

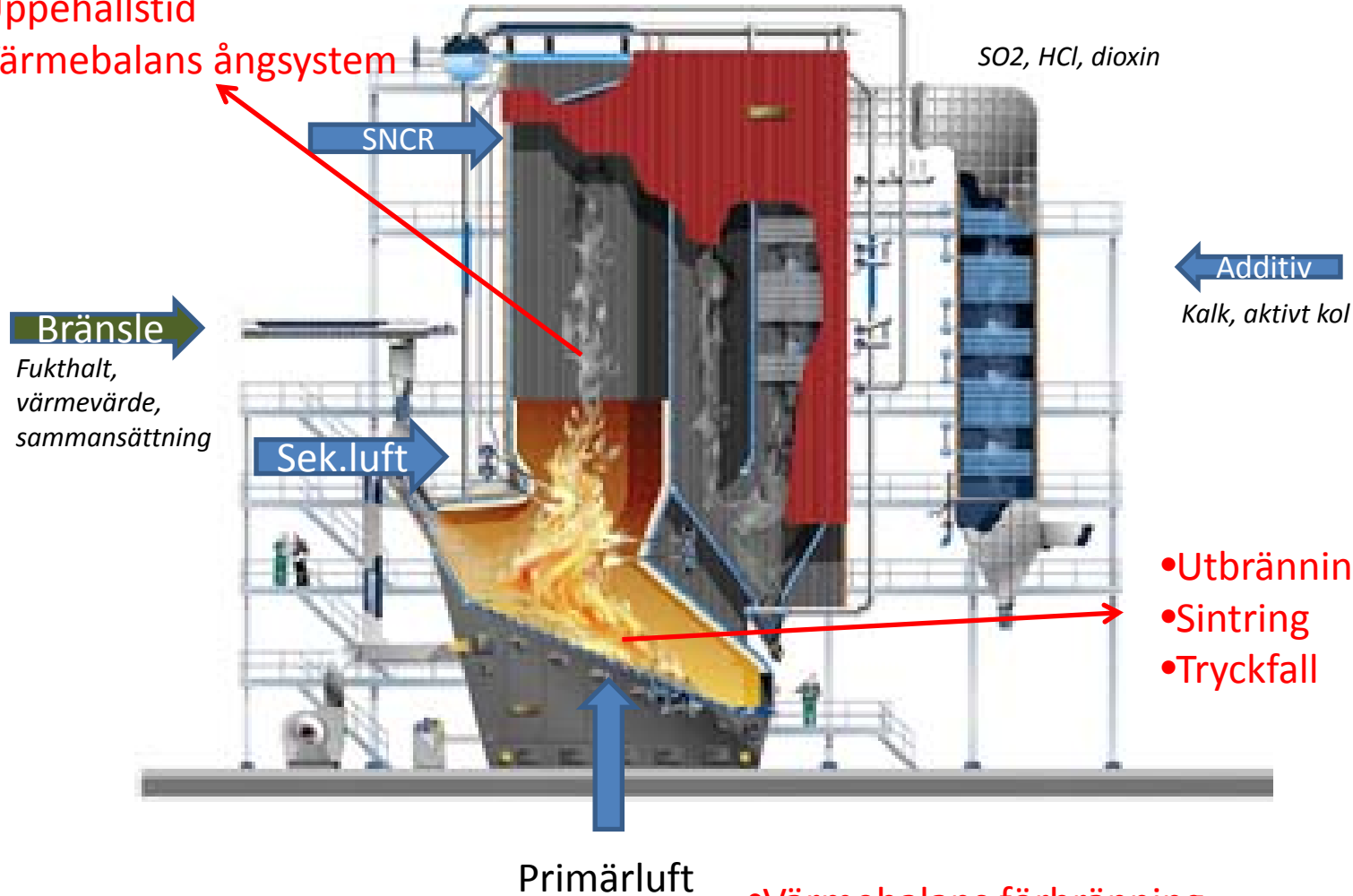


PANNDESIGN

Praktisk förbränningsteknik
-bränslen och pannor

Översikt

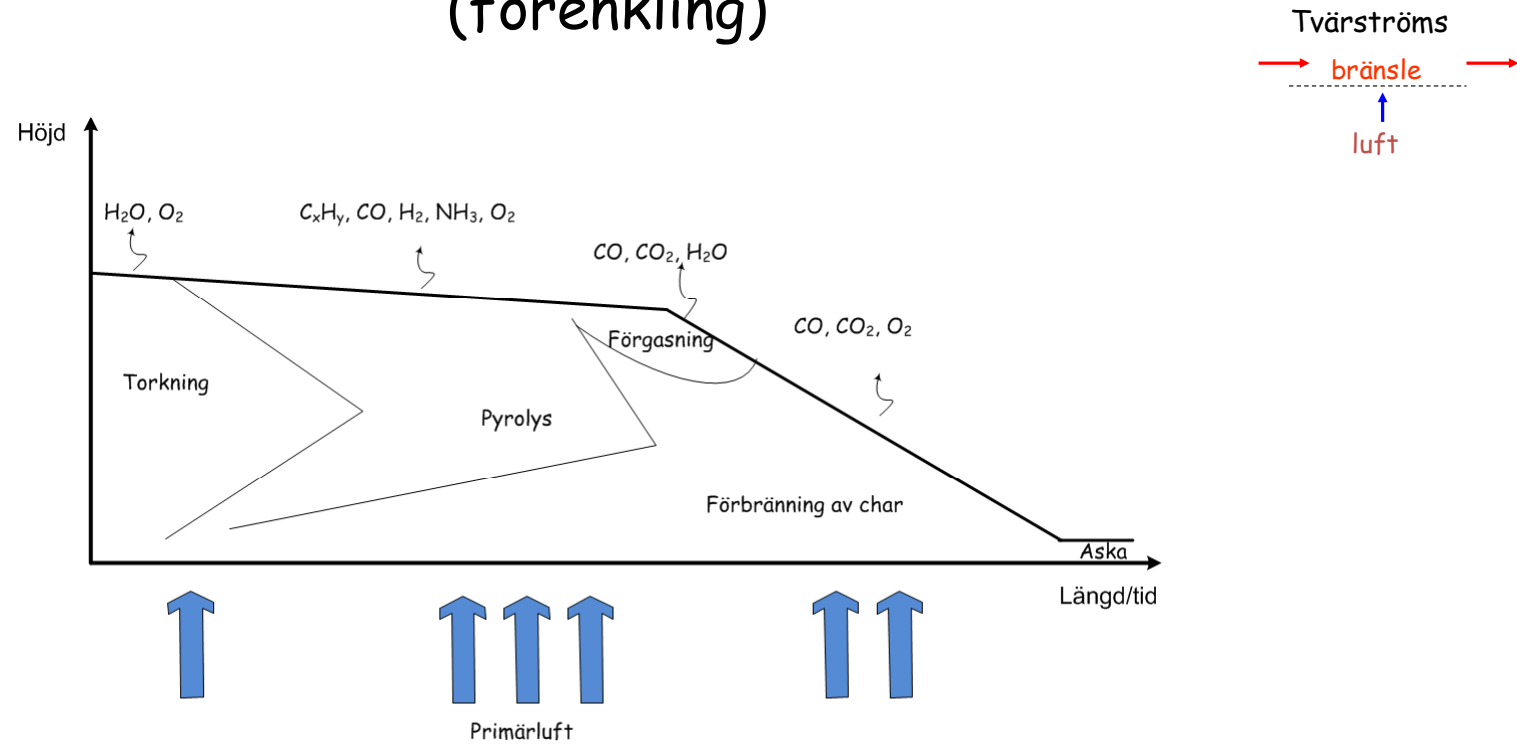
- Förbränningstemperatur
- Uppehållstid
- Värmebalans ångsystem



- Utbränning/medryck
- Sintring
- Tryckfall

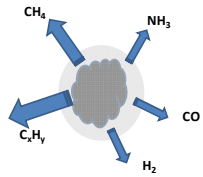
- Värmebalans förbränning
- NOx optimering

Bränslebädd på Rost (förenkling)



