

Varmefag

Contents

Energipris på avgitt energi	2
Brennkammereffekt og ytelse	2
Forbrenningskjemi	2
Brenselgass beregninger	2
Brenselsanalyser	3
Øvre og nedre Brennverdi	4
Luftforbruk og røykgass volum	5
Gassformig brensel	6
Tap	7
Virkningsgrad og energibalanse	8
Forenklet formel for varmetap fra røyken	9
Varmeledning	10
Appendix 1 - Brenseldata	11
Appendix 2 - Brenselgass datablad	12
Appendix 3 - Brenselanalyse, gjennomsnittsverdier	13
Appendix 4 - Biobrensel, sammensetting	14
Appendix 5 - Nedre brennverdi, basisdensitet og naturlig askeinnhold for ulike treslag og tredeler	15

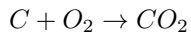
Energi pris på avgitt energi

Brensel pris oppgitt i øre pr. kilo	$\frac{p}{H_n \cdot \eta}$	$\left[\frac{\text{øre}}{\text{MJ}} \right]$	H_n	Brenseles nedre brennverdi	$\left[\frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \right]$
Brensel pris oppgitt i øre pr. liter	$\frac{p}{\rho H_n \cdot \eta}$	$\left[\frac{\text{øre}}{\text{MJ}} \right]$	p	Pris	$[\text{øre}]$
Pris i øre pr. MJ	$p \cdot 3,6$	$\left[\frac{\text{øre}}{\text{KWh}} \right]$	η	Fyringsanleggets virkningsgrad	$[-]$
			ρ	Brenseles densitet	$\left[\frac{\text{kg}}{\text{liter}} \right]$

Brennkammereffekt og ytelse

Brent effekt	$\dot{Q} = \dot{m}_f \cdot H_n$	$[KW]$	H_n	Brenseles nedre brennverdi	$\left[\frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \right]$
Ytelse	$\dot{Q} = \dot{m}_f \cdot H_n \cdot \eta$	$[KW]$	\dot{m}_f	Brent brenselmengde	$\left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$
			\dot{Q}	Effekt	$[KW]$
			η	Fyringsanleggets virkningsgrad	$[-]$

Forbrenningskjemi



Med molvekt for ett kmol får du: $12,01 \text{ kg } C + 32,00 \text{ kg } O_2 \rightarrow 44,01 \text{ kg } CO_2$

Brenselgass beregninger

Normalkubikk, $Nm^3 = m_n^3$

Volumsammensetningen av brenselgass kan skrives på formen

$$H_2^g + CO^g + \sum C_n H_n^g + CO_2^g + O_2^g + N_2^g = 1 \quad \left[\frac{m_n^3}{m_n^3} \right]$$

$$H_n = \sum (Y^g \cdot H_n^g) \quad \left[\frac{J}{m_n^3} \right]$$

Bruk samme formel for øvre brennverdi, H_o og densiteten ρ_{br}

Brenselsanalyser

Brensel karakteriseres ved brenselsanalysen på formen

$$\begin{aligned}
 c & \frac{\text{kg karbon}}{\text{kg rå brensel}} \\
 h & \frac{\text{kg hydrogen}}{\text{kg rå brensel}} \\
 s & \frac{\text{kg svovel}}{\text{kg rå brensel}} \\
 n & \frac{\text{kg nitrogen}}{\text{kg rå brensel}} \\
 o & \frac{\text{kg oksygen}}{\text{kg rå brensel}} \\
 w & \frac{\text{kg vann}}{\text{kg rå brensel}} \\
 a & \frac{\text{kg aske}}{\text{kg rå brensel}} \\
 = & 1 \frac{\text{kg}}{\text{kg}}
 \end{aligned}$$

