

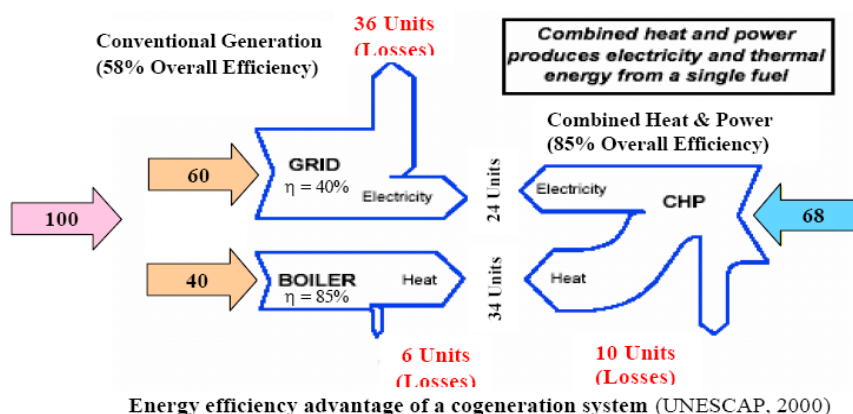
Beregning af CO₂-emissioner i kraftvarmesystemer og anbefalinger

1 Motivation

Metoderne til tildeling af CO₂-emissioner er meget vigtige **energipolitiske værktøjer**, og de udvikles til at støtte planlægning af **energisystemer** samt **beslutningstagning** og **politikudvikling** på både statsligt, regionalt og industrielt plan. Der er behov for at tildele CO₂-emissioner til kraftvarmeproduktionen, især når produceret varme og elektricitet forbruges af forskellige kunder, og når der skal foretages en sammenligning med andre måder at levere varme på.

Kraftvarmesystemer producerer elektrisk energi og varme, men varme kan produceres fra fossile brændstoffer eller elektricitet med en effektivitet på mere end 95 % og elektrisk energi produceres af fossile brændstoffer/hspise med en effektivitet på op til 45 %. Der rejser sig følgende spørgsmål:

Hvor meget af emissionerne skal vi afsætte til energi- og varmeproduktion?



2 Ensessing drivhusgasemissioner

Der er 3 standardligninger, der beskriver CO₂-emissioner for hver type forbrændt brændstof:

$$\text{Drivhusgasemissioner} = \text{Brændstof} * EF_1 \quad (1)$$

Drivhusgasemissioner = mængden af CO₂, CH₄ eller N₂O udledt, *Brændstof* = masse eller volumen af forbrændt brændstof, *EF₁* = CO₂, CH₄ eller N₂O emissionsfaktor pr. masse eller volumenenhed

$$\text{Drivhusgasemissioner} = \text{Brændstof} * HHV * EF_2 \quad (2)$$

HHV = Brændstofvarmeindhold (højere opvarmningsværdi) i energienheder pr. masse eller volumen af brændstof; *EF₂* = CO₂, CH₄ eller N₂O emissionsfaktor pr. energienhed

$$\text{Drivhusgasemissioner} = \text{Brændstof} * CC * 44/12 \quad (3)$$

CC = Brændstofkulindhold i masse af kulstof pr. masse eller volumen af brændstof, 44/12 = forholdet mellem molekylvægten af CO₂ og kulstof.

2.1 Primærenergi (PE)

Ved primærenergi forstås energi fra vedvarende og ikke-vedvarende energikilder, som ikke har undergået nogen omdannelse eller omdannelse. PE kan være fossil eller vedvarende eller en kombination af begge dele. Det kan konverteres og leveres til slutbrugerne som endelig energi, f.eks. elektricitet eller varme. PE-input omfatter generelt opstrømsaktiviteter og -processer i forsyningskæden (dvs. udvinding, transport og fremstilling af inputbrændstoffer).

2.2 Primær energifaktor (PEF)

Den primære energifaktor forbinder primær og endelig energi viser, hvor meget PE bruges til at generere en elektricitetsenhed eller en enhed af brugbar termisk energi.

Primærenergi * Systemeffektivitet = endelig energi

Primærenergifaktor = Primær energi/endelig energi

3 CO₂-fordelingsmetoder

Følgende (mest populære i EU) metoder blev vurderet i LowTemp-projektet: **Energimetode, Alternativ produktionsmetode, Power bonus metode, Exergy metode, 200% metode, Pas 2050, Dresden metode**. Der er andre metoder i litteraturen: Arbejdsmetode, finsk metode, alle besparelser afsat til elektricitet, alle besparelser afsat til varme, 50%-50% fordeling af besparelser mellem varme og elektricitet, primære energiindhold i varme og elektricitet.

