



FORBRENNINGSANLEGG – I BRENSSEL OG UTSLIPP

**Internt miniseminar hos Fylkesmannen
24. september 2008 i Hamar.**

Innhold

- Brenselanalyser
- Forbrenning (kjemi)
- Røykgassmengder
- Teknologier ved forbrenning / styreteknologier
- Parametrer (O_2 , temp, CO og NO_x)
- Effekten fra en kjel(røykgassside / vannside)
- Støv rensing
- Støy reduksjon
- Aske
- Planlagt vedlikehold
- Kontrollere følgende !



Ulike former av biobrensel



Returvirke er utfordringen, hvor går grensen mellom avfall og biobrensel ?

”Treavfall, med unntak av treavfall som kan inneholde halogenerte organiske forbindelser eller tungmetaller som følge av overflatebehandling eller behandling med impregneringsmidler.”



Enheter Joule og kWh

- **J** (= Joule) som enhet for varmemengde. 4,19 J er den varme-mengden som skal til for å varme opp 1 gram vann 1 °C.
- 1 MJ = 1000 kJ = 1.000.000 J (mega = million)
- Varme opp 1 kg vann 100 °C går det med 419000 J = 0,419 MJ
-
- 1 J = 1 W i ett sekund (1 Ws), en Joule er altså den varmemengden som produseres ved å avgi én Watt ett sekund. Når det tas hensyn til at 1 time er lik 3.600 s (sekunder), får man følgende:
 - 1 kWh = 3.600 kW_s = 3.600 kJ.
 - 1 kWh = 860 Mcal
- Vanlig lettolje har et energiinnhold på ca. 43 MJ/kg eller ca. 43.000 kJ/kg. Ved å dele dette tallet på 3.600, får vi uttrykt oljens energiinnhold i kWh, 11,94 kWh/kg



KJEMISK ANALYSE AV BRENSEL

	Carbon TS	Hydrog. TS	Oksygen TS	Nitrogen TS	Aske TS	Vann	Brennv. kWh/kg TS	Brennv. kWh/kg
Skogsbr.	52%	6%	40%	0,3%	1,7%	50%	5,2	2,26
Bjerk, bark	56%	12%	30%	0,6%	1,4%	40%	7,8	4,41
Lettolje	86%	13%	-	-	-	-	11,9	11,9
Naturgass	75%	24%	-	-	-	-	13,6	13,6
Kull	75%	5%	6%	2%	12%	6%	9,7	9,5

Biobrensel er ikke standard uten individuelt etter treslag, tredeler, hvor det har vokst etc.