Kjennes analysen på tør, vannfri basis (t)	
1	$c_t + h_t + s_t + n_t + o_t + a_t = 1$ kan den aktuelle analyse ved vanninnhold w finnes ved
2	$c = c_t (1 - w)$ $\left[\frac{\text{kg}}{\text{kg}} \right]$ Samme formel benyttes for de andre grunnstoffene
Kjennes analysen på tør og askefri basis (ta)	
3	$c_{ta} + h_{ta} + s_{ta} + n_{ta} + o_{ta} = 1$ kan den aktuelle analyse finnes ved
4	$c = c_{ta} (1 - w - a)$ $\left[\frac{\text{kg}}{\text{kg}} \right]$ Samme formel benyttes for de andre grunnstoffene
For omregning mellom tør (t) og tør og askefri (ta) brukes	
5	$c_t = c_{ta} (1 - a_t)$ $\left[\frac{\text{kg}}{\text{kg}} \right]$ Samme formel benyttes for de andre grunnstoffene

Øvre og nedre Brennverdi

Sammenhengen mellom øvre brennverdi H_o

og nedre brennverdi H_n er gitt ved

$$6 \quad H_n = H_o - r_{25} \cdot (8,94h + w) \quad \left[\frac{J}{kg} \right]$$

der

$$r_{25} \quad \text{Vannets fordampningsvarme ved } 25^\circ C \quad \left(2,442 \cdot 10^6 \frac{J}{kg} \right) \quad \left[\frac{J}{kg} \right]$$

$$h \quad \text{Hydrogeninnholdet i brenselet} \quad \left[\frac{kg}{kg} \right]$$

$$w \quad \text{Er vanninnholdet i brenselet} \quad \left[\frac{kg}{kg} \right]$$

Sammenheng mellom nedre brennverdi på tør og askefri basis (ta)

og rå basis (rå) er gitt ved

$$7 \quad H_{n,r\dot{a}} = H_{n,ta} (1 - w - a) - r_{25} \cdot w \quad \left[\frac{J}{kg} \right]$$

og ved omregning fra ett vanninnhold w_1 til ett annet w_2 brukes

$$8 \quad H_{n,2} = \left(\frac{H_{n,1} + r_{25} \cdot w_1}{1 - w_1} \right) (1 - w_2) - r_{25} \cdot w_2 \quad \left[\frac{J}{kg} \right]$$

Luftforbruk og røykgass volum

Beregningene baseres på elementæranalysen

$$9 \quad c + h + s + n + o + w + a = 1$$

Hvis det er karbontap i slagge eller flyveaske, korrigeres karboninnholdet c etter følgende formel

$$10 \quad c_{red} = c - \frac{a \cdot BG}{1 - BG} \quad \left[\frac{kg}{kg} \right]$$

der

$$c_{red} \quad \text{Er det reduserte karboninnholdet} \quad [-]$$

$$BG \quad \text{Er den bortglødelige delen av slagge og flyveaske} \quad \left[\frac{kg}{kg} \right]$$

$$a \quad \text{Er askeinnholdet i det rå brenselet} \quad \left[\frac{kg}{kg} \right]$$

Minimale luftforbruk for støkiometrisk forbrenning

$$11 \quad L_{min} = \frac{c_{red} \cdot 1,86 + s \cdot 0,70 + h \cdot 5,55 - o \cdot 0,70}{0,21} \quad \left[\frac{m_n^3}{kg} \right]$$

der m_n^3 er normalkubikmeter luft pr. kg rå brensel

Minimale tørr røykgassmengde

$$12 \quad V_{G,t,min} = c_{red} \cdot 1,85 + s \cdot 0,68 + n \cdot 0,80 + L_{min} \cdot 0,79 \quad \left[\frac{m_n^3}{kg} \right]$$

der L_{min} er den spesifikke forbrenningsluftmengde ved støkiometrisk forbrenning $\left[\frac{m_n^3}{kg} \right]$

Maksimalt innhold av karbondioksid i tørr røykgass

$$13 \quad CO_{2,max} = \frac{c_{red} \cdot 1,85}{V_{G,t,min}} \quad \left[\frac{m_n^3}{m_n^3} \right]$$

For å gjennomføre beregningene må man kjenne røykgassens innhold av karbondioksid ($CO_{2,m\grave{a}lt}$) og karbonoksid ($CO_{m\grave{a}lt}$)