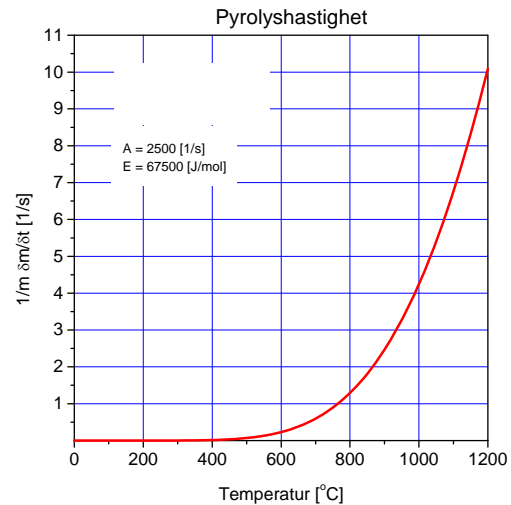
Tidskala

Pyrolysis



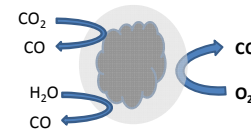
Begränsande

- Omgivande temperatur
- Värmeöverföring
- Värmeledning i partikel



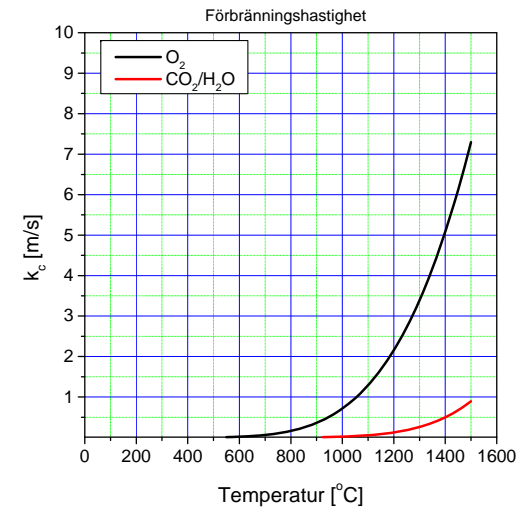
$$\frac{1}{M} \frac{\partial m}{\partial t} = A e^{\frac{-E}{RT}} \quad [1/s]$$

Utbränning av Char



Begränsande

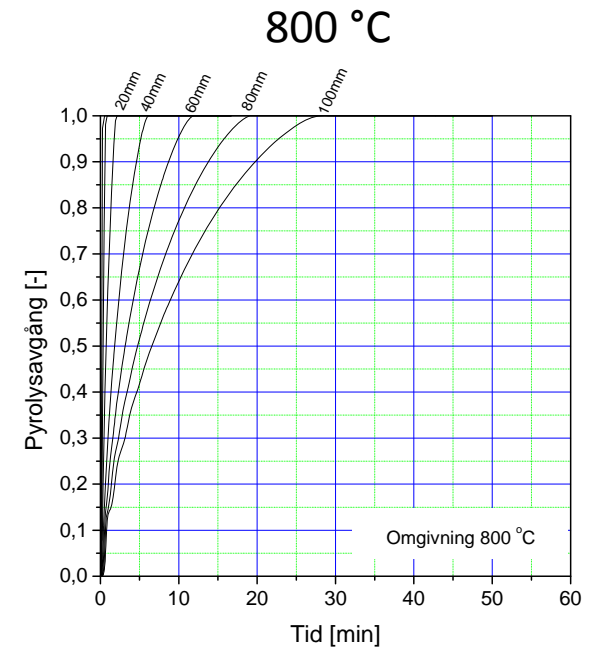
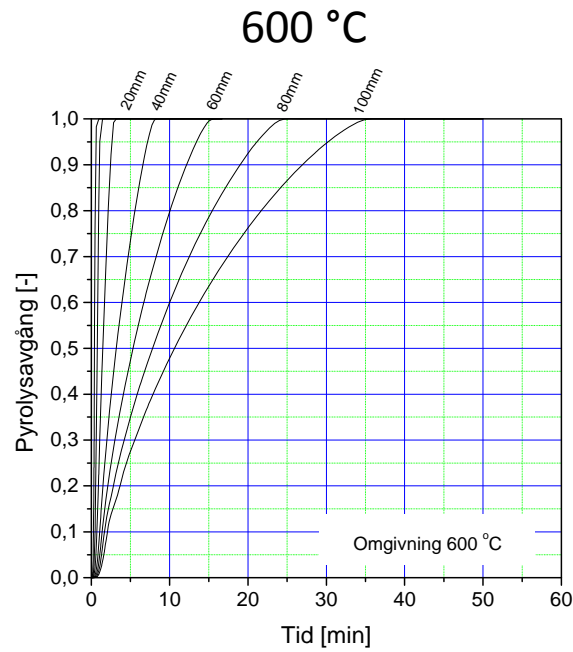
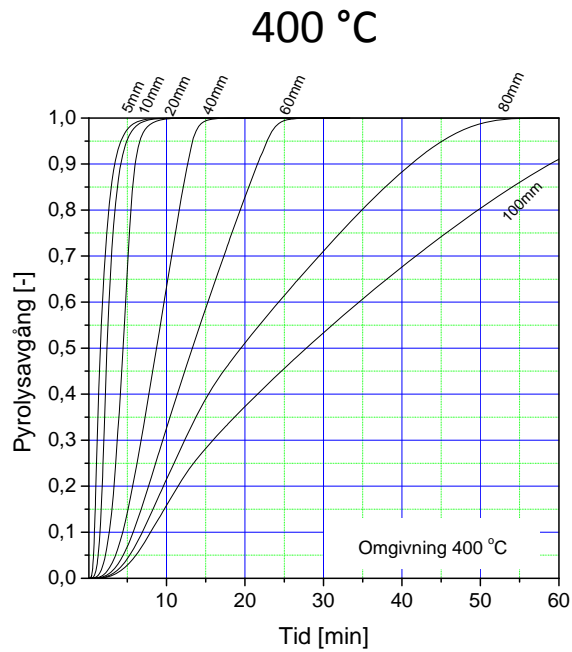
- Omgivande temperatur
- Masstransport