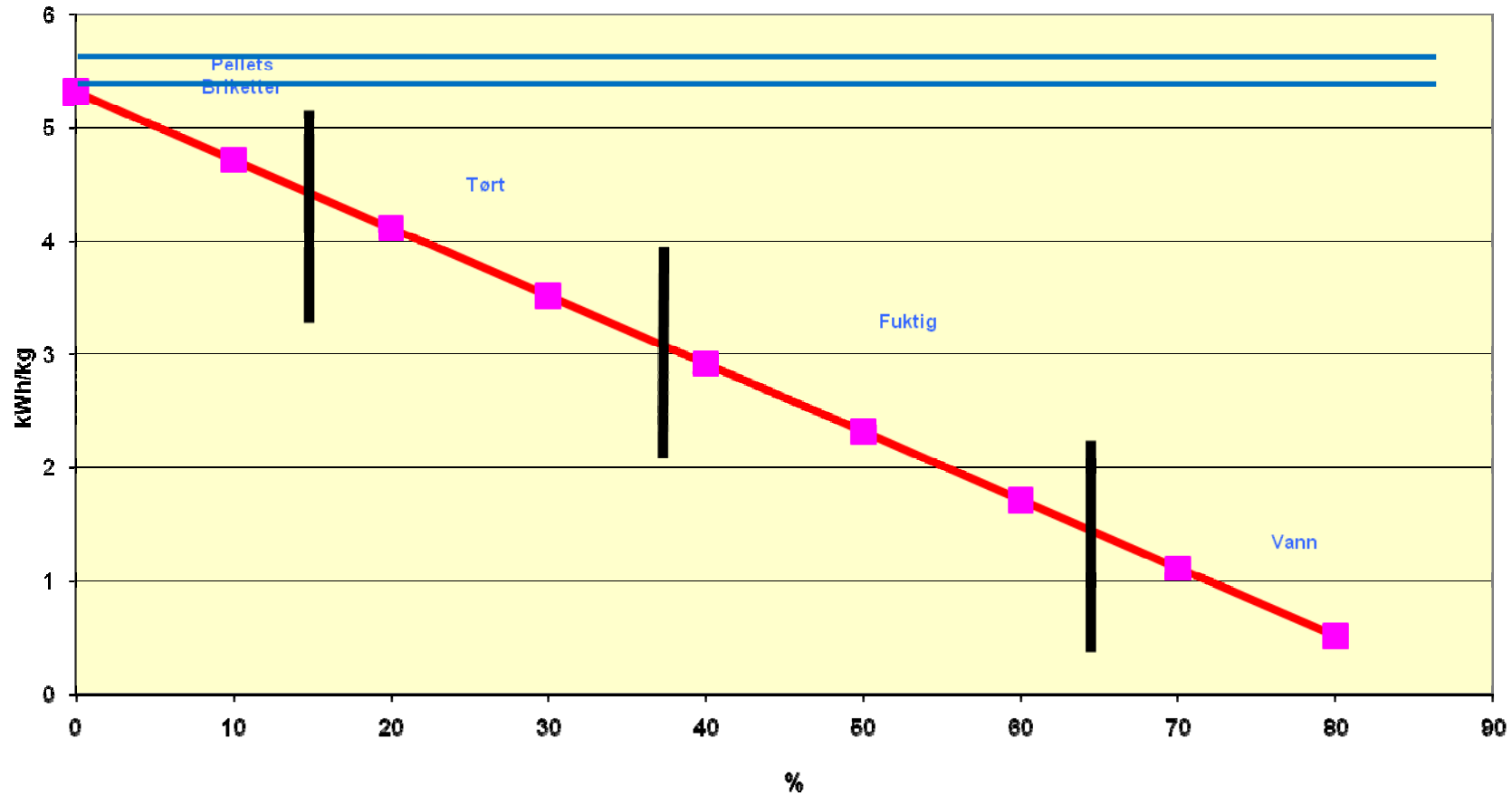


Brennverdi

- Brennverdien uttrykker hvilken energimengde som frigis ved fullstendig forbrenning.
 - **Øvre brennverdien** (H_0), brennverdien av absolutt tørt brensel, inklusive fordampningsvarmen fra vanndamp som dannes. Brukes i USA.
 - **Nedre brennverdien** (H_n), brennverdien uten vanndamp som dannes fra kjemisk bunnet vann i brenselet. 5,1-5,3 kWh/kg.
 - **Effektiv brennverdi** (H_e), nedre brennverdien redusert med fordampningsvarmen til det vannet som brenselet inneholder



Effektiv brennverdi kWh/kg som funksjon av fukt



$$h_{eff} = \left[h_n \left(1 - \frac{F}{100} \right) - 0,68 \frac{F}{100} \right] kWh / kg$$



SLU
 Avdelningen för kemi och biomassa
 Box 4097
 904 03 Umeå

MILJÖLABORATORIET I TRELLEBORG
 TULLSTORP ALMSLÅTT
 231 98 KLAGSTORP

Ankomstdatum: 980427

Provnr: 1998-00341-03

Märkning: BRÄNSLE PROV 1

Analys	Metod	Enhet	Resultat
Förhåll vid 105° C	SS 18 71 70	% av prov	49.1
Provmängd vid TS	SS 18 71 70	gram	1154
Askhalt vid 550° C	SS 18 71 71	% av TS	2.0
Värmevärde, kalorim	SS-ISO 1928	MJ/kg TS	20.26
Värmevärde, effektiv	SS-ISO 1928	MJ/kg TS	18.91
Värmevärde, effektiv	SS-ISO 1928	MJ/kg prov	8.04
Svavel	SS 18 71 77	% av TS	0.03
Kol	LECO-CHN1000	% av TS	49.8
Väte	LECO-CHN1000	% av TS	6.2
Kväve	LECO-CHN1000	% av TS	0.3
Syre	Beräknat	% av TS	41.7