Luftoverskudstallet beregnes på basis av definisjonen

$$14 \quad n = \frac{L}{L_{min}} = 1 + \left(\frac{CO_{2,max}}{(CO_2 + CO)_{m\grave{a}lt}} - 1 \right) \frac{V_{G,t,min}}{L_{min}} \quad \left[\frac{m_n^3}{m_n^3} \right]$$

og herav forbruket av tørr luft

$$15 \quad L = n \cdot L_{min} \quad \left[\frac{m_n^3}{kg} \right]$$

Aktuelle tørr røykgassvolum

$$16 \quad V_{g,t} = \frac{c_{red} \cdot 1,85}{(CO_2 + CO)_{m\grave{a}lt}} \quad \left[\frac{m_n^3}{kg} \right]$$

Aktuelle vandampvolum i røykgassen

$$17 \quad V_{H_2O} = h \cdot 11,1 + w \cdot 1,24 + x \cdot 1,61 \cdot n \cdot L_{min} \quad \left[\frac{m_n^3}{kg} \right]$$

Det totale røykgassvolumet blir da

$$18 \quad V_{G,f} = V_{G,t} + V_{H_2O} \quad \left[\frac{m_n^3}{kg} \right]$$

Gassformig brensel

Gass-sammensetningen er gitt på formen

$$19 \quad CO^g + H_2^g + \sum C_n H_m^g + CO_2^g + N_2^g + O_2^g = 1 \quad \left[\frac{m_n^3}{m_n^3} \right]$$

Brenverdien fåes ved å beregne summen av de enkelte volumandelene med de respektive brenverdier.

Minste forbruk av tørr luft

$$20 \quad L_{min} = \frac{\frac{1}{2}(CO^g + H_2^g) + \sum (n + \frac{m}{4}) C_n H_m^g - O_2^g}{0,21} \quad \left[\frac{m_n^3}{m_n^3} \right]$$

Minste tørre røykgassvolum

$$21 \quad V_{G,t,min} = CO^g + \sum n \cdot C_n H_m^g + CO_2^g + N_2^g + 0,79 \cdot L_{min} \quad \left[\frac{m_n^3}{m_n^3} \right]$$

Maks innhold av CO_2 i tørr røykgass

$$22 \quad CO_{2,max} = \frac{CO^g + \sum n \cdot C_n H_m^g + CO_2^g}{V_{G,t,min}} \quad \left[\frac{m_n^3}{m_n^3} \right]$$

Luftoverskudstallet n og luftforbruk L beregnes som for fast og flytende brensel (formel 14 og 15)

Aktuelt tørr røykgassvolum

$$23 \quad V_{G,t} = \frac{CO^g + \sum n \cdot C_n H_m^g + CO_2^g}{(CO_2 + CO)_{m\ddot{a}lt}} \quad \left[\frac{m_n^3}{m_n^3} \right]$$

Det aktuelle vanndampvolumet i røykgassen

$$24 \quad V_{H_2O} = H_2^g + \sum \frac{m}{2} C_n H_m^g + x \cdot 1,61 \cdot n \cdot L_{min} \quad \left[\frac{m_n^3}{m_n^3} \right]$$

der x er forbrenningsluftens innhold av vanndamp målt i kg pr. kg tørr luft.

Tap

Ved fyring med fast brensel vil større eller mindre andeler av brenselet ikke forbrennes fullstendig. Tapet, Φ_{BG} kalles ofte for glødetap etter analysemetoden.

$$25 \quad \Phi_{BG} = BG \cdot H_{BG} \cdot q_{m,sl} \quad [W]$$

der

$$BG \quad \text{Er den bortglødelige delen av slagg og flyveaske} \quad \left[\frac{kg}{kg} \right]$$

$$H_{BG} \quad \text{Er brennverdien av det bortglødelige stoffet} \quad \left[\frac{J}{kg} \right]$$

(som er tilnærmet rent karbon) $33 \cdot 10^6 \frac{J}{kg}$

$$q_{m,sl} \quad \text{Er massastrømmen av slagg og flyveaske} \quad \left[\frac{kg}{s} \right]$$