3.1 Energi metos

Energimetoden - brændstofftilførsel eller CO₂-emissioner tildeles den producerede varme og elektricitet baseret på energiindholdet i de producerede produkter. Fordelen ved denne metode er, at den er meget enkel og gennemsigtig. Ulempen er, at produkternes energiindhold ikke skelner mellem energiprodukter, dvs. **CO₂-fordelingsfaktor for varmeproduktion:**

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

3.2 Alternativ generationsmetode

Den **alternative** generationsmetode, også kendt som effektivitetsmetoden eller fordelingsdelingsmetoden (BSM), er udviklet af den finske fjernvarmeforening. Metoden tildeler CO₂-emissioner og ressourcer til varme- og elproduktionen i forhold til det brændstof, der er nødvendigt for at producere den samme mængde varme eller strøm i separate anlæg. Alternativ produktion i to separate anlæg vil afhænge af deres effektivitet η henholdsvis η_{varme} og $\eta_{elektricitet}$.

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

3.3 Power bonus metode

Power Bonus-metoden bruges ofte til fordeling af CO₂-emissioner mellem varme- og elproduktion i EU. I denne metode er varmen hovedproduktet, mens strøm produceret under processen betragtes som en bonus. Den primære energi tildeles først

til den elektricitet, der produceres i kraftvarmeværket, som senere trækkes fra den primære energitilførsel.

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

3.4 Exergy-metode

Exergy-metoden (fysisk korrekt metode) - brændstofforbrug eller CO₂-emissioner tildeles den producerede varme og elektricitet baseret på produkternes eksergiindhold. Det spændende indhold af et produkt er et mål for det maksimale nyttige arbejde, der kan udføres af produktet. Forholdet mellem energi- og exergyindholdet kaldes kvalitetsfaktoren.

Fra et termodynamisk synspunkt er elektricitet produceret under kraftvarmeproduktion klassificeret med en exergy faktor på 1, så exergy af elektricitet defineres som $Ex_E = E$. Det betyder, at 100% af elektriciteten kan omdannes til enhver form for energi. Varme kan kun omdannes til strøm eller enhver anden form for energi til en vis grad, så varmeenergien kan beregnes

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

hvor T_o – er den gennemsnitlige omgivelsestemperatur i opvarmningsperioden og T – er DH termodynamisk gennemsnitstemperatur $T = (T_s - T_r) \cdot i (T_s/T_r)$

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

3.5 200% metode

antager 200% effektivitet til varmeproduktion. Det betyder, at for at producere 1 varseenhed skal der anvendes 0,5 brændselsenhed, og den anden 0,5-enhed vil blive genvundet fra turbinekondensatoren. Det betyder, at halvdelen af emissionerne i forbindelse med varmeproduktion kan være forbundet med elproduktion. Denne metode, der er indført af Energistyrelsen, kan anvendes ved tildeling af kraftvarmens brændstofomkostninger til varmeproduktionen i energi- og emissionsstatistikken.

$$f_Q = Q / 2 \text{ Brændstof}$$

3.6 Pas 2050

PAS 2050-metoden er den britiske standard, som forklarer beregningen af drivhusgasemissioner til produktion af varer og tjenesteydelser. Ved at fordele emissionerne fra kraftvarmesystemet på den producerede varme og strøm anvendes den særlige »intensitetskoefficient« n », som specificerer de emissioner, der frigives under forbrænding af brændstof.

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

Fordelingen af emissioner til varme og elektricitet afhænger af det processpecifikke forhold mellem varme og elektricitet fra hvert kraftvarmesystem. For kedelbaserede kraftvarmesystemer (kul, træ, fast brændsel) er koefficienten n 2,5, mens koefficienten $n = 2,0$ for turbinebaserede kraftvarmesystemer (naturgas, lossepladsgas) $n = 2,0$.

3.7 Dresden-metoden

Dresden-metoden er baseret på en exergy-vurdering. I kraftværker er al primærenergi relateret til elproduktion. Samtidig forbruges en del af primærenergien i kraftvarmeværkerne til termisk energiproduktion. *Dresden-metoden* beskriver, hvordan man vurderer det eltab, der er forårsaget af varmeudvindingen (vanddampkondensation) i kraftvarmeværket $\Delta E = Q \eta_{cv,p}$, hvor η_c er Carnots effektivitet og *mod* er graden af proceskvalitet.

$$f_Q = \Delta E / E$$

Fordelingsfaktor for kraftvarmesystem med årlig varmelastning 27 GWh og maksimalt varmebehov 14 MW

4 Konklusioner

| Method | Allocation factor of heat production, f_Q | E.g. f_Q 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 |

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

| Method | AGFW | ZERBAU | 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-projektpartner evaluerede fordelingsmetoden ved hjælp af MCDA (Multi-criteria decision analysis)

- Partnerne har peget **Exergy (Carnot) metode** som den bedste enavailable metode (over 450 point) for CO₂ fordeling i det mindste blandt de overvejede. To andre metoder: **PAS 2050** og **200%** bør betragtes som mulige alternativer - de har fået lignende score, dvs næsten 400 point.
- Den mest hensigtsmæssige fra et termodynamisk synspunkt – **Exergy-metoden** – omfatter mere omfattende energikvalitet og kortlægger en fysisk øvre grænse for CO₂-allokeringen

til opvarmning som et biprodukt. Der er en variant af Exergy-metoden - **Dresden**, men det kræver mere datatilgængelighed og mere omfattende beregninger.

- Den **alternative generationsmetode** og **Power bonus metode** er blevet fundet som mindst nyttige dem af LowTemp projektets partnerskab.