

www.sintef.no





SINTEF Energiforskning AS

Postadresse: 7465 Trondheim
Resepsjon: Sem Sælands vei 11
Telefon: 73 59 72 00
Telefaks: 73 59 72 50

www.energy.sintef.no

Foretaksregisteret:
NO 939 350 675 MVA

TEKNISK RAPPORT

SAK/OPPGAVE (tittel)

**Energileveranse fra avfallsforbrenningsanlegg
– definisjon av energiutnyttelsesgrad**

SAKSBEARBEIDER(E)

Jørn Stene, Øyvind Skreiberg

OPPDRAKSGIVER(E)

Avfall Norge AS

TR NR. TR A6703	DATO 2008-12-11	OPPDRAKSGIVER(E)S REF. Håkon Jentoft	PROSJEKTNR. 16X601
EL. ARKIVKODE 080612115634	RAPPORTTYPE	PROSJEKTANSVARLIG (NAVN, SIGN.) Lars Sørum	GRADERING Åpen
ISBN NR. 978-82-594-3453-1		FORSKNINGSSJEF (NAVN, SIGN.) Inge R. Gran 	OPPLAG SIDER 19
AVDELING Energiprosesser	BESØKSADRESSE Kolbjørn Hejes vei 1a, 7465 Trondheim	LOKAL TELEFAKS 73592889	

RESULTAT (sammendrag)

Det råder en viss forskjell mellom norske myndigheters (SFTs) og EUs tolkning av energiutnyttelse, energiutnyttelsesgrad og energieffektivitet for avfallsforbrenningsanlegg. Dessuten er det en viss usikkerhet blant forbrenningsanleggene i Norge med hensyn til definisjon av disse begrepene. Avfall Norge AS ønsker å få avklart dette spørsmålet og komme frem til et forslag til entydige definisjoner.

Rapporten tar for seg begrepene *energiutnyttelse* og *energiutnyttelsesgrad* for avfallsforbrenningsanlegg slik de er definert av Statens Forurensningstilsyn (SFT). EU-kommisjonens definisjoner for *energieffektivitet* ("Energy Efficiency") og *effektivitetsfaktor* ("Plant Efficiency Potential") for denne typen installasjoner er også presentert og sammenlignet med den norske definisjonen.

Norske myndigheter krever i dag at avfallsforbrenningsanlegg skal ha minimum 50% energiutnyttelsesgrad.

EUs nye avfallsdirektiv vil implementeres fra 1. juli 2009. Det vil derfor være naturlig at energiutnyttelsesgraden eller energieffektiviteten for norske avfallsforbrenningsanlegg beregnes i henhold til EUs "Directive of the European Parliament and of the Council on Waste" og i samsvar med dokumentet "Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration", omtalt som EU-metode 1 i denne rapporten. Hovedforskjellen mellom denne metoden og dagens praksis for beregning av energiutnyttelsesgrad i Norge, er at det kreves kjennskap til midlere nedre brennverdi for innfyrt avfall (H_w) i tillegg til årlig importert energimengde i form av elektrisitet og brensel for drift av avfallsforbrenningsanlegget.

I henhold til EUs beregningsmetode (EU-metode 1) er kravene til energieffektivitet (η_w) som følger:

- Minst 60% energieffektivitet, dvs. $\eta_w \geq 0,60$, for avfallsforbrenningsanlegg i drift og godkjent i henhold til nasjonal/kommunal lovgivning før 1. januar 2009
- Minst 65% energieffektivitet, dvs. $\eta_w \geq 0,65$, for avfallsforbrenningsanlegg godkjent etter 31. desember 2008

STIKKORD

EGENVALGTE	Avfallsforbrenningsanlegg	Energiutnyttelse – energiutnyttelsesgrad
	Varme- og elektrisitetsproduksjon	Energieffektivitet – effektivitetsfaktor

INNHALDSFORTEGNELSE

	Side
1 SAMMENDRAG OG KONKLUSJON	3
1.1 NORSK DEFINISJON	3
1.2 EU-DEFINISJON – METODE 1	3
1.3 EU-DEFINISJON – METODE 2	4
1.4 FORSLAG TIL NORSK DEFINISJON	4
2 EFFEKTIVITET FOR AVFALLSFORBRENNINGSANLEGG.....	5
2.1 VIRKNINGSGRADER – RAMMEBETINGELSER OG BEGRENSNINGER.....	5
2.2 NORSKE MYNDIGHETERS DEFINISJON AV ENERGIUTNYTTELSE.....	6
2.2.1 Innledning	6
2.2.2 Energiutnyttelse – energiutnyttelsesgrad.....	6
2.3 EUs DEFINISJONER AV ENERGIUTNYTTELSE	8
2.3.1 Innledning	8
2.3.2 Gjenvinningstiltak og energieffektivitet/energiutnyttelse – EU-metode 1.....	9
2.3.3 Gjenvinningstiltak og energieffektivitet/energiutnyttelse – EU-metode 2.....	13
2.4 BEREGNINGSEKSEMPLER – NORSK METODE OG EU-METODE 1	14
2.4.1 Eksempel 1 – avfallsforbrenningsanlegg for varme- og el.produksjon.....	14
2.4.2 Eksempel 2 – avfallsforbrenningsanlegg for varmeproduksjon	15
2.5 OPPSUMMERING – SAMMENLIGNING AV DEFINISJONER/METODIKK	16
2.5.1 Norsk definisjon.....	16
2.5.2 EU-definisjon – metode 1	16
2.5.3 EU-definisjon – metode 2.....	17
2.5.4 Forslag til norsk definisjon	17
3 REFERANSER	18

1 SAMMENDRAG OG KONKLUSJON

Det råder en viss forskjell mellom norske myndigheters (SFTs) og EUs tolkning av energiutnyttelse, energiutnyttelsesgrad og energieffektivitet for avfallsforbrenningsanlegg. Dessuten er det en viss usikkerhet blant forbrenningsanleggene i Norge med hensyn til definisjon av disse begrepene. Avfall Norge AS ønsker å få avklart dette spørsmålet og komme frem til et forslag til entydige definisjoner.

Rapporten tar for seg begrepene *energiutnyttelse* og *energiutnyttelsesgrad* for avfallsforbrenningsanlegg slik de er definert av Statens Forurensningstilsyn (SFT). EU-kommisjonens definisjoner for *energieffektivitet* ("Energy Efficiency") og *effektivitetsfaktor* ("Plant Efficiency Potential") for denne typen installasjoner er også presentert og sammenlignet med den norske definisjonen.

1.1 NORSK DEFINISJON (presentert side 6-8)

Norske myndigheters metode (SFT) for beregning av energiutnyttelse (E_u) og *energiutnyttelsesgrad* (E_{ug}) baserer seg på målinger av termiske og elektriske energimengder med entydig systemgrense:

- Årlig produsert termisk energimengde (T_e) og elektrisk energimengde (E_n) levert eksternt. Dette inkluderer også eventuell eksport av damp til industri.
- Årlig produsert termisk energimengde *utnyttet internt utenfor* energiproduksjonssystemet (T_i)
- Årlig produsert elektrisk energimengde *utnyttet internt utenfor* energiproduksjonssystemet (E_i)
- Årlig netto produsert termisk energimengde for energisentralen (E_p)

Energiutnyttelsesgraden (E_{ug}) beregnes som forholdet mellom summen av årlig produsert termisk og elektrisk energimengde levert eksternt samt utnyttet internt utenfor energisentralen/forbrenningsanlegget (T_e, E_n, T_i, E_i), og årlig produsert termisk energimengde fra energisentralen (E_p), Ligning 1.1:

$$E_{ug} = \left(\frac{T_e + T_i + E_n + E_i}{E_p} \right) = \left(\frac{E_u}{E_p} \right) \quad (1.1)$$

Norske myndigheter krever at avfallsforbrenningsanlegg skal ha *minimum 50%* energiutnyttelsesgrad.

Beregningsmetoden tar hensyn til tilbakeført termisk energi til energiproduksjonssystemet ved at dette reduserer netto levert termisk energi levert fra energisentralen (E_p), tap ved eventuell elektrisitetsproduksjon samt termisk energi som ikke kan utnyttes pga. manglende avsetning (kjøles bort). Beregningsmetoden inkluderer derimot *ikke* spesifikt energiinnhold i avfallet, tilført energi i form av brensel til varme-/dampproduksjon og tap i selve forbrenningsprosessen (røykgasstap, tap i aske osv.).