Svovel
 Kull
 Hydrogen
 Nitrogen
 Oksygen

T=1-F

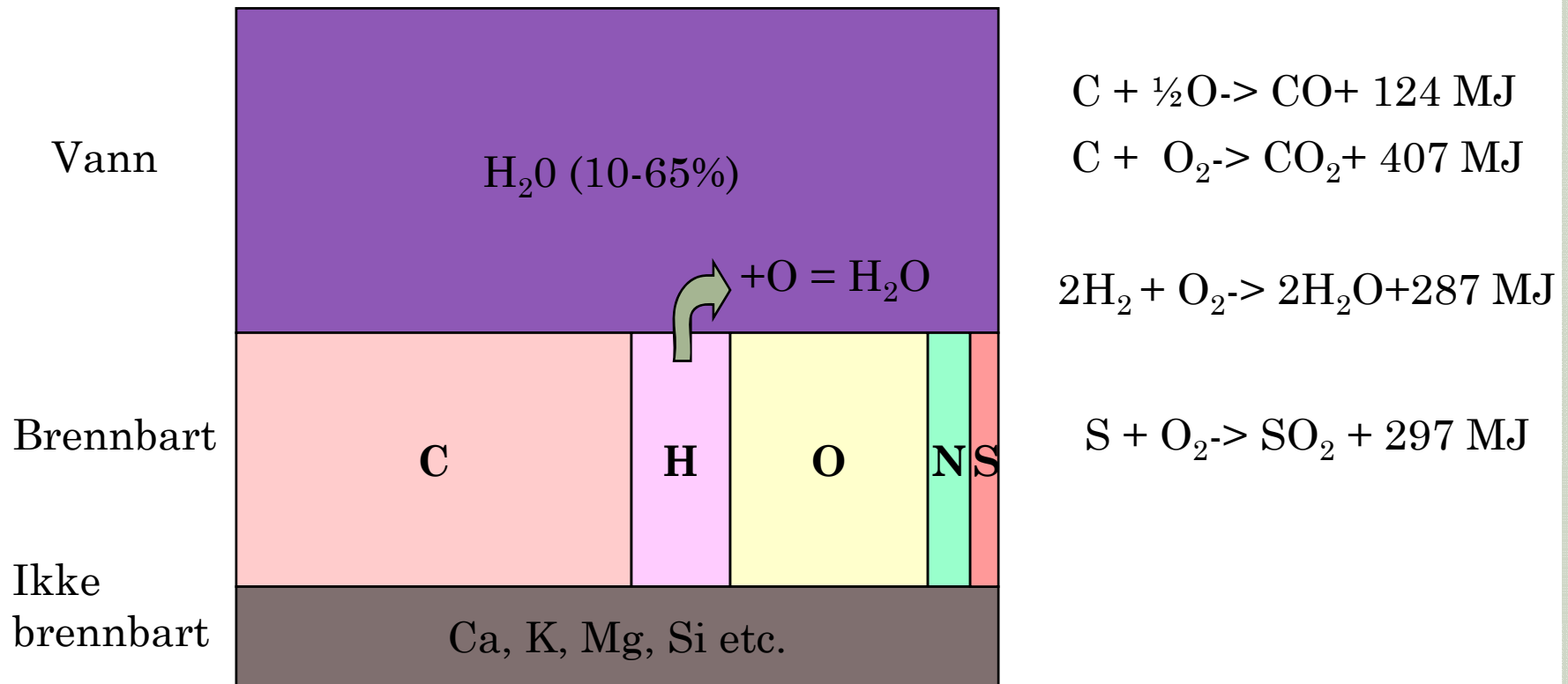
A
 5,63 kWh/kg
 5,25 kWh/kg
 2,23 kWh/kg

kalorimetrisk = nedre brennverdien

$$h_{eff} = \left[h_n \left(1 - \frac{F}{100} \right) - 0,68 \frac{F}{100} \right] kWh / kg$$