$$r_{c,x} = (AT) e^{\frac{-E}{RT}} \quad [m/s]$$

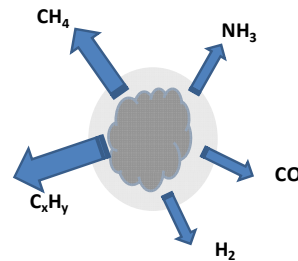
Tidskala bränsleomvandling

Pyrolys



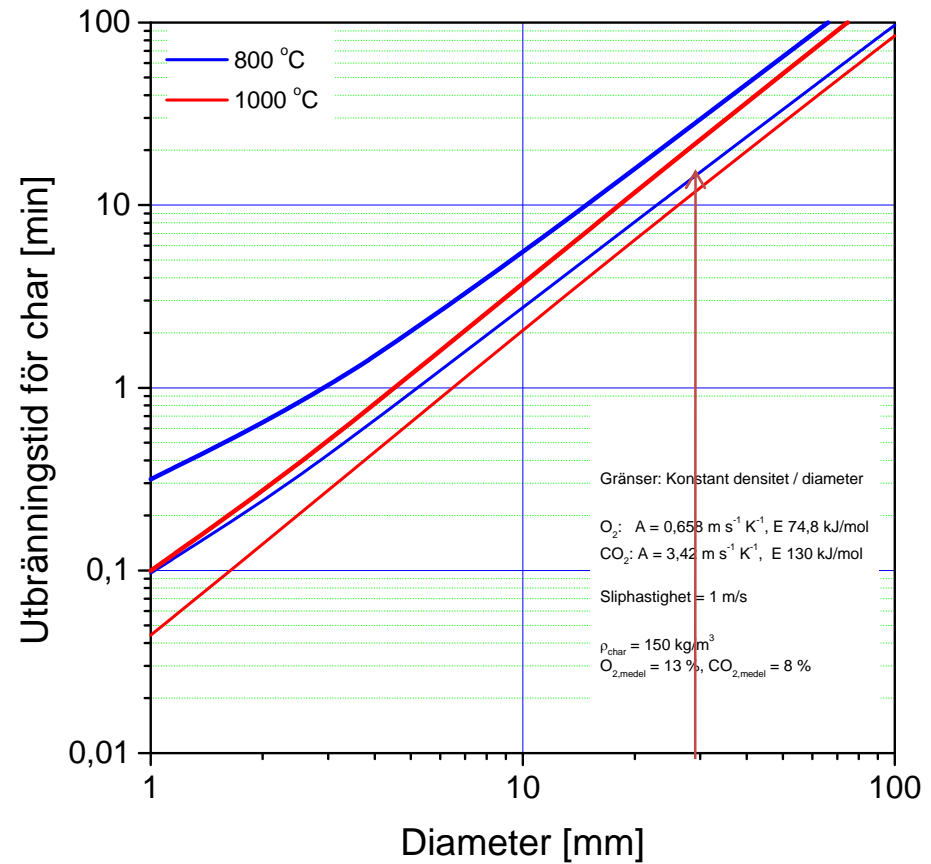
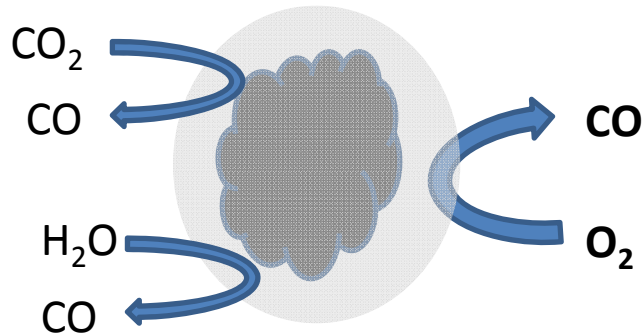
Rost

Fluidiserad bädd



Tidskala forts.