1.2 EU-DEFINISJON – METODE 1 (presentert side 8-12)

I henhold til EUs nye avfallsdirektiv, som vil trå i kraft 1. juli 2009 (EC, 2008), skal beregning av *energieffektivitet* ("Energy Efficiency", η_w) baseres på årlig produksjon av termisk og elektrisk energi (E_p), årlig energimengde i innfyrt avfall basert på nedre brennverdi (E_w), tilført årlig energimengde fra eventuelle brenslere som bidrar til produksjon av damp/varme i avfallsforbrenningsanlegget (E_f) samt årlig importert energimengde som ikke bidrar til damp-/varmeproduksjon (E_i), Ligning 1.2.

$$\eta_w = \frac{E_p - (E_f + E_i)}{(0,97 \cdot (E_w + E_f))} \quad (1.2)$$

I henhold til EU-metode 1 er kravene til energieffektivitet (η_w) som følger:

- Minst 60% energieffektivitet, dvs. $\eta_w \geq 0,60$, for avfallsforbrenningsanlegg i drift og godkjent i henhold til nasjonal/kommunal lovgivning før 1. januar 2009
- Minst 65% energieffektivitet, dvs. $\eta_w \geq 0,65$, for avfallsforbrenningsanlegg godkjent etter 31. desember 2008

For å kunne foreta en kvalitativ sammenligning av virkningsgrader (energiutnyttelse) for ulike typer avfallsforbrenningsanlegg, dvs. anlegg som produserer kun elektrisitet, kun varme eller både elektrisitet og varme, er det bestemt at årlig levert elektrisk og termisk energimengde skal multipliseres med henholdsvis 2,6 og 1,1. Det skal dessuten benyttes en korreksjonsfaktor på 0,97 for å ta hensyn til energitap i bunnaske samt stråling. Beregningene skal gjøres i henhold til metodikken i dokumentet ”*Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration*” (EC, 2006).

1.3 EU-DEFINISJON – METODE 2 (presentert side 13-14)

En alternativ EU-metode som kan benyttes for sammenligning av energiutnyttelsesgrad for ulike avfallsforbrenningsanlegg har fått betegnelsen *effektivitetsfaktor* (”Plant Efficiency Potential”, PI_{ef}) (EC, 2006). Metoden beregner ikke avfallsforbrenningsanleggets virkningsgrad, men viser isteden sammenhengen mellom årlig energimengde (termisk, elektrisk) som gjenvinnes fra avfallet og årlig behov for brensler og elektrisitet for drift av anlegget. Effektivitetsfaktoren er gitt av årlig eksportert (solgt) energimengde (O_{exp}) minus årlig energimengde i brensler som benyttes til damp-/varmeproduksjon (E_f) og årlig importert energimengde (E_{imp}) dividert på total årlig tilført energimengde (varme, elektrisitet, brensler) for drift av avfallsforbrenningsanlegget (E_f , E_{imp}) inkl. energi som er produsert og tilbakeført i anlegget (E_{circ}), Lign. 1.3.

$$PI_{ef} = \frac{(O_{exp} - (E_f + E_{imp}))}{(E_f + E_{imp} + E_{circ})} \quad (1.3)$$

Som for EU-metode 1 skal årlig eksportert elektrisk og termisk energimengde multipliseres med henholdsvis 2,6 og 1,1. Ettersom metoden ikke inkluderer energiinnholdet i innfyrt avfall (E_w), er den kun ”gyldig” når en sammenligner forbrenningsanlegg som benytter samme type avfall.

1.4 FORSLAG TIL NORSK DEFINISJON

Det nye EU-direktivet på avfall vil implementeres fra 1. juli 2009. Det vil derfor være naturlig at norske myndigheter legger opp til at energiutnyttelsesgraden eller energieffektiviteten for norske avfallsforbrenningsanlegg skal beregnes i henhold til EUs ”*Directive of the European Parliament and of the Council on Waste*” (EC, 2008) og i samsvar med dokumentet ”*Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration*” (EC, 2006), omtalt som EU-metode 1 på side 8-12 i denne rapporten. Hovedforskjellen mellom denne metoden og dagens praksis for beregning av energiutnyttelsesgrad i Norge, er at det kreves kjennskap til midlere nedre brennverdi for innfyrt avfall i tillegg til årlig importert energimengde i form av elektrisitet og brensler for drift av avfallsforbrenningsanlegget.

EFFEKTIVITET FOR AVFALLSFORBRENNINGSANLEGG

1.5 VIRKNINGSGRADER – RAMMEBETINGELSER OG BEGRENSNINGER

Maksimalt damptrykk-/temperatur i avfallsforbrenningsanlegg, og følgelig maks. oppnåelig kjelvirkningsgrad og elektrisk virkningsgrad for anlegg som produserer elektrisitet, er begrenset av høytemperatur korrosjon og beleggdannelse i bl.a. kjelsystemet. EC (2006) oppgir følgende maks. damptrykk-/temperaturer:

- 60-80 bar og 530°C – anlegg hvor det er gjort helt spesielle tiltak for å begrense korrosjon
- 40-45 bar og 380-400°C – anlegg som forbrenner kommunalt avfall og som kun produserer elektrisitet. 30 bar og 300°C er typiske verdier for anlegg som forbrenner miljøskadelig/farlig avfall.
- 25-30 bar og 250-350°C – anlegg som forbrenner kommunalt avfall og som kun leverer varme/damp

Maksimalt oppnåelig kjelvirkningsgrad ved fullast (EC, 2006):

- 80-90% med høyeste verdi for anlegg med fluidisert bed og 160°C røykgasstemperatur

Maksimalt oppnåelig elektrisk virkningsgrad ved gitte damptrykk-/temperaturer (EC, 2006):

- 25% – 60 bar og 420°C
- 30% – 80 bar og 500°C

Eksempel – for 8 kommunale avfallsforbrenningsanlegg i drift lå brutto elektrisk virkningsgrad i området 12,9 til 22%, mens netto elektrisk virkningsgrad lå i området 8,7 til 18% (EC, 2006).

I forbrenningsanlegg for kommunalt avfall vil en kunne produsere i størrelsesorden 0,3 til 0,7 MWh elektrisitet per tonn avfall. I anlegg som produserer både elektrisitet og varme (CHP-anlegg) kan en i tillegg til produsert elektrisitet levere anslagsvis 1,25 til 1,50 MWh varme per tonn avfall ved full last (EC, 2006). Spesifikk elektrisitets- og varmeproduksjon er avhengig av en rekke parametere som bl.a. anleggsstørrelse, maksimalt damptrykk-/temperatur i kjelsystemet og avfallens brennverdi [kJ/kg].

Tabell 2.1 gir en oversikt over *oppnåelig energieffektivitet* for ulike typer avfallsforbrenningsanlegg som leverer kun elektrisitet, kun varme/damp eller både elektrisitet og varme/damp (CHP-anlegg). Energieffektiviteten er i dette tilfellet definert som årlig leveranse av elektrisitet og varme/damp [GJ/år] dividert på årlig energileveranse fra kjelanlegget [GJ/år] (EC, 2006).

Tabell 2.1 Oppnåelig energieffektivitet for ulike typer avfallsforbrenningsanlegg (EC, 2006).

