaliteedi tase.

$$f_{\alpha} = \Delta E / E$$

Jaotustegur koostootmissüsteemi puhul, kus aastane soojustoodang on 27 GWh ja maksimaalne soojuskoormus 14 MW.

Method	Allocation factor of heat production, f_{α}	E.g. f_{α} value
Energy method	$Q / (Q + E)$	0,2162
Alternative generation meth.	$(Q/\eta_{alt_heat}) / (Q/\eta_{alt_heat} + E/\eta_{alt_elec})$	0,3830
Power bonus method	$(E_{P,in} - W_{CHP} f_{P,elt}) / (Q_{del} + E_{del})$	0,2226
Exergy method	$EX_Q / (EX_Q + EX_E)$	0,1507
200% method	$Q / 2 Fuel_{in}$	0,0608
PAS 2050	$Q / (Q + n E)$	0,1212
Dresden method	$\Delta E / E$	0,0834

4 Kokkuvõte

Table 4.2. Scores for the chosen method in MCDA analysis.

Method	AGFW	ZEBAU	BTU	RTU	IMP PAN	Thermopolis	HEM	SUM	Ranking	Variation
Energy method	52.000	52.000	49.857	52.286	53.143	59.143	53.143	371.57	5	5.0%
Alternative generation method	43.286	53.286	46.429	52.714	45.857	36.429	40.571	318.57	7	12.5%
Power bonus method	48.286	48.286	41.286	52.143	55.429	44.571	39.857	329.86	6	11.1%
Exergy method	71.000	71.000	70.714	60.714	60.571	59.429	57.000	450.43	1	9.0%
200% method	60.286	56.857	59.143	56.143	53.143	44.571	66.000	396.14	3	10.9%
PAS 2050	57.571	57.000	59.429	63.857	57.286	44.571	58.571	398.29	2	9.6%
Dresden Method	63.857	63.857	45.714	60.143	46.286	44.571	50.429	374.86	4	15.1%
	15.5%	12.4%	17.9%	7.7%	9.5%	16.5%	16.9%			

LowTEMP projektipartnerid hindasid jaotamise meetodeid kasutades mitmekriteeriumilist otsuste analüüsi.

- Partnerite arvates on olemasolevate vaadeldavate meetodite hulgast parim (üle 450 punkti) **Eksergia (Carnot) meetod**. Teised kaks meetodit: PAS 2050 ja 200% on arvestatavad alternatiivid – saavutades sarnase skoori, peaaegu 400 punkti.
- Termodünaamilisest seisukohast on kõige sobivam – **Eksergia meetod** – kaasab laiemalt energiakvaliteeti ja kaardistab soojusele kui kõrvalseadusele jagatud CO₂ füüsikaluse ülempiiri. On olemas ka Eksergia meetod – **Dresden**, kuid see nõuab rohkemate andmete

kättesaadavust ja ulatuslikumaid arvutusi.

- **Alternatiivne tootmismeetod** ja **Boonusenergia meetod** hinnati projektipartnerite poolt kõige vähem kasulikeks meetoditeks.