BIOBRENSEL OG VARMEPRODUKSJON

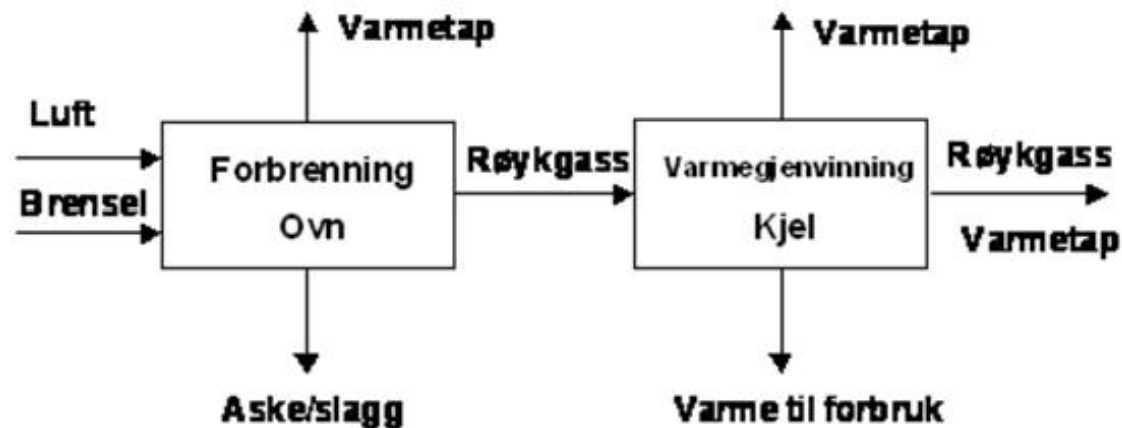


FORBRENNING

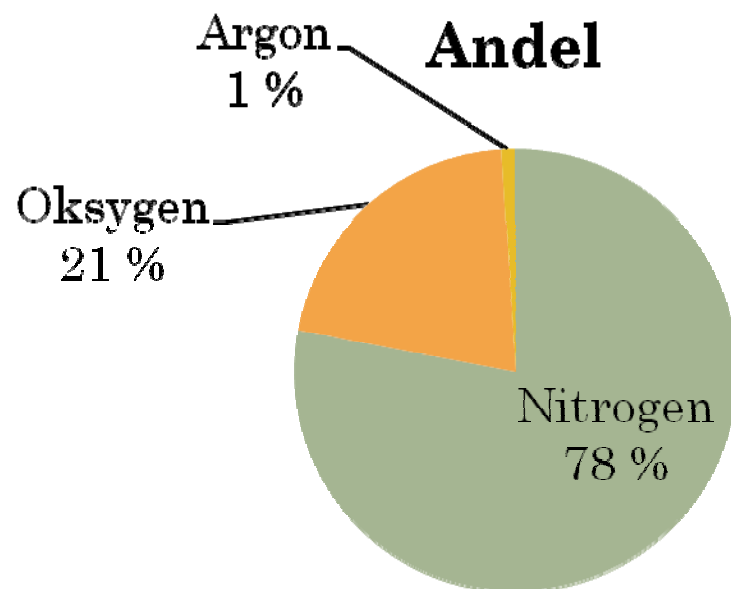
Forbrenning=brennbare stoffer reagerer med oksygen (luft) under avgivelse av varme,

Det er tre betingelser som må være oppfylt for å få en forbrenning:

- Brennbart stoff
- Oksygen (fra luft)
- Tennkilde (temperatur, energi)