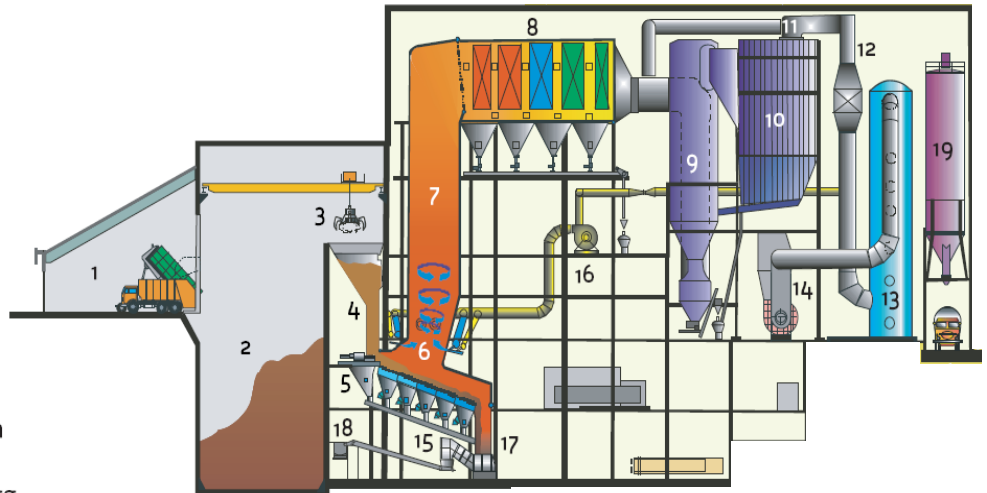
Anleggstype – type energileveranse	Oppnåelig energieffektivitet [%]
• Kun elektrisitetsproduksjon	17-30
• Kun varme-/dampproduksjon	80-90
• Kraftvarmeverk (CHP) – elektrisitet + varme/damp	70-85
• Kraftvarmeverk (CHP) samt anlegg for kun varmeproduksjon med utkondensering av vann i røykgassen	85-95
• Kraftvarmeverk (CHP) samt anlegg for kun varmeproduksjon med utkondensering av vann i røykgassen og bruk av varmepumpe	90-100

Oppnåelig energieffektivitet er avhengig av forbrenningsanleggets eget forbruk av varme, elektrisitet og eventuelt brensel. Hvis en ikke tar med eget forbruk i beregningene vil beregnet effektivitet for visse installasjoner kunne komme opp mot 100%. I Tabell 2.1 er det ikke tatt hensyn til kjelvirkningsgraden eller andre energibehov for forbrenningsanlegget (varme, elektrisitet, brensel).

I følge Tabell 2.1 vil avfallsforbrenningsanlegg som kun produserer elektrisitet oppnå i størrelsesorden 17 til 30% virkningsgrad ut i fra den gitte definisjonen (EC, 2006). I Norge er det relativt få anlegg som produserer elektrisitet.

Figur 2.1 viser en prinsipiell skisse av et avfallsforbrenningsanlegg som kun produserer varme for leveranse til et fjernvarmenett (TEF, 2007).

- 1 Mottakshall
- 2 Avfallsbunker
- 3 Avfallskran
- 4 Innmatingsstrakt
- 5 Doseringsstøter
- 6 Forbrenningsrist
- 7 Sekundærkammer
- 8 Hetvannskjel
- 9 Reaktor
- 10 Posefilter
- 11 By-passkanal
- 12 Economiser
- 13 Scrubber
- 14 Røygassvifte
- 15 Primærluftsystem
- 16 Røygass resirkulasjon
- 17 Slaggutmater
- 18 Transportbånd for slagg
- 19 Silo for støv og flyveaske



Figur 2.1 Eksempel på avfallsforbrenningsanlegg for varmeproduksjon til fjernvarmenett (TEF, 2007).

1.6 NORSKE MYNDIGHETERS DEFINISJON AV ENERGIUTNYTTELSE

1.6.1 Innledning

I den norske forskriften om gjenvinning og behandling av avfall (FOR 2004-06-01 nr. 930 – Avfallsforskriften – http://www.sft.no/seksjonsartikkel_29297.aspx), omtales energiutnyttelse for avfallsforbrenningsanlegg under § 10.10, ”Forbrenning av avfall – energiutnyttelse”:

Forbrenningsanlegg skal utformes, bygges og drives på en slik måte at all termisk energi generert av forbrenningsprosessen utnyttes så langt det er praktisk gjennomførbart.

I henhold til SFT er intensjonen med § 10.10 at det skal settes konkrete krav til energiutnyttelse i tillatelser til avfallsforbrenningsanlegg basert på en skjønnsvurdering i hver enkelt sak (SFT, 2007). *Krav om 50% energiutnyttelsesgrad er å anse som et minimumskrav.* Kravet ble satt ut i fra en målsetting om å oppnå en utnyttelsesgrad som gir høyest mulig samfunnsøkonomisk lønnsomhet. Dette medfører at avfallsforbrenningsanlegg ikke bare kan basere seg på produksjon av elektrisitet, men også må produsere varme.

Per 1. juli 2004 ble det i Norge gjort endringer i beregningen av sluttbehandlingsavgiften, slik at den i dag ikke lenger ”premierer” avfallsforbrenningsanlegg med høy energiutnyttelse. I følge Statens Forurensningstilsyn (SFT) medfører dette at det er behov for å stille strenge krav til energiutnyttelsesgrad i tillatelser til denne typen anlegg (SFT, 2007).

1.6.2 Energiutnyttelse – energiutnyttelsesgrad

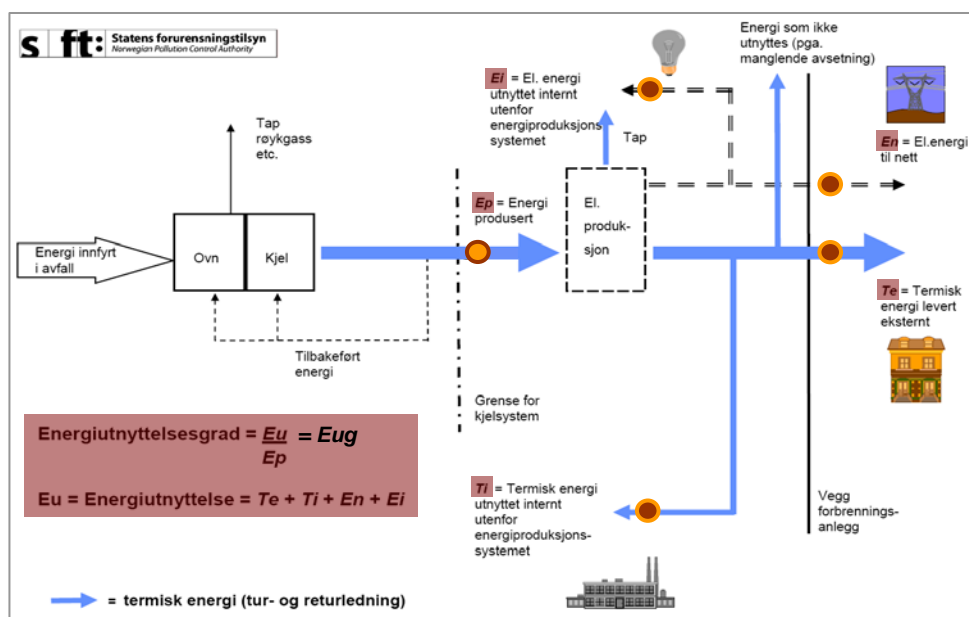
I følge norske myndigheter er *energiutnyttelse (Eu)* og *energiutnyttelsesgrad (Eug)* for et avfallsforbrenningsanlegg definert som følger, henholdsvis Ligning 2.2 og 2.1 (SFT):

$$E_{ug} = \left(\frac{Te + Ti + En + Ei}{E_p} \right) = \left(\frac{E_u}{E_p} \right) \quad (2.1)$$

$$E_u = Te + Ti + En + Ei \quad (2.2)$$

- E_{ug} Energiutnyttelsesgrad [-]
- E_u Energiutnyttelse [MWh/år]
- T_e Årlig produsert termisk energimengde *levert eksternt* (eksportert) til fjernvarmenett og/eller industriprosesser [MWh/år]. Dette kan også inkludere damp til industri.
- T_i Årlig produsert termisk energimengde *utnyttet internt*, men *utenfor* energiproduksjonssystemet/energisentralen [MWh/år]
- E_n Årlig produsert elektrisk energimengde *levert eksternt* (eksportert) til elektrisitetsnett [MWh/år]
- E_i Årlig produsert elektrisk energimengde *utnyttet internt*, men *utenfor* energiproduksjonssystemet/energisentralen [MWh/år]
- E_p Årlig *netto* produsert termisk energimengde for energisentralen (avfallsforbrenningsanlegget) [MWh/år]. **Dette er ikke den samme E_p som benyttes i EUs beregning av energieffektivitet (ligning 2.3, side 9), dvs. $E_p \neq E_p$.**

Forenklet energiflyt i et avfallsforbrenningsanlegg inklusive de variable E_{ug} , E_u , T_e , T_i , E_n , E_i og E_p fra Ligning 2.1 og 2.2 er illustrert i Figur 2.2 (SFT).