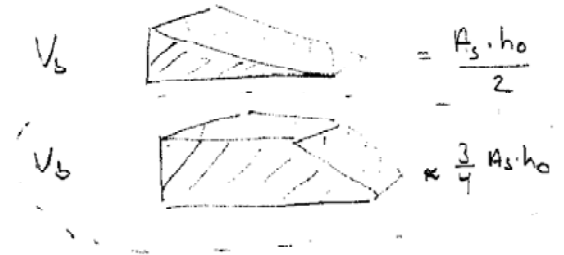
Förbränning av Char



Rostbelastning P_A

Förenklad modell rostbelastning
"uppelsttid"

\dot{V}_s = Tillfört bränsleflöde [$\text{m}^3/\text{MW}\cdot\text{s}$]
 V_b = Rostbäddens totala volym [m^3/MW]
 t_{omv} = Total tid för omvandling av bränsle [s]
 A_s = Specifikt yrean [m^2/MW]
 $P_A = \frac{1}{A_s}$ = Rostbelastning [MW/m^2]



Med antagande om konstant porositet vid omvandling:

$$V_b = \dot{V}_s \cdot t_{\text{omv}}$$

~ Förenkling!

a) Pellet

$$P_A = \frac{1}{2} \frac{h_o}{\dot{V}_s \cdot t_{\text{omv}}} = \frac{1}{2} \frac{\rho_b \cdot h_o}{\dot{m}_s \cdot t_{\text{omv}}} \quad [\text{MW}/\text{m}^2]$$

ex

ρ_b = bulkdensitet [$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$]

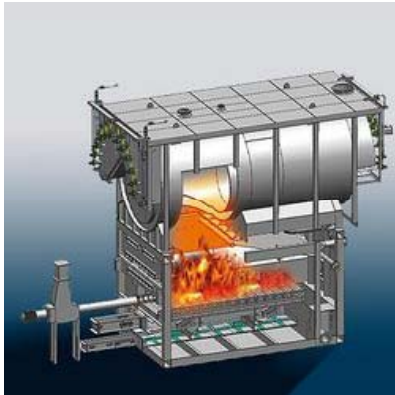
\dot{m}_s = bränsleflöde [$\frac{\text{kg}}{\text{s}}$]

b) Flis

$$P_A = \frac{3}{4} \frac{h_o}{\dot{V}_s \cdot t_{\text{omv}}} = \frac{3}{4} \frac{\rho_b \cdot h_o}{\dot{m}_s \cdot t_{\text{omv}}} \quad [\text{MW}/\text{m}^2]$$

Exempel:

Småskalig Pellet



$m = 210 \text{ kg/MWh}$
 $\rho_b = 650 \text{ kg/m}^3$
 $h_o = 0,15 \text{ m}$
 $t_{omv} \text{ ca } 10 \text{ min}$

$$P_A = 1390 \text{ kW/m}^2$$

Stor rost fuktig flis



$m = 440 \text{ kg/MWh}$
 $\rho_b = 350 \text{ kg/m}^3$
 $h_o = 0,8 \text{ m}$
 $t_{omv} \text{ ca } 40 \text{ min}$

$$P_A = 715 \text{ kW/m}^2$$

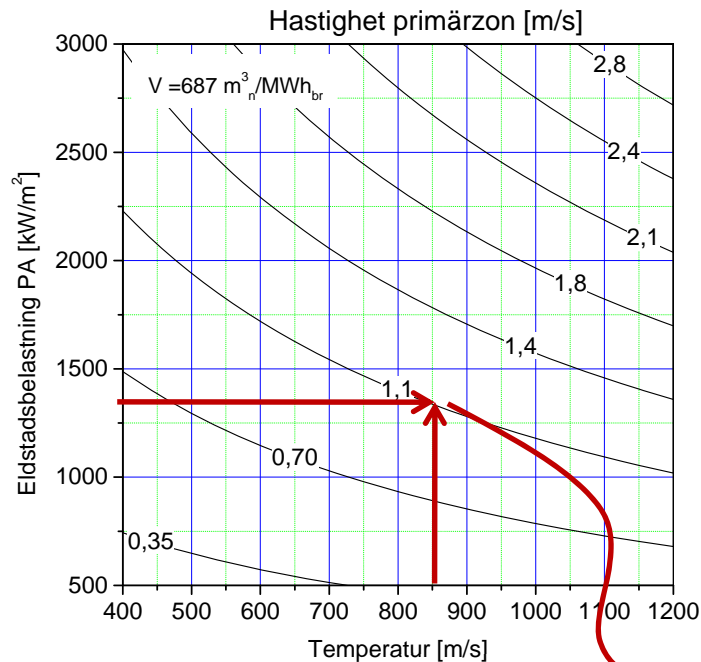
I praktiken 10-20 % lägre för marginal och ej optimal inställning
-Erarenhetsvärden