VANLIG LUFT

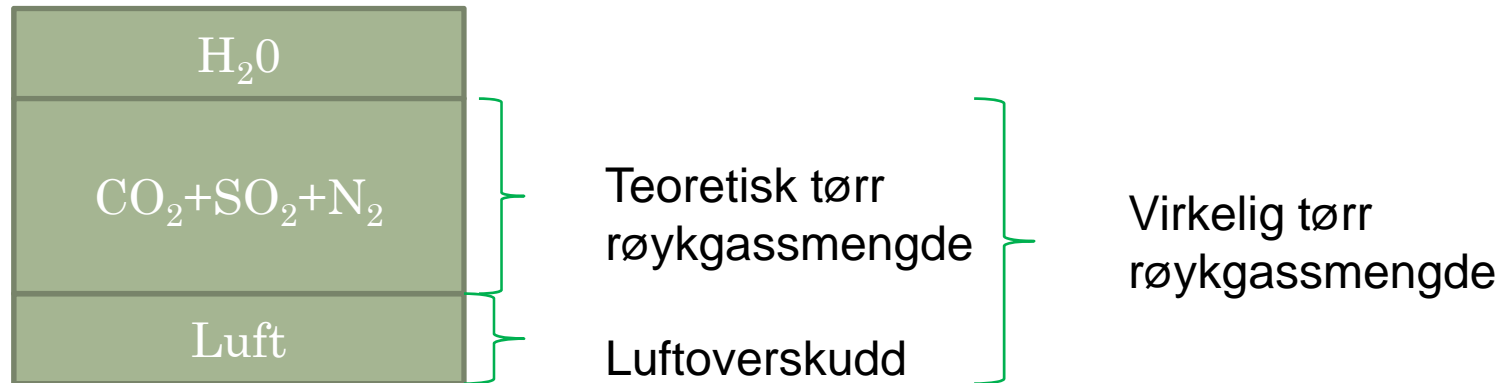


Det vil si at for hver m³ oksygen man trenger til forbrenningsprosessen, får man "på kjøpet" 3,7 m³ nitrogen.



RØYKGASS OG LUFT

- Uten luftoverskudd (teoretisk forbrenning)
- Virkelig forbrenning (med luftoverskudd)
- Tørr røykgass (uten vanndamp)
- Fuktig røykgass (inklusive vanndamp)



VANNDAMP I RØYKGASSEN

Vanndampen i røykgassen kommer fra

- Brenselets fuktinnhold
- Brenselets hydrogen innhold
- Vanndamp i forebrenningsluften

- Det man ser i røyken er nesten bare vanndamp.



UTSLIPPSMÅLING

- Røykgasstemperatur
- Oksygeninnhold (tørr / fuktig røykgass)
- NO_x i ppm, momentan
- CO i ppm
- Støv



MÅLEINSTRUMENT



Eksempel Testo

- 0 - 25%O₂
- 0 - 10 000ppm CO
- 0 til 3 000 ppm NO
- 0 til 500 ppm NO₂
- 100 til 40 000 ppm uforbrent hydrokarboner (CH₄)
- - 40 til 1200°C i temperatur
- Pris ca 30.000,-



OMVANDLE CO₂ TIL O₂

En viktig parameter er luftoverskudd.
Denne kan måles som %-CO₂ eller %-O₂. Dette er samme sak.

$$\% O_2 = (20,4\% - \%CO_2) / 0,977$$

Eksempel-1

$$14,0\% CO_2 = (20,4 - 14,0) / 0,977 = 6,55 \% O_2$$

Eksempel -2

$$9,0\% CO_2 = (20,4 - 9,0) / 0,977 \Rightarrow 11,67 \% O_2$$



Omvandle CO i ppm til mg/Nm³ (ppm = part per million)

På instrument leser man ppm samt O₂ innhold i røykgassen.
Ved omregningen skal man alltid ha tørr røykgass (dvs kompensere for fuktinnhold i røykgassen).

CO molvekt er 28 g/mol (12+16)

Volumen av en ideal gass er ca 22,4 liter/mol

$x \text{ i mg/Nm}^3 = 28,0/22,4 * \text{ppm} , = 1,25$ referert av lest O₂.

Deretter skjer en korrigering til ønsket O₂ skjer med følgende formel:
 $Ny \text{ O}_2 = (20,95 - O_{ny}) / (20,95 - O_{m\ddot{a}lt})$.