Figur 2.2 Energiutnyttelse (E_u) og energiutnyttelsesgrad (E_{ug}) for avfallsforbrenningsanlegg (SFT).

Inkludert i modellen (Ligning 2.1, 2.2):

- Tilbakeført termisk energi internt i energiproduksjonssystemet
- Tap ved elektrisitetsproduksjon
- Termisk energi som ikke utnyttes pga. manglende avsetning eksternt (kjøles bort)
- Termisk og elektrisk energi levert internt men *utenfor* selve energiproduksjonssystemet (energisentralen). Denne energimengden regnes på samme måte som eksportert termisk og elektrisk energi.
- Termisk og elektrisk energi levert eksternt (fjernvarmesystem, industriprosess, elektrisitetsnett)

Ikke inkludert i modellen (Ligning 2.1 og 2.2):

- Spesifikt energiinnhold per tonn innfyrt avfall og brenslere (olje, gass osv.) [GJ/tonn]
- Tap i selve forbrenningsprosessen inkl. røykgasstap, tap i aske osv.

Oppvarming av matevann/returkondensat – I dampsystemer skal inngående vanntemperatur på kjelkretsen være minimum 105°C for å unngå opphopning av inertgasser og korrosjon pga. oksygen. Hvis temperaturen på returkondensatet er lavere enn minstekravet må vannet varmes opp. I Norge har det vært diskutert om tilført energi for oppvarming av matevann/returkondensat skal inngå i mengde utnyttet energi (energiutnyttelsen), Eu , og dermed bidra til å øke energiutnyttelsesgraden Eug .

I dampanlegg avgis varme (termisk energi) ved avkjøling av overhettete damp ned til metningspunktet (utkondensering) samt ved eventuelt underkjøling av kondensatet (høytemperatur vann). Hvis returkondensatet til forbrenningsanlegget er underkjølt må det varmes opp til minimum temperaturnivå.

I Figur 2.2 er systemgrensen satt mellom grensen for kjelsystemet og veggen i forbrenningsanlegget. Med henvisning til Ligning 2.1 og 2.2 (SFT) inkluderer energiutnyttelsen (Eu) blant annet termisk energi levert eksternt til fjernvarmenett/industriprosess (Te) samt termisk energi utnyttet internt utenfor energiproduksjonssystemet/energisentralen (Ti). Ettersom avgitt varmemengde ved underkjøling av kondensatet under 105°C inngår i Te kan ikke samme energimengde også inngå i Ti ("dobbel bokholderi" må unngås). Det betyr i praksis at tilført energi for oppvarming av matevann/returkondensat ikke skal inngå i mengde utnyttet energi (energiutnyttelse), Eu .

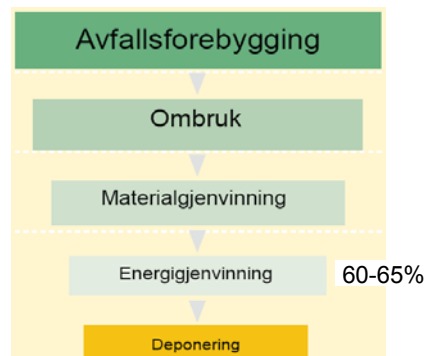
1.7 EUs DEFINISJONER AV ENERGIUTNYTTELSE

1.7.1 Innledning

I juni 2008 stemte EU-parlamentet over et nytt forslag til rammedirektiv for avfall, og direktivet vil bli endelig godkjent når Ministerrådet gir sin tilslutning (EC, 2008). Viktige punkter i det nye direktivet er:

- Innføring av konkrete mål for materialgjenvinning av husholdningsavfall og avfall av tilsvarende art og mengde fra andre kilder. For avfallstypene papir, metall, plast og glass skal det innføres separat innsamling og minst 50 % materialgjenvinning innen 2020. Antallet avfallstyper kan bli utvidet.
- Mål om 70 % materialgjenvinning av BA-avfall (bygg- og anleggsvirksomhet)
- Utarbeidelse av et eget direktiv på biologisk avfall
- Styrking av avfallshierarkiets posisjon, se Figur 2.3
- *Definisjon av gjenvinning, herunder definisjon av når et forbrenningsanlegg er et gjenvinningsanlegg. Krav til 60 % energiutnyttelse for eksisterende forbrenningsanlegg og 65 % for nye anlegg.*
- Utarbeidelse av spesifikke reguleringer for når avfall slutter å være avfall for inerte anleggsmasser; papir, glass, metall, dekk og tekstiler

Det relativt strenge kravet til energiutnyttelsesgrad skyldes styrkingen av avfallshierarkiets posisjon med større fokus på redusert avfallsmengde samt økt gjenbruk og resirkulering.



Figur 2.3 Illustrasjon av avfallshierarkiet (IEA, 2008).

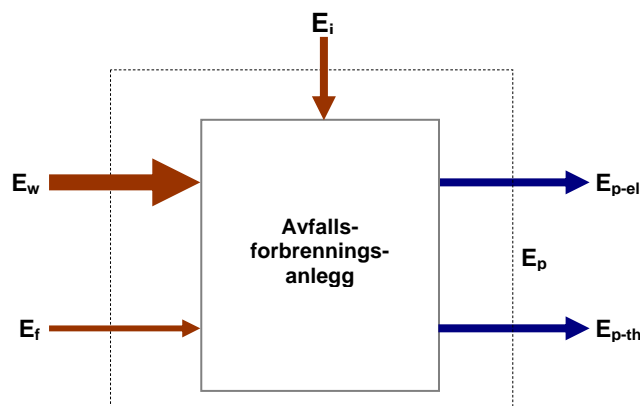
1.7.2 Gjenvinningstiltak og energieffektivitet/energiutnyttelse – EU-metode 1

I Annex II, Gjenvinningsmetoder, R1 – Avfall som prinsipielt benyttes for å produsere termisk og elektrisk energi er *energieffektivitet* ("Energy Efficiency") η_w definert som (EC, 2008):

$$\eta_w = \frac{E_p - (E_f + E_i)}{(0,97 \cdot (E_w + E_f))} = \frac{(E_{p-el} + E_{p-th}) - (E_f + E_i)}{(0,97 \cdot (E_w + E_f))} \quad (2.3)$$

- η_w Energieffektivitet ("energivirkningsgrad") for avfallsforbrenningsanlegget [-]
- E_p Årlig levert (eksportert) energimengde, elektrisitet og/eller varme/damp [MWh/år]. Levert *elektrisk* energimengde (E_{p-el}) multipliseres med **2,6**, mens levert *termisk* energimengde (E_{p-th}) levert for kommersiell bruk multipliseres med **1,1**. **Dette er ikke den samme E_p som benyttes i SFTs beregning av energiutnyttelsesgrad (ligning 2.2, side 7), dvs. $E_p \neq E_p$.**
- E_{p-el} Årlig leveranse (eksport) av *elektrisk energi* – inngår i E_p [MWh/år]
- E_{p-th} Årlig leveranse (eksport) av *termisk energi* – inngår i E_p [MWh/år]. Dette kan også inkludere damp til industri.
- E_w Årlig energimengde i innfyrt avfall (nedre brennverdi) [MWh/år]. Regnes som tilført primærenergi.
- E_f Tilført årlig energimengde fra *brensler* (olje, gass) som bidrar til produksjon av varme/damp i avfallsforbrenningsanlegget [MWh/år]. Regnes som tilført primærenergi.
- E_i Årlig importert energimengde som *ikke* bidrar til varme-/dampproduksjon. Dette kan f.eks. være gass, olje og elektrisitet (dvs. tilført primærenergi) som brukes på forbrenningsanlegget, men med annet formål enn varme-/dampproduksjon. E_w og E_f inngår *ikke* i E_i [MWh/år].
- 0,97 Korreksjonsfaktor som tar hensyn til energitap i bunnaske samt stråling [-]. I forbrenningsanlegg for kommunalt avfall utgjør bunnasken omlag 10% av volumet og 20-30% av vekten av innfyrt avfall (EC, 2006).

Figur 2.4 gir en prinsipiell framstilling av energistrømmene for et avfallsforbrenningsanlegg (jfr. likn. 2.3).