Eldstadsbelastning (P_A) beroende på överbäring

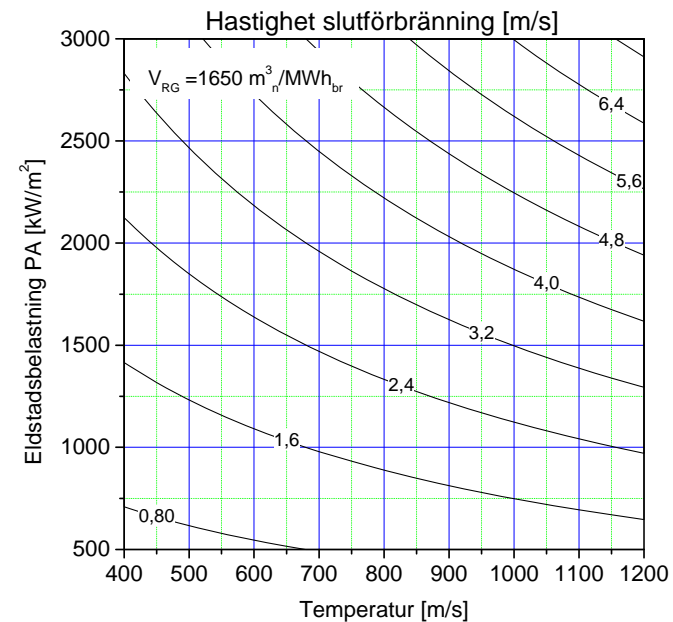
För att upprätthålla temperatur krävs normalt en luftfaktor i primärzonen (SR_1) mellan 0,5-0,7

- Totalt stök luftbehov $\sim 900-1000 \text{ m}^3_n/\text{MWh}_{br}$
- Primärluft: $450-700 \text{ m}^3_n/\text{MWh}_{br}$
- Bildad rökgas: $1550 - 1750 \text{ m}^3_n/\text{MWh}$ (50 % fukt)

Primärzon



Slutförbränning

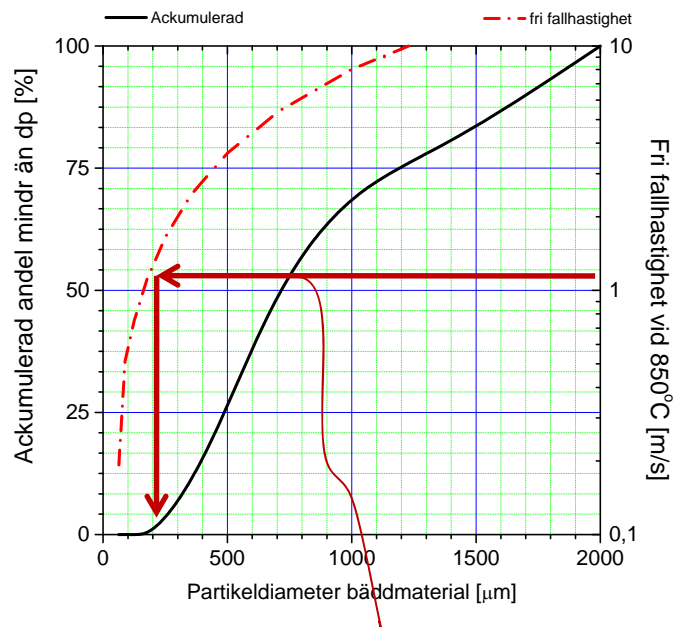


Ex: Typisk FB-panna

Medryck av partiklar

Exempel FB-bädd

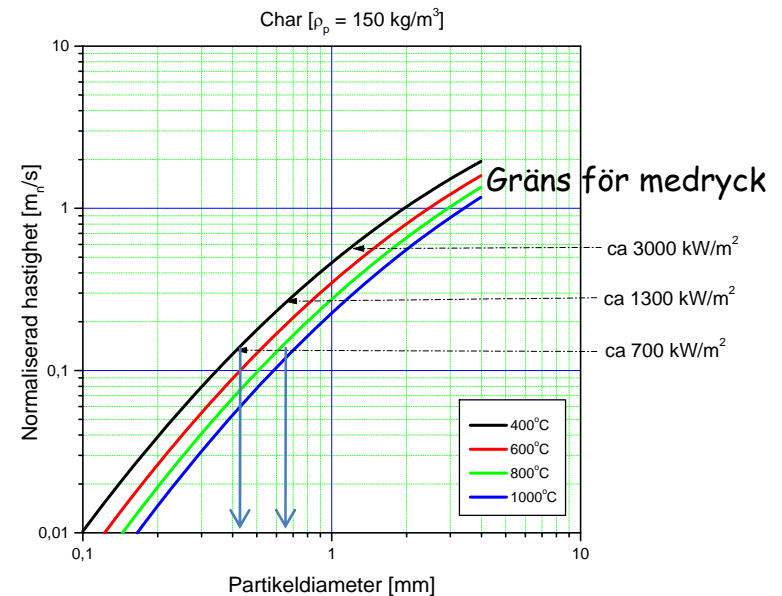
Minsta fluidiseringshastighet; ca 0,2 m/s