Det er målt 300 ppm ved 4% O₂ (tørr gass) hva blir det i mg/Nm³ ved 6% O₂ ?
 $\text{mg/Nm}^3 = 300 * 1,25 = 375 \text{ mg/Nm}^3$ ved 4% O₂
 $\text{Ved } 6\% \text{ O}_2 = 375 * (20,95 - 6\%) / (20,95 - 4\%) = 375 * 0,88 = 330 \text{ mg/Nm}^3$



Omvandle NO_2 i ppm til mg/Nm^3

På instrument leser man ppm samt O_2 innhold i røykgassen. Ved omregningen skal man alltid ha tørr røykgass (dvs kompensere for fuktinnhold i røykgassen).

NO_2 molvekt er 46 g/mol (14+2x16)

Volumen av en ideal gass er ca 22,4 liter/mol

x i $\text{mg}/\text{Nm}^3 = 46,0/22,4 * \text{ppm}$, (2,05) referert av lest O_2 .

Korrigeringsformel til ønsket O_2 skjer med følgende formel:

$$\text{Ny } \text{O}_2 = (20,95 - \text{Ony}) / (20,95 - \text{Omålt})$$

Det er målt 100 ppm ved 8% O_2 (tørr gass) hva blir det i mg/Nm^3 ved 6% O_2 ?

$\text{mg}/\text{Nm}^3 = 100 * 2,05 = 205 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ ved 8% O_2

Ved 6% $\text{O}_2 = 205 * (20,95 - 6\%) / (20,95 - 8\%) = 205 * 1,15 = 237 \text{ mg}/\text{Nm}^3$



OMREGNINGER FRA PPM ETC.

Omregninger (noe forenklet) versjon: 2004-02-13

inndata felt = (grønne)	ønsket % O ₂	6,0	Fukttinnhold i brenselet	10 %
% O ₂ målt tørrgass			Brennverdi brensel	4,68 kWh/kg_br
%CO ₂ målt tørrgass				

	NO _x	CO		NO _x	CO		NO _x	CO
Fra ppm til	65,0	38,0 ppm	Fra mg/MJ til	118,0	59,0 mg/MJ	Fra mg/Nm ³ målt til	300,0	150,0 mg/Nm ³
ved målt O ₂	133,5	47,5 mg/Nm ³	til mg/kWh	424,0	212,4 mg/kWh			
ved 11% O ₂	83,4	29,7 mg/Nm ³	ved målt O ₂	320,9	160,4 mg/Nm ³	ved 11% O ₂	187,5	93,8 mg/Nm ³
ønsket % O ₂ = 6,0	125,1	44,5 mg/Nm ³	ved 11% O ₂	200,6	100,3 mg/Nm ³	ønsket % O ₂ = 6,0	125,1	44,5
overslag						overslag		
til mg/MJ ved målt	49,1	17,5 mg/MJ				til mg/MJ	110	55 mg/MJ
til mg/kWh ved målt	176,7	62,9 mg/kWh				til mg/kWh ved målt	397	199 mg/kWh

	STØV
ved målt O ₂	30,0 mg/Nm ³
ved 11% O ₂	18,8 mg/Nm ³
overslag	
til mg/MJ ved målt	11,0 mg/MJ
til mg/kWh ved målt	39,7 mg/kWh