Figur 2.4 Prinsipiell framstilling av energistrømmer for et avfallsforbrenningsanlegg (EU-metode 1).

I følge det nye EU-direktivet skal Ligning 2.3 benyttes i henhold til referansedokumentet "*Best tilgjengelige teknologier for avfallsforbrenning (Integrated Pollution Prevention and Control – Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration)*" (EC, 2006).

Hvis en ikke tar hensyn til korreksjonsfaktorene for E_{p-el} og E_{p-th} viser Ligning 2.3 forholdet mellom netto energileveranse fra anlegget, dvs. årlig produsert termisk og elektrisk energimengde minus tilført energimengde i form av brensler og elektrisitet, og netto årlig tilført energimengde (avfall og evt. brensler) til forbrenningsprosessen. For Ligning 2.3 vil lokale klimatiske forhold kunne taes i betraktning ettersom dette påvirker behovet for lokal oppvarming og dermed netto levert energimengde fra anlegget, E_p (EC, 2008).

Årlig energimengde i innfyrt avfall – I motsetning til den norske beregningsmetoden for energiutnyttelsesgrad krever EU-metode 1 kjennskap til *midlere nedre brennverdi* (H_w) for innfyrt avfall, Nedre brennverdi for husholdningsavfall varierer en god del fra anlegg til anlegg. Når EUs nye avfallsdirektiv trer i kraft i 2009 vil økte krav til resirkulering/gjenvinning samt forbud mot deponering ha stor innvirkning på brennverdien for avfallet, og dermed på beregning av avfallsforbrenningsanleggets energieffektivitet (η_w).

I følge EC (2006) varierer midlere nedre brennverdi for husholdningsavfall typisk mellom 10,4 og 11,6 GJ/tonn, dvs. $11 \pm 0,6$ GJ/tonn eller 11 GJ/tonn $\pm 5,5\%$. Ligning 2.4 viser hvordan årlig energimengde i innfyrt avfall, E_w (MWh/år) beregnes på grunnlag av midlere nedre brennverdi H_w (GJ/tonn) og årlig mengde innfyrt avfall, M (tonn/år).

$$E_w = \frac{H_w \cdot M}{3,6} \quad (2.4)$$

E_w Årlig energimengde i innfyrt avfall (nedre brennverdi) [MWh/år]. Regnes som tilført primærenergi.

H_w Midlere nedre brennverdi for innfyrt avfall [GJ/tonn]

M Årlig mengde innfyrt avfall [tonn/år]

Kapittel 10.4 i EC (2006), "Energy Calculation Methodology and Example Calculation" viser et eksempel på beregning av nedre brennverdi for husholdningsavfall. Kathiravale et al. (2003) har sammenlignet ulike metoder for beregning av nedre brennverdi for husholdningsavfall, og kommet med konkrete anbefalinger med hensyn til valg av beregningsmetode.

Korreksjonsfaktorer – Korreksjonsfaktorene som skal benyttes ved beregning av årlig produsert energimengde E_p er innført for å kunne foreta en best mulig sammenligning av virkningsgrader/energiutnyttelse for ulike typer avfallsforbrenningsanlegg, dvs. anlegg som produserer kun termisk energi (varme), kun elektrisk energi eller både termisk og elektrisk energi (CHP-anlegg). Korreksjonsfaktorene, som tar hensyn til de uunngåelige tapene ved elektrisitets- og varmeproduksjon, er fastsatt som følger:

- Elektrisitetsproduksjon 2,6 Tilsvare ca. 38% virkningsgrad ($1/2,6 = ca. 0,38$)
- Varmeproduksjon 1,1 Tilsvare ca. 90% virkningsgrad ($1/1,1 = ca. 0,90$)

Faktorene sammenfaller til en viss grad med de primærenergifaktorene som skal benyttes i EUs nye bygningsdirektiv "The Energy Performance of Buildings Directive" (EC, 2002), dvs. omforente faktorer for nødvendig tilført primærenergi for å levere én enhet elektrisk eller energi. Disse faktorene er også knyttet opp mot relative spesifikke CO₂-utslipp (kg CO₂ per MWh) for ulike energibærere/-systemer.

Kravene til energieffektivitet ("Energy Efficiency") er som følger (EC, 2008):

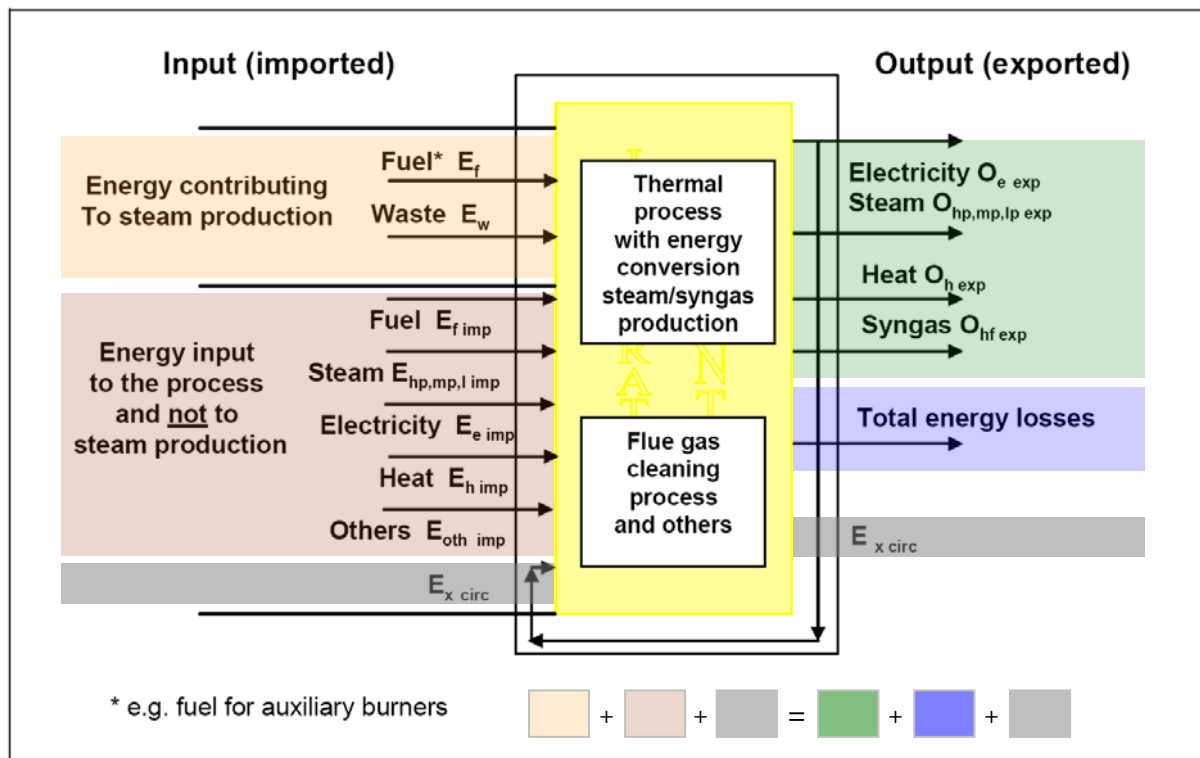
- Minst 60% energieffektivitet, dvs. $\eta_w \geq 0,60$, for avfallsforbrenningsanlegg i drift og godkjent i henhold til nasjonal/kommunal lovgivning før 1. januar 2009
- Minst 65% energieffektivitet, dvs. $\eta_w \geq 0,65$, for anlegg godkjent etter 31. desember 2008

Ved bruk av korreksjonsfaktorer som i Ligning 2.3 vil η_w ("Energy Efficiency") ikke gjenspeile *virkelig energieffektivitet* eller *energivirkningsgrad*. Energivirkningsgrad er per definisjon gitt av forholdet mellom totalt avgitt og tilført energimengde for et gitt energisystem uten bruk av korreksjonsfaktorer.

Figur 2.5 gir en oversikt over tilført og levert elektrisk og termisk energi for avfallsforbrenningsanlegg som leverer kun elektrisk energi, kun termisk energi (varme) eller både elektrisk og termisk energi, eventuelt også syntesegass (EC, 2006). Figuren er i prinsippet identisk med Figur 2.4, men gir et mer detaljert bilde av de ulike energistrømmene i anlegget.