Ved ufullstendig forbrenning vil man få tap i form av brennbare gasser i røykgassen. CO utgjør normalt størstedelen av tapet, og gassen er lett å måle. Derfor tas den normalt med i beregningene.

$$26 \quad \Phi_{CO} = V_{G,t} \cdot CO_{m\ddot{a}lt} \cdot H_{CO} \cdot q_{m,br} \quad [W]$$

der

$$V_{G,t} \quad \text{Er volumet med tørr røykgass} \quad \left[\frac{m_n^3}{kg} \right]$$

$$CO_{m\ddot{a}lt} \quad \text{Er volumandelen CO i tørr røykgass} \quad \left[\frac{m_n^3}{m_n^3} \right]$$

$$H_{CO} \quad \text{Er brennverdien av CO} \rightarrow 12,633 \cdot 10^6 \quad \left[\frac{J}{m_n^3} \right]$$

$$q_{m,br} \quad \text{Er brent mengde rå brensel pr. tidsenhet} \quad \left[\frac{kg}{s} \right]$$

Hvis slaggmengden er stor i forhold til brent brenselmengde, og det har en relativt høy temperatur, bør tapet med varmt slagg, $\Phi_{v,sl}$ medregnes.

$$27 \quad \Phi_{v,sl} = q_{m,sl} \cdot c_{p,sl} \cdot (t_{sl} - 20^\circ C) \quad [W]$$

der

$$q_{m,sl} \quad \text{Er slaggets massestrøm} \quad \left[\frac{kg}{s} \right]$$

$$C_{p,sl} \quad \text{Er slagget spesifikke varmekapasitet} \quad 1000 \frac{J}{kg \cdot K} \quad \left[\frac{J}{kg \cdot K} \right]$$

$$t_{sl} \quad \text{Er temperaturen til slagget} \quad [^\circ C]$$

Varmetap fra røykgass beregnes hhv. for den tørre røykgassen og for vanndampen utifra

$$28 \quad \Phi_{v,rg} = \Phi_{G,t} + \Phi_{H_2O} \quad [W]$$

Tapet fra tørr røykgass beregnes ved

$$\Phi_{G,t} = q_{m,br} \cdot V_{G,t} \left(\{c_p\}_{0^\circ C}^{t_r} \cdot t_r - \{c_p\}_{0^\circ C}^{20^\circ C} \cdot 20^\circ C \right) \quad [W]$$

med middelvarmekapasiteten for tørr røykgass beregnet som

$$29 \quad \{c_p\}_{0^\circ C}^{t_r} = (1293,9 + t_r \cdot 0,076) + (349 + t_r \cdot 0,7) CO_{m\ddot{a}lt} \quad \left[\frac{J}{m_n^3} \right]$$

Tapet fra vanddamp beregnes ved

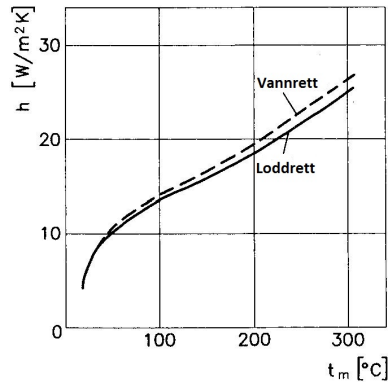
$$\Phi_{H_2O} = q_{m,br} \cdot V_{H_2O} \left(\{c_p\}_{0^\circ C}^{t_r} \cdot t_r - \{c_p\}_{0^\circ C}^{20^\circ C} \cdot 20^\circ C \right) \quad [W]$$

med middelvarmekapasiteten for vanddamp beregnet som

$$30 \quad \Phi_{str} = \sum h(t) \cdot A \cdot (t_{ovfl} - 20^\circ C) \quad [W]$$

Her skal du foreta beregninger for alle overflater med forskellige temperaturer, t_{ovfl} .

Varmeovergangstallet $h(t)$ hentes fra figuren under.