Enercon AS

Excelprogram som gjennomgås på seminaret



BEREGNING AV RØYKGASS, ETC

Excel program som gjennomgås på seminaret

Anlegg: Eksempel					
Inndata					
O ₂ -halt i røykgassen	vol % fuktig gass	8,00 %		vol% tørr	9,47 %
Kjeleffekt	P maks	1 000 kW		CO ₂ -%	11,0 %
	P ved beregning	1 000 kW			
	Strålingstap	31,70 kW DIN (1942)			
	Asketap	0 kW			
	Røykgasstap	143 kW			
Røykgasstemp		180 °C			
Røykrør - diameter		250 mm		22,7 m/s	
Temperatur forbrenningsluft		20 °C		2,53 fra tabell	
Relativ fuktighetforbrenningsluft		80 %			
Vekt - %					
Tørr Fuktig					
Brensel					
Kull (C)	γ _C vekt-%	kg/kg _{br}	52,70 %	31,6 %	
Hydrogen (H)	γ _H vekt-%	kg/kg _{br}	6,00 %	3,60 %	
Oksygen (O ₂)	γ _O vekt-%	kg/kg _{br}	39,00 %	23,4 %	
Nitrogen(N)	γ _N vekt-%	kg/kg _{br}	0,70 %	0,4 %	
Svovel (S)	γ _S vekt-%	kg/kg _{br}	0,10 %	0,06 %	
Aske (a)	γ _A vekt-%	kg/kg _{br}	1,50 %	0,9 %	
Vann (w)	γ _{H₂O} vekt-%	kg/kg _{br}		40,0 %	
Brensel (vaf)	sum vekt %	kg/kg_{br}	100,00 %	100,00 %	
Beregning av					
Brennverdi	MJ/kg _{br}		H _s 21,72	H _{eff} (TS) 20,41	H _{eff} 11,27 H _{eff} 3,13 kWh/kg _{br}
Beregning av					
Luftbehov	I _{ot} (100% tørr)	Nm ³ /kg _{br}		2,989	
Luftbehov	I _o fuktig luft	Nm ³ /kg _{br}		3,066	
Røykgass	g _{ot} (100 % tørr)	Nm ³ /kg _{br}		2,953	
Røykgass	g _o fuktig	Nm ³ /kg _{br}		3,927	
Røykgassdensitet		kg/Nm ³		0,755	
Virkelig mengde	g _t tørr røykgass	Nm ³ /kg _{br}		5,389	
Virkelig mengde	g fuktig røykgass	Nm ³ /kg _{br}		6,426	
Tilført effekt	P _b	kW		1 180	
Virkningsgrad		%		84,8 %	
Brenselmengde	q _b P _b /H _u	kg/h		377	0,105 kg/s
Tørr røykgassmengde	q _b *g _t	Nm ³ /h		2 030	0,564 Nm ³ /s
Fuktig røykgassmengde	q _b *g	Nm ³ /h		2 421	0,673 Nm ³ /s
Luftbehov		Nm ³ /h		1 155	0,321 Nm ³ /s
Virkelig gassvolum ved	180 °C			4 016 m ³ /h	22,7 m/s

Spredningsberegninger

○ Turbulens

- Den vertikale temperaturstrukturen i atmosfæren.
- Øking av vindstyrken med høyden
- Mekanisk effekt av gjenstander i luftstrømmen

- Kall luft er tyngre en varm luft. (kaldt på gulvet i en badstue)
- Temperaturen på luften avtar med høyden, ca $1^{\circ}\text{C}/100\text{m}$



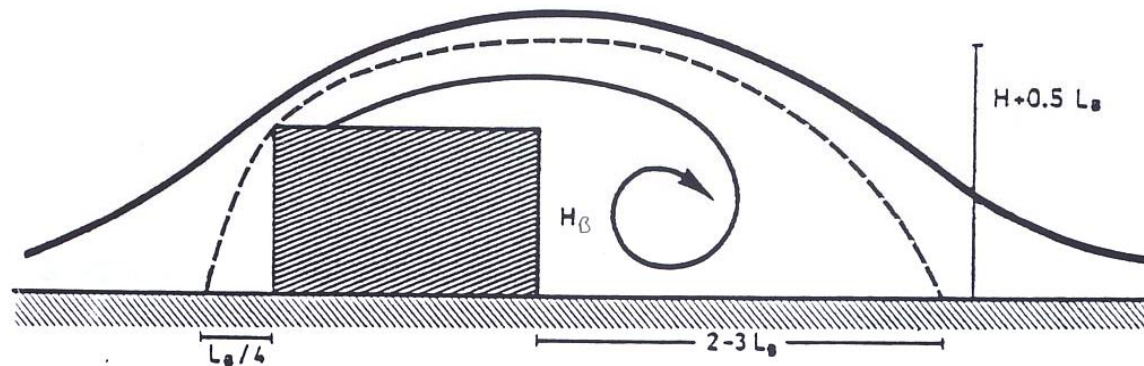
TEMPERATURINVERSJON

- Temperaturen øker med høyden og ikke lenger minker med høyden som den vanligvis gjør. Kaldluften er tyngre enn varmluft vil et luftlag med en inversjon være svært **stabilt**, og dette kan føre til at toppen av luftlaget virker som et lokk der luften blir fanget innenfor laget.