Energibalansen i Figur 2.5 er som følger:

$$(E_w + E_f) + (E_f + E_{hp,mp,lp} + E_e + E_h + E_{oth})_{imp} + E_{x,circ} = (O_e + O_{hp,mp,lp} + O_h + O_{hf})_{exp} + E_{x,circ} + \text{energitalp} \quad (2.5)$$



Figur 2.5 Prinsipiell framstilling av overordnet energiflyt for avfallsforbrenningsanlegg utarbeidet av BREF ESG¹ (EC, 2006).

Tilført energi ("Energy Input – Imported")

Tilført (importert) energi som bidrar til varme-/dampproduksjon i avfallsforbrenningsanlegget

- Brensel (*fuel*) E_f Som E_f i Ligning 2.3
- Avfall (*waste*) E_w Som E_w i Ligning 2.3

Tilført (importert) energi som ikke bidrar til varme-/dampproduksjon – tilsvarende E_i i Ligning 2.3

- Brensel (*fuel*) E_{f-imp}
- Damp (*steam*) $E_{hp,mp,lp-imp}$ Damp ved høy, middels og lavt trykk
- Elektrisitet (*electricity*) E_{e-imp}
- Varme (*heat*) E_{h-imp}
- Andre kilder (*others*) $E_{oth-imp}$
- Elektrisitet (*electricity*) E_{x-circ} Intern bruk av egenprodusert elektrisitet. Er *ikke* inkl. i E_i .

Kun energi som inngår i selve avfallsforbrenningsanlegget skal inkluderes i energiregnskapet. Det skal skilles mellom tilført energi som direkte bidrar til varme-/dampproduksjon og annen tilført energi til anlegget (elektrisk, termisk, brensel). Ved sammenligning av ulike avfallsforbrenningsanlegg må det trekkes samme systemgrense med hensyn til tilførsel av elektrisk energi, termisk energi og brensel til anleggene.

¹ Best Available Techniques (BAT) Reference Document (BREF) – Energy Subgroup (ESG) of the Technical Working Group

Følgende *tilførte energimengder* skal inkluderes i energiregnskapet (Ligning 2.3):

- Tilført elektrisk og termisk energi for eventuell knusing, oppmaling og eventuelt tørking av benyttet avfall i avfallsforbrenningsanlegget
- Tilført elektrisitet for drift av f.eks. pumper, vifter og diverse mekaniske innretninger i avfallsforbrenningsanlegget
- Elektrisk og termisk energi som benyttes til ettervarming av røykgass osv. skal inkluderes så lenge energien helt eller delvis benyttes til å dekke nødvendige energibehov for den totale forbrenningsprosessen. Røykgassrensning inngår som en helt nødvendig del av dette.
- Tilført brensel (olje, gass osv.), som f.eks. benyttes til å starte opp og eventuelt vedlikeholde forbrenningsprosessen, dvs. opprettholde høy nok forbrenningstemperatur

Følgende *tilførte energimengder* skal ikke inkluderes i energiregnskapet (Ligning 2.3):

- Tilført brensel som benyttes som spisslast (tilleggsvarme) i et eventuelt fjernvarmesystem ettersom dette er frikoblet fra selve avfallsforbrenningsanlegget.
- Energibehov knyttet til innsamling av avfall, transport av avfall samt ekstern behandling. Ved gjennomføring av livssyklusanalyser (LCC²-analyse) med utvidet systemgrense (f.eks. komplett fjernvarmesystem med avfallsforbrenningsanlegg, sentral distribusjon av varmt vann i fjernvarmenett, drift av undersentraler samt drift av vannbårne varmedistribusjonssystemer lokalt i bygg) vil det imidlertid være aktuelt å inkludere denne typen energibruk i det totale LCC-regnskapet.

Leverert energi ("Energy output – Exported")

Leverert (eksportert) energi fra avfallsforbrenningsanlegget. Tilsvarende $E_p = E_{p-th} + E_{p-el}$ i Ligning 2.3.

- Elektrisitet (*electricity*) O_{e-exp}
- Damp (*steam*) $O_{hp,mp,lp-exp}$
- Varme (*heat*) O_{h-exp}
- Syntesegass (*syngas*) O_{hf-exp} Prosessgass generert ved gassifisering/pyrolyse
- Elektrisitet (*electricity*) E_{x-circ} Intern bruk av egenprodusert elektrisitet. Er *ikke* inkl. i E_p .

Kommentarer mht. hvilke *leverte energimengder* som skal inkluderes i energiregnskapet (Ligning 2.3):

- Kun *netto* eksportert energimengde fra avfallsforbrenningsanlegget skal inkluderes i energiregnskapet, dvs. brutto energiproduksjon (elektrisk, termisk og eventuelt syntesegass) minus produsert elektrisk og termisk energi som benyttes internt for å drive avfallsforbrenningsanlegget.
- Elektrisk og termisk energi for oppvarming av kontorer og belysning på forbrenningsanlegget skal kun inkluderes hvis nøyaktige data er tilgjengelige, og det ønskes en særlig detaljert beregning. Denne energimengden er normalt neglisjerbar i forhold til total leverert energimengde fra anlegget.
- Det skal ikke benyttes fratrukket for elektrisk energi som benyttes til å drive et eventuelt fjernvarmeanlegg, dvs. elektrisk energi for drift av pumper og annet nødvendig teknisk utstyr utenfor selve forbrenningsanlegget. Denne energimengden vil eventuelt inngå i netto eksportert energi, E_{p-el} .

² LCC – Life Cycle Cost

1.7.3 Gjenvinningstiltak og energieffektivitet/energiutnyttelse – EU-metode 2

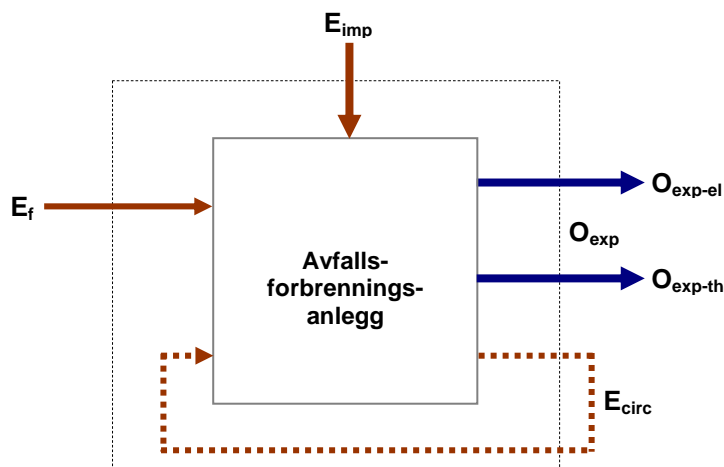
I tillegg til EU-metode 1 beskrevet i Kapittel 2.2.2 er det utarbeidet en alternativ EU-metode for sammenligning av energiutnyttelsesgraden for avfallsforbrenningsanlegg – anleggets *effektivitetsfaktor* ("Plant Efficiency Potential"), Pl_{ef} (EC, 2006). Denne metoden beregner ikke anleggets virkningsgrad, men sammenligner årlig netto elektrisk og termisk energimengde som eksporteres fra anlegget med årlig tilført energimengde eksklusive energimengde i innfyrt avfall. Ligning 2.6.

$$Pl_{ef} = \frac{(O_{exp} - (E_f + E_{imp}))}{(E_f + E_{imp} + E_{circ})} \quad (2.6)$$

- Pl_{ef} Effektivitetsfaktor for avfallsforbrenningsanlegget ("Plant Efficiency Potential") [-]
- E_f Årlig tilført energimengde til systemet fra brenslere som bidrar til damp-/varmeproduksjon [MWh/år]
- E_{imp} Årlig importert energimengde for drift av avfallsforbrenningsanlegget [MWh/år] – energi fra innfyrt avfall er *ikke* inkl.
- E_{circ} Årlig resirkulert energimengde, dvs. energi produsert av anlegget men *brukt internt* i anlegget [MWh/år]
- O_{exp} Årlig levert (eksportert) energimengde, varme og/eller elektrisitet [MWh/år]. Eksportert *elektrisk* energimengde (O_{exp-el}) multipliseres med **2,6**, mens *termisk* energimengde (O_{exp-th}) levert/eksportert for kommersiell bruk multipliseres med **1,1**.