Max hastighet ca 1,1 m/s (1300 kW/m²)
 Min dp ca 200 µm
 Stämmer bra med storleksfördelning i
 använd bädd

Exempel bränslebädd

Normaliserad hastighet = $V_s P_A$

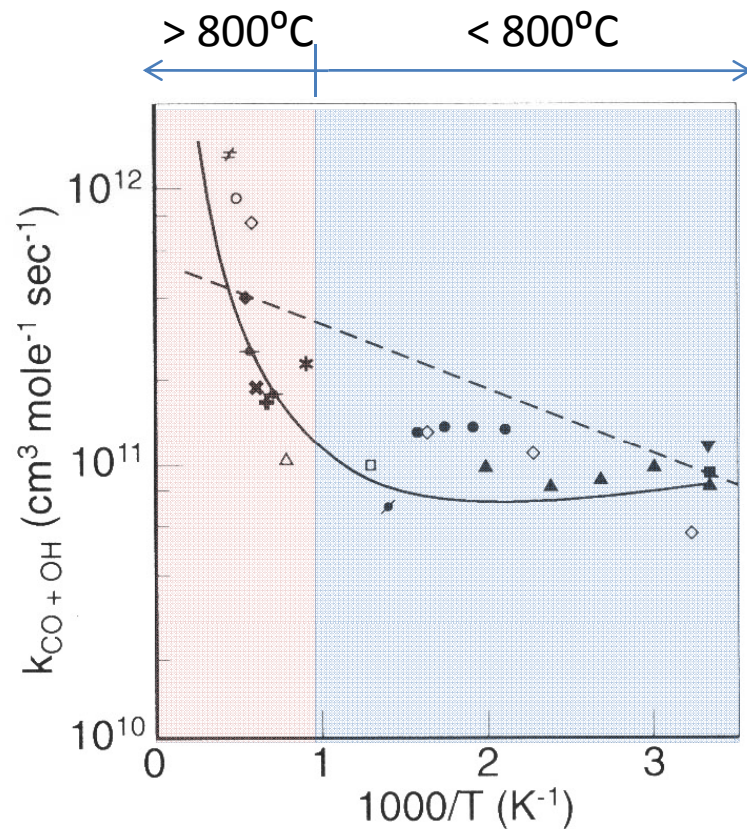


Finfraktion blir begränsande om det
 finns en stor andel fint material.

Svårt att parera med eldstadsbelastning.
 Byt förbränningsteknik:
 PULVERBRÄNNARE

Slutförbränningszon

Volymbelastning P_V (kW/m³)



Snabb reaktion:

Kolväten -> Koloxid
($C_xH_y + O_2 \rightarrow CO + H_2O$)

Långsam reaktion

Koloxid -> koldioxid
($CO + O_2 \rightarrow CO_2$)

Tidskala utbränning av CO

1 sekund

Uppehållstid	1 sek	2 sek
P_V (kW/m ³)	450-500	225-250

Värmeupptagande Yta

Väggbelastning P_S (kW/m²)