VURDERING AV BYGNINGER/HINDER

Hvis et utslipp skjer i nærheten av bygninger vil utslippet ved høye vindstyrker bli påvirket av strømningsbilden over og rundt bygningen.



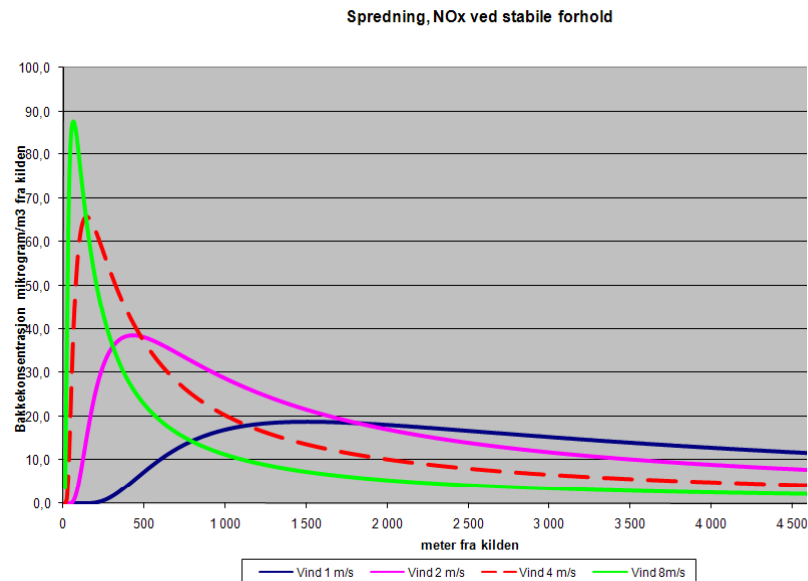
Dimensjoner på turbulenssonen rundt en bygning.

Ventilasjonsanlegg, plassering i forhold til skorstein.

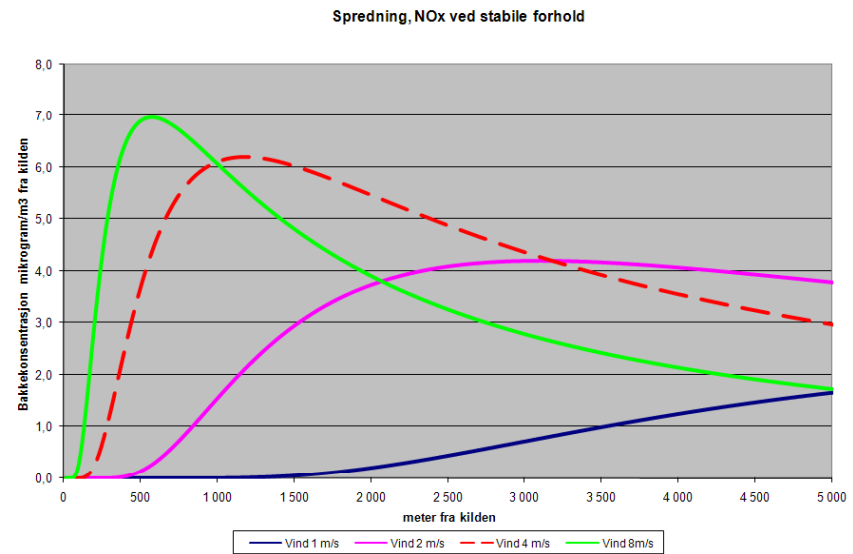


GAUSSISK SPREDNINGSMODELL

- Stabile – ustabile og nøytrale forhold
- Bakkekonsentrasjonen ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) i en avstand fra utslippet.



10 meter skorstein
Utslipp av 5 kg NO₂ per time.



35 meter skorstein