Virkningsgrad og energibalanse

Brent effekt beregnes ved

$$31 \quad \Phi_{brent} = q_{m,br} \cdot H_{n,br} \quad [W]$$

der

$q_{m,br}$	Er massestrøm	$\left[\frac{kg}{s} \right]$
	eller volumstrøm for gass	$\left[\frac{m^3}{s} \right]$
$H_{n,br}$	Er nedre brennverdi for fast / flytende brensel	$\left[\frac{J}{kg} \right]$
	eller for gass	$\left[\frac{J}{m^3} \right]$

Nyttig varme Φ_{nytt} finnes fra energibalansen

$$32 \quad \Phi_{nytt} = \Phi_{brent} - \Phi_{tap} \quad [W]$$

og virkningsgraden

$$\eta_{tot} = \frac{\Phi_{nytt}}{\Phi_{brent}} \cdot 100\% \quad [\%]$$

Forenklet formel for varmetap fra røyken

Tilnærmet varmetap fra røyken kan beregnes etter følgende formel.

Tapet beregnes i prosent etter brenselets nedre brennverdi

$$33 \quad Varmetap_{r\phi yk} = \left(\frac{A}{CO_{2,m\ddot{a}lt}} + B \right) \frac{t_{r\phi yk} - 20}{100} \quad [\%]$$

Konstantene A og B tar du fra tabellen under

Brensel	A	B
Bensin	50	0,7
Brenselolje	53	0,7
Naturgass	38	1,0
Propan	44	0,9
Butan	45	0,9

Varmeledning

En rett homogen vegg bestående av ett lag

$$34 \quad \Phi = \frac{\lambda}{s} \cdot A \cdot \Delta t \quad [W]$$

der

Δt Er temperaturdifferansen mellom t_1 og t_2 [K]

λ Er veggens varmekonduktivitet [$\frac{W}{mK}$]

A Er veggens areal [m^2]

s Er veggens tykkelse [m]

Rett vegg med flere homogene lag

$$35 \quad \Phi = \frac{A \cdot \Delta t}{\frac{s_1}{\lambda_1} + \frac{s_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{s_n}{\lambda_n}} \quad [W]$$

der

$s_1 \dots s_n$ Er tykkelsen på de respektive lag [m]

$\lambda_1 \dots \lambda_n$ Er varmekonduktiviteten til de enkelte lag [$\frac{W}{mK}$]

Rørvegg med ett lag

$$36 \quad \Phi = \frac{2\pi\lambda L \Delta t}{\ln \frac{D}{d}} \quad [W]$$

der

Δt Er temperaturdifferansen mellom t_1 og t_2 [K]

λ Er rørveggenes varmekonduktivitet [$\frac{W}{mK}$]

L Er rørets lengde [m]

D Er rørets utvendige diameter [m]

d Er rørets innvendige diameter [m]

Kuleskall

$$37 \quad \Phi = \frac{2\pi\lambda \Delta t}{\frac{1}{d} - \frac{1}{D}} \quad [W]$$

der

Δt Er temperaturdifferansen mellom t_1 og t_2 [K]

λ Er kuleskallets varmekonduktivitet [$\frac{W}{mK}$]

D Er kulas utvendige diameter [m]

d Er kulas innvendige diameter [m]