Ligning 2.6 viser årlig eksportert (solgt) energimengde minus årlig importert energimengde (brenslere og elektrisitet) dividert på årlig totalt tilført energimengde (varme, elektrisitet – eksklusive innfyrt avfall) for drift av avfallsforbrenningsanlegget. Ettersom ligningen *ikke* inkluderer energiinnholdet i innfyrt avfall er den kun "gyldig" når en sammenligner forbrenningsanlegg som benytter samme type avfall. Eksportert elektrisk og termisk energimengde skal jfr. O_{exp} i Ligning 2.6 multipliseres med gitte korreksjonsfaktorer, henholdsvis 2,6 for eksportert elektrisk energi og 1,1 for eksportert termisk energi (varme).

Figur 2.6 gir en prinsipiell framstilling av energistrømmene for et avfallsforbrenningsanlegg (jfr. likn. 2.6).



Figur 2.6 Prinsipiell framstilling av energistrømmene for et avfallsforbrenningsanlegg (EU-metode 2).

Tabell 2.2 gir et eksempel på beregnet effektivitetsfaktor for avfallsforbrenningsanlegg for kombinert elektrisitets- og varmeproduksjon (CHP), kun elektrisitetsproduksjon og kun varmeproduksjon (EC, 2006).

Tabell 2.2 Eksempel på beregnet effektivitetsfaktor for ulike typer avfallsforbrenningsanlegg (EC, 2006).

Energiproduksjon	Antall anlegg	Min.	Gj.snitt	Maks.
Varme og elektrisitet – Pl_{ef-CHP}	50	0,6	2,0	7,1
Kun elektrisitet – $Pl_{ef-elektrisitet}$	8	0,6	1,2	1,6
Kun varme – $Pl_{ef-varme}$	15	1,0	2,8	7,1

Når effektivitetsfaktoren (Pl_{ef}) er større enn 1 betyr det at anlegget eksporterer mer energi enn det som trengs for å drive forbrenningsprosessen (eks. energimengden i innfyrt avfall). Effektivitetsfaktorer lavere enn 1 kan oppstå når en brenner avfall med svært lav brennverdi.

1.8 BEREGNINGSEKSEMPLER – NORSK METODE OG EU-METODE 1

Det har blitt foretatt en gjennomregning av energieffektiviteten for to norske avfallsforbrenningsanlegg for henholdsvis kombinert varme-/elektrisitetsproduksjon og kun varmeproduksjon i henhold til *norsk metode* (Ligning 2.1 og 2.2 side 7) og *EU-metode 1* (Ligning 2.3 side 9). Dette er kun ment som eksempler på bruk av formelverket, og er ikke et generelt fasitsvar for hvordan det skal regnes.

1.8.1 Eksempel 1 – avfallsforbrenningsanlegg for varme- og elektrisitetsproduksjon

Avfallsforbrenningsanlegget, som benyttes til kombinert elektrisitets- og varmeproduksjon, har en damp-turbingenerator (20 bar, 360°C) og forbrenner ca. 44.000 tonn avfall per år. Anlegget eksporterer elektrisitet og leverer varme til et fjernvarmenett.

1.8.1.1 Beregningsmetodikk i hht. norsk metode

- A – Årlig *brutto* produsert termisk energimengde for energisentralen 118.000 MWh/år
- B – Årlig energimengde i returkondensat til kjelsystem 13.000 MWh/år
- Te – Årlig produsert termisk energimengde levert eksternt (eksportert) 36.060 MWh/år
- En – Årlig produsert elektrisk energimengde levert eksternt (eksportert) 13.536 MWh/år

Årlig *netto* produsert termisk energimengde for energisentralen (forbrenningsanlegget), E_p :

$$E_p = (A - B) = (118.000 - 13.000) \text{ MWh/år} = 105.000 \text{ MWh/år}$$

Energiutnyttelsesgrad E_{ug} (SFT), jfr. Ligning 2.1 og 2.2 side 7:

$$E_{ug} = \left(\frac{Te + Ti + En + Ei}{E_p} \right) = \left(\frac{E_u}{E_p} \right) = \left(\frac{36.060 + 0 + 13.536 + 0}{105.000} \right) = 0,472 = 47,2\%$$

1.8.1.2 Beregningsmetodikk i hht. EUs metode

- E_{p-th} – Årlig leveranse (eksport) av termisk energi 36.060 MWh/år
- E_{p-el} – Årlig leveranse (eksport) av elektrisk energi 13.536 MWh/år
- E_f – Årlig tilført energimengde fra brensler for oppvarming av ovn 658 MWh/år
- E_i – Årlig tilført elektrisk energimengde for forbehandlingsanlegg, kvern og kran 4.905 MWh/år
- H_w – Estimert nedre brennverdi for avfall 10,9 MJ/kg
- M – Årlig forbrent mengde avfall 43.300 tonn/år

Årlig energimengde i innfyrt avfall, E_w , jfr. Ligning 2.4 side 10:

$$E_w = H_w \cdot M = (10,9 \cdot 43.300) / 3,6 = 131.103 \text{ MWh/år}$$

Energieffektivitet η_w (EC, 2008), jfr. Ligning 2.3 side 9:

$$\eta_w = \frac{(2,6 \cdot E_{p-el} + 1,1 \cdot E_{p-th}) - (E_f + E_i)}{0,97 \cdot (E_w + E_f)} = \frac{[(2,6 \cdot 13.536) + (1,1 \cdot 36.060)] - (658 + 4.905)}{0,97 \cdot (131.103 + 658)} = 0,542 = 54,2\%$$

1.8.2 Eksempel 2 – avfallsforbrenningsanlegg for varmeproduksjon

Avfallsforbrenningsanlegget, som kun benyttes til varmeproduksjon, forbrenner ca. 140.000 tonn avfall per år. Anlegget leverer varme til et fjernvarmenett.

1.8.2.1 Beregningsmetodikk i hht. norsk metode

- E_p – Årlig produsert energimengde for energisentralen 370.000 MWh/år
- T_e – Årlig produsert termisk energimengde levert eksternt (eksportert) 306.000 MWh/år
- T_i – Årlig produsert termisk energimengde utnyttet internt 0 MWh/år

Energiutnyttelsesgrad E_{ug} (SFT), jfr. Ligning 2.1 og 2.2 side 7:

$$E_{ug} = \left(\frac{T_e + T_i + E_n + E_i}{E_p} \right) = \left(\frac{E_u}{E_p} \right) = \left(\frac{306.000 + 0 + 0 + 0}{370.000} \right) = 0,827 = 82,7\%$$

1.8.2.2 Beregningsmetodikk i hht. EUs metode

- E_{p-th} – Årlig leveranse (eksport) av termisk energi 306.000 MWh/år
- E_f – Tilført årlig energimengde fra brensler som bidrar til varmeproduksjon 2.500 MWh/år
- E_i – Årlig importert energimengde (el.) som ikke går til varmeproduksjon 10.000 MWh/år
- H_w – Estimert nedre brennverdi for avfall 10,9 MJ/kg
- M – Årlig forbrent mengde avfall 140.000 tonn

Årlig energimengde i innfyrt avfall, E_w , jfr. Ligning 2.4 side 10:

$$E_w = H_w \cdot M = (10,9 \cdot 140.000) / 3,6 = 423.889 \text{ MWh/år}$$

Energieffektivitet η_w (EC, 2008), jfr. Ligning 2.3 side 9:

$$\eta_w = \frac{(2,6 \cdot E_{p-el} + 1,1 \cdot E_{p-th}) - (E_f + E_i)}{0,97 \cdot (E_w + E_f)} = \frac{[(2,6 \cdot 0) + (1,1 \cdot 306.000)] - (2.500 + 10.000)}{0,97 \cdot (423.889 + 2.500)} = 0,784 = 78,4\%$$

1.9 OPPSUMMERING – SAMMENLIGNING AV DEFINISJONER/METODIKK

1.9.1 Norsk definisjon (presentert side 6-8)

Norske myndigheters metode (SFT) for beregning av energiutnyttelse (E_u) og *energiutnyttelsesgrad* (E_{ug}) baserer seg på målinger av termiske og elektriske energimengder med entydig systemgrense:

- Årlig produsert termisk energimengde (T_e) og elektrisk energimengde (E_n) levert eksternt. Dette inkluderer også eventuell eksport av damp til industri.
- Årlig produsert termisk energimengde *utnyttet internt utenfor* energiproduksjonssystemet (T_i)
- Årlig produsert elektrisk energimengde *utnyttet internt utenfor* energiproduksjonssystemet (E_i)
- Årlig netto produsert termisk energimengde for energisentralen (E_p)

Energiutnyttelsesgraden (E_{ug}) beregnes som forholdet mellom summen av årlig produsert termisk og elektrisk energimengde levert eksternt samt utnyttet internt utenfor energisentralen/forbrenningsanlegget (T_e , E_n , T_i , E_i), og årlig produsert termisk energimengde fra energisentralen (E_p), jfr. Ligning 2.1 side 7:

$$E_{ug} = \left(\frac{T_e + T_i + E_n + E_i}{E_p} \right) = \left(\frac{E_u}{E_p} \right) \quad (2.1)$$

Norske myndigheter krever at avfallsforbrenningsanlegg skal ha *minimum 50%* energiutnyttelsesgrad.