Appendix 1 - Brenseldata

Biobrensel	Vann innhold %	Brennverdi med angitt vanninnhold [H_o]		Volumvekt (gns.) $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$	Askeinnhold vekt % av TS
		$\left[\frac{GJ}{tonn}\right]$ $\left[\frac{MJ}{kg}\right]$	$\left[\frac{MWh}{tonn}\right]$ $\left[\frac{kWh}{kg}\right]$		
TAF: tør og askefri TS: tør basis					
Halm, grå, TAF	0	18,5	5,14		
Halm, gul, TAF	0	18,15	5,04		
Halm, storballer	14,6	14,4	4,00	139	3,6
Energikorn, TS	0	18,2-19,0	5,06	220	3
Rug, halm\kjerner, piller	8,7	15,3	4,25		2,7
Triticale, halm\kjerner, piller	9,0	15,4	4,28	532	3,6
Rapskjerter	7-9	24	6,67	660	4
Rapsolje, kaldpresset	0,1	39,7	11,03	980	
Halmpiller	6-8	15,5-16,5	4,31-4,58		6-8
Ellefantgress	9,6	15,9	4,42	133	2,7
Ellefantgress, piller	9,0	15,8	4,39		4,3
Rørgress	8,4	15,3	4,25		8
Hamp	0	18,2	5,06		
Erteskall, piller	11,6	13,4	3,73		3,2
Solsikkeskall, piller	7-9	18-20	5,00-5,56	400-600	3-8
Trær, TS, gns. løvtrær	0	19,2	5,28		
Trær, TS, gns. bartrær	0	19,2	5,33		
Fliset gran, lagret	40	10,5	2,92	235	
Fliset gran, friskt	55	7,3	2,03	310	
Fliset gran, tør	25	13,8	3,83		
Sagverksflis	40	10,5	2,92		
Sagspon	20	15,2	4,22	177	
Ved, bøk, lagret	20	14,7	4,08	610-680	
Ved, bøk, frisk	45	9,5	2,61		
Ved, bartrær, lagret	25	13,8	3,83	410-550	
Ved, bartrær, frisk	55	7,3	2,03		
Trepiller	6-8	17,5-17,9	4,86-4,97	585	0,3-1,0
Trekull	4	29,7	8,25		3,4
Pileflis	10	16	4,44		1-2
Oliven, rest etter pressing	10-45	18-20	5,00-5,56		
Biogass, $\frac{GJ}{1000m^3}$		21-23	5,83-6,39		
Deponigass		15-20	4,17-5,56		

Fosilt brensel	Vann innhold %	Brennverdi med angitt vanninnhold [H_n]		Volumvekt (gns.) ved 15°C $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$	CO_2 -innhold $\left[\frac{kg}{GJ}\right]$		
		$\left[\frac{GJ}{tonn}\right]$	$\left[\frac{MJ}{kg}\right]$			$\left[\frac{MWh}{tonn}\right]$	$\left[\frac{kWh}{kg}\right]$
		Brenselolje (til fyringsanlegg)				40,7	11,31
Fyringsgassolje		42,7	11,86	840	74,0		
Diesel		42,7	11,86	840	74,0		
Bensin		43,5	12,08	780	72,0		
Spillolje		41,9	11,64	900	78,0		
Kull	4	25,0	6,94	720-740	95,0		
Skifferolje		8,8	2,44				
LPG $\left[\frac{GJ}{tonn}\right]$		46,0	12,78		65,0		
Naturgass, pr. 1000m ³ [N]		39,9[GJ]	11,08[kWh]		56,9		
Torv	40	12,0	3,33				

Appendix 2 - Brenselgass datablad

Gasstype	Øvre brennverdi H_o $\left[\frac{kJ}{m^3_n}\right]$	Nedre brennverdi H_n $\left[\frac{kJ}{m^3_n}\right]$	Densitet ρ $\left[\frac{kg}{m^3_n}\right]$
H_2	12800	10800	0,0899
CH_4	39900	35900	0,717
CO	12600	12600	1,250
C_2H_4	63470	59540	1,261
C_2H_6	70430	64480	1,356
C_3H_6	93790	87800	1,915
C_3H_8	101000	93000	2,019
C_4H_8	124814	116566	2,500
C_4H_{10}	134000	124100	2,703
CO_2	-	-	1,977
O_2	-	-	1,429
N_2	-	-	1,252