Beregningsmetoden tar hensyn til tilbakeført termisk energi til energiproduksjonssystemet ved at dette reduserer netto levert termisk energi levert fra energisentralen (E_p), tap ved eventuell elektrisitetsproduksjon samt termisk energi som ikke kan utnyttes pga. manglende avsetning (kjøles bort). Beregningsmetoden inkluderer ikke midlere spesifikt energiinnhold i innfyrt avfall, tilført energi i form av brensel til varme-/dampproduksjon og tap i selve forbrenningsprosessen (røykgasstap, tap i aske osv.).

1.9.2 EU-definisjon – metode 1 (presentert side 8-12)

I henhold til EUs nye avfallsdirektiv, som vil trå i kraft 1. juli 2009 (EC, 2008), skal beregning av *energieffektivitet* ("Energy Efficiency", η_w) baseres på årlig produksjon av termisk og elektrisk energi (E_p), årlig energimengde i innfyrt avfall basert på nedre brennverdi (E_w), tilført årlig energimengde fra eventuelle brenslere som bidrar til produksjon av damp/varme i avfallsforbrenningsanlegget (E_f) samt årlig importert energimengde som ikke bidrar til damp-/varmeproduksjon (E_i), jfr. Ligning 2.3 side 9.

$$\eta_w = \frac{E_p - (E_f + E_i)}{(0,97 \cdot (E_w + E_f))} \quad (2.3)$$

I henhold til EU-metode 1 er kravene til energieffektivitet (η_w) som følger:

- Minst 60% energieffektivitet, dvs. $\eta_w \geq 0,60$, for avfallsforbrenningsanlegg i drift og godkjent i henhold til nasjonal/kommunal lovgivning før 1. januar 2009
- Minst 65% energieffektivitet, dvs. $\eta_w \geq 0,65$, for avfallsforbrenningsanlegg godkjent etter 31. desember 2008

For å kunne foreta en kvalitativ sammenligning av virkningsgrader (energiutnyttelse) for ulike typer avfallsforbrenningsanlegg, dvs. anlegg som produserer kun elektrisitet, kun varme eller både elektrisitet og varme, er det bestemt at årlig levert elektrisk og termisk energimengde skal multipliseres med henholdsvis 2,6 og 1,1. Det skal dessuten benyttes en korreksjonsfaktor på 0,97 for å ta hensyn til energitap i bunnaske

samt stråling. Beregningene skal gjøres i henhold til metodikken i dokumentet ”*Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration*” (EC, 2006).

1.9.3 EU-definisjon – metode 2 (presentert side 13-14)

En alternativ metode som kan benyttes for sammenligning av energiutnyttelsesgrad for ulike avfallsforbrenningsanlegg har fått betegnelsen *effektivitetsfaktor* (”Plant Efficiency Potential”, Pl_{ef}) (EC, 2006). Metoden beregner ikke avfallsforbrenningsanleggets virkningsgrad, men viser sammenhengen mellom årlig energimengde (termisk, elektrisk) som gjenvinnes fra avfallet og årlig behov for brensler og elektrisitet for drift av anlegget. Effektivitetsfaktoren er gitt av årlig eksportert/solgt energimengde (O_{exp}) minus årlig energimengde i brensler som benyttes til damp-/varmeproduksjon (E_f) og årlig importert energimengde (E_{imp}) dividert på total årlig tilført energimengde (varme, elektrisitet, brensler) for drift av forbrenningsanlegget (E_f , E_{imp}) inkl. energi som er produsert og tilbakeført i anlegget (E_{circ}), jfr. Ligning 2.6 side 13.

$$Pl_{ef} = \frac{(O_{exp} - (E_f + E_{imp}))}{(E_f + E_{imp} + E_{circ})} \quad (2.6)$$

Som for EU-metode 1 skal årlig eksportert elektrisk og termisk energimengde multipliseres med henholdsvis 2,6 og 1,1. Ettersom metoden ikke inkluderer energiinnholdet i innfyrt avfall (E_w), er den kun ”gyldig” når en sammenligner forbrenningsanlegg som benytter samme type avfall.

1.9.4 Forslag til norsk definisjon

Det nye EU-direktivet på avfall vil implementeres fra 1. juli 2009. Det vil derfor være naturlig at norske myndigheter legger opp til at energiutnyttelsesgraden eller energieffektiviteten for norske avfallsforbrenningsanlegg skal beregnes i henhold til EUs ”*Directive of the European Parliament and of the Council on Waste*” (EC, 2008) og i samsvar med dokumentet ”*Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration*” – omtalt som EU-metode 1 side 8-12 i denne rapporten. Hovedforskjellen mellom denne metoden og dagens praksis for beregning av energiutnyttelsesgrad i Norge, er at det kreves kjennskap til midlere nedre brennverdi for innfyrt avfall i tillegg til årlig importert energimengde i form av elektrisitet og brensler for drift av avfallsforbrenningsanlegget.

2 REFERANSER

- EC, 2002: *Energy Performance of Buildings Directive* (EPBD, 2002/91/EC).
<http://www.buildingsplatform.org/cms/index.php?id=7>
- EC, 2006: *Integrated Pollution Prevention and Control. Reference Document for the Best Available Techniques for Waste Incineration*. European Commission. Council Directive 96/61 EC (IPPC Directive).
- EC, 2008: *Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on WASTE*. European Commission. SEC(2005) 1681.
- IEA, 2003: *Restavfall og dets rolle i bærekraftig utvikling*. IEA Bioenergy, ExCo 2003:02.
- Kathiravale, S., Yunus, M.N.M., Sopian, K., Samsuddin, A.H., Rahman, R.A., 2003: *Modelling the Heating Value of Municipal Solid Waste*. Article in Fuel 82, pp. 1119-1125. Elsevier. Science Direct.
- MD, 2004: *Forskrift om gjenvinning og behandling av avfall (avfallsforskriften)*. FOR 2004-06-01 nr 930. Miljøverndepartementet. <http://www.lovdata.no/cgi-wift/ldeles?doc=/sf/sf/sf-20040601-0930.html>
- SFT: Illustrasjon som viser beregning av energiutnyttelse (*Eu*) og energiutnyttelsesgrad (*Eug*) for avfallsforbrenningsanlegg. Utarbeidet av Statens Forurensningstilsyn (SFT).
- SFT, 2007: *Presisering av § 10.10 i avfallsforskriften om energiutnyttelse ved forbrenning av avfall*. Likelydende brev fra Statens forurensningstilsyn (SFT) til fylkesmennene, 30.030.2007. http://www.sft.no/nyheter/brev/avfallsforbrenning_og_energiutnyttelse_300307.pdf
- SFT, 2007: *Rammebetingelser fra miljømyndighetene. Energiutnyttelse av avfall*. Kari Aa, Statens Forurensningstilsyn (SFT). <http://www.slagenergigjenvinning.no/accounts/500250/File/12962.pdf>.
- TEF, 2007: *Fakta om Trondheim Energi fjernvarme*. Brosjyre fra Trondheim Energi Fjernvarme AS.

SINTEF Energiforskning AS
Adresse: 7465 Trondheim
Telefon: 73 59 72 00

SINTEF Energy Research
Address: NO 7465 Trondheim
Phone: + 47 73 59 72 00