Appendix 3 - Brenselanalyse, gjennomsnittsverdier

	Måle- enhet	Fast brensel								Flytende brensel	
		Koks	Antrasitt kull	Stein kull	Brun kull	Torv	Tre tør	Flis/ bark	Halm	Bensin	Brensel olje
C	[Vekt %]	84	85,4	78,3	52	36,3	42,4	26,3	40,2	86,6	86
H ₂	[Vekt %]	0,6	3,8	5,0	4,2	3,5	5,1	3,3	4,5	12,9	11,1
O ₂	[Vekt %]	0,4	3,6	6,1	11,6	22,3	37,2	19,0	32,0	0,2	1,0
N ₂	[Vekt %]	0,9	1,1	1,0	1,4	2,2	0,1	-	0,4	-	0,2
S	[Vekt %]	0,6	1,0	0,6	1,0	0,7	-	-	-	0,1	1,0
H ₂ O	[Vekt %]	5	1	4	24	25	15	50	18	-	-
Aske	[Vekt %]	8,5	3,9	5	5,8	10	0,2	1,5	4,9	-	-
Flyktig bestanddel	%	1	8,5	35	53	60	>70	>70	>70	-	-
H _o	$\frac{MJ}{kg}$	29,3	33,96	32,57	21,40	15,12	17,12	9,46	14,85	44,72	44,38
H _n	$\frac{MJ}{kg}$	29,0	33,29	31,36	19,93	13,65	15,62	7,53	13,42	41,83	40,49
Luftvolum	$\frac{m^3}{kg}$	7,67	8,56	8,14	5,41	3,45	3,90	2,56	3,70	11,10	10,38
Røykgass volum, tør	$\frac{m^3}{kg}$	7,64	8,38	7,91	5,26	3,43	3,87	2,51	3,67	10,38	10,05
Vanndamp volum	$\frac{m^3}{kg}$	0,12	0,43	0,61	0,77	0,70	0,75	1,01	0,77	1,43	1,25
Røykgass volum, våt	$\frac{m^3}{kg}$	7,77	8,81	8,52	6,03	4,13	4,63	3,52	4,44	11,81	11,30
CO _{2,max}	[vol %]	20,51	19,02	18,47	18,43	19,76	20,43	19,40	20,30	15,52	16,00

Appendix 4 - Biobrensel, sammensetting

Tabellen under viser sammensettingen til noen biobrensel typer, nedre brennverdi på vann- og askefri basis og typisk vann- og askeinnhold.

	Måle- enhet	Fast brensel							
		Tre	Tre piller	Flis	Bark	Halm	Halm piller	Korn	Frø avfall
C	[Vekt %]	51	50	54	50-56	51	50	47	47
H	[Vekt %]	6,2	6,7	6,5	6-7	6	6,5	8	6,5
S	[Vekt %]			0,1		<0,2	0,1	<0,1	0,5
H_n	$\left[\frac{MJ}{kg}\right]$	18-19	18-19	20	18-22	18	19	17	18-19
Vanninnhold	w [%]	12-25	6-8	45-55	10-60	10-15	8-12	12-16	10
Askeinnhold	a [%]	0,2-0,8	0,4	1-2	3-5	3-5	4-5	2	8

Appendix 5 - Nedre brennverdi, basisdensitet og naturlig askeinnhold for ulike treslag og tredeler

Treslag	Tredeler	Nedre brennverdi H_n (tørr eller askefri basis) $\left[\frac{kWh}{kg} \right]$	Basisdensitet ρ_d $\left[\frac{kg}{m^3} \right]$	Askeinnhold a [vekt % av tørrstoff]
	Cellulose	4,8–5,1		
	Lignin	7,1		
	Harpiks, ekstraktiver	9,9–10,6		
Bartre	Ved	5,19-5,47		0,2-0,4
	Bark	5,27-5,83		2-6
Lauvtre	Ved	5,10-5,44		0,2-0,4
	Bark	5,27-5,83		2-6
Furu	Ved	5,36	380-480	0,2-0,4
	Bark	5,42	300	2-6
	Hele stammen	5,36		
	Greiner	5,66	450	
	Nåler	5,83		
	Hele treet	5,42	385	
	Stubbe	5,84	450	
Gran	Ved	5,28	340-440	0,2-0,4
	Bark	5,47	340	2-6
	Hele stammen	5,28		
	Greiner	5,49	610	
	Nåler	5,33		
	Hele treet	5,36	400	
	Stubbe	5,36	410	
Bjørk	Ved	5,17	485-525	0,2-0,4
	Bark	6,31	550	2-6
	Hele stammen	5,33		
	Greiner	5,69	530	
	Lauv	5,5		
	Hele treet	5,36	475	
	Stubbe	5,19	510	
Foredlet brensel (beste kvalitetsklasse)	Briketter		>1000	<0,7
	Trepellets		>1100	<0,7