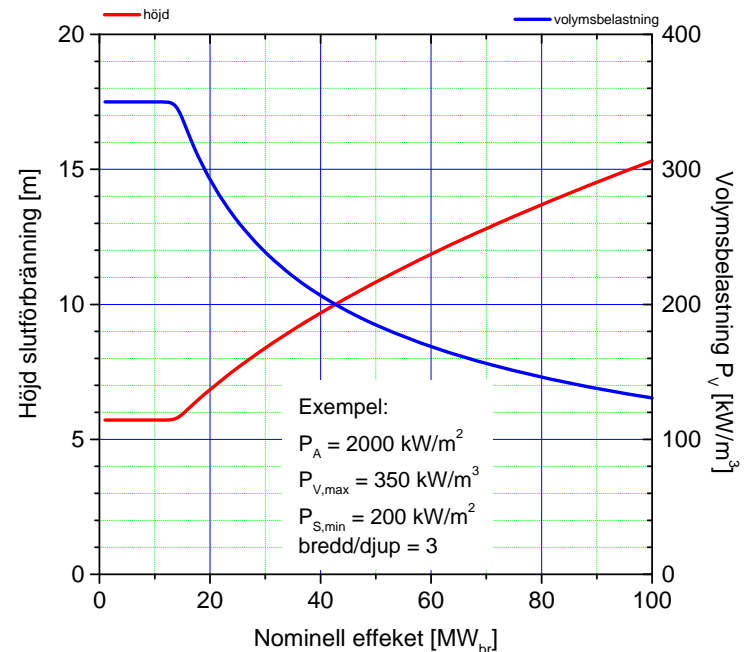
Väggbelastning är beroende av effekt och geometri:

$$P_S = \frac{P}{A_{\text{vägg}}} = \frac{P_V \sqrt{xP}}{2(1+x)\sqrt{P_A}}$$

x = bredd/djup

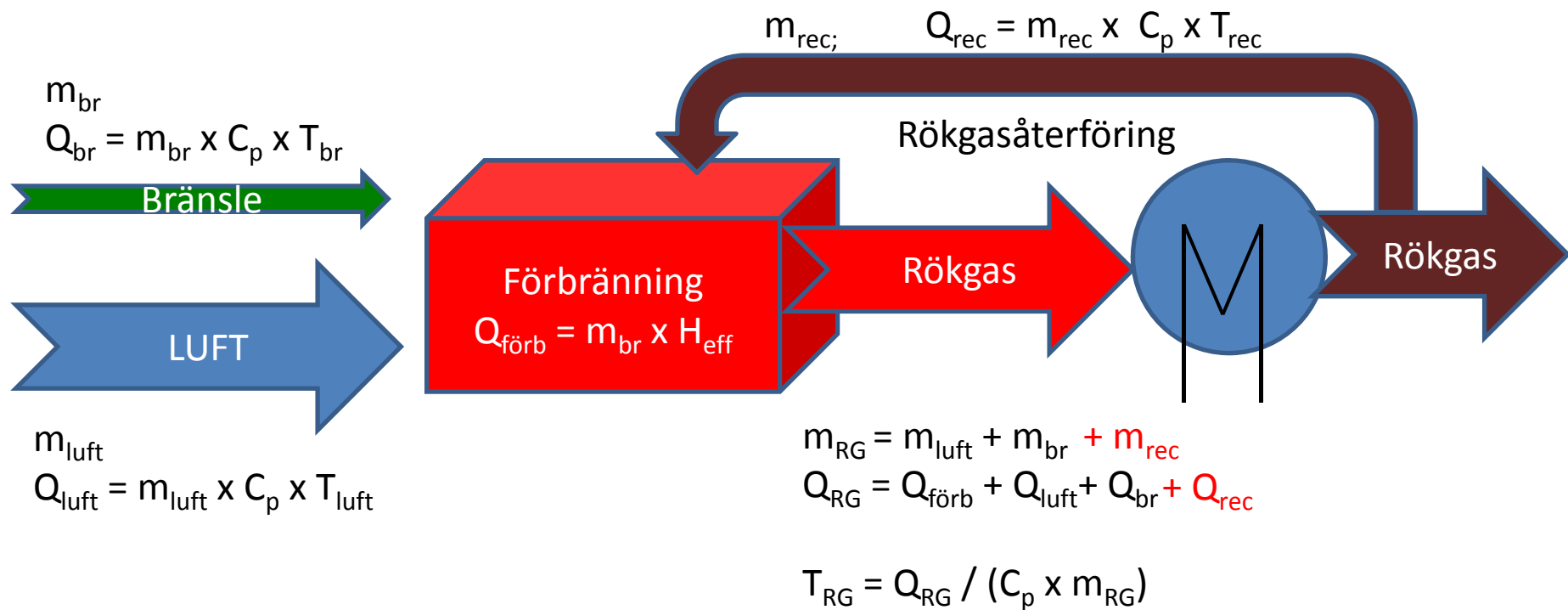
- Ökar med effekt (P)
- Minskar ju mer rektangulärt (x)

P_S = Väggbelastning [kW/m²]
 P_A = Rostbelastning [kW/m²]
 P_V = Volymsbelastning [kW/m³]
 P = Effekt [kW]
 $A_{\text{vägg}}$ = Area väggar [m²]
 x = Förhållande bredd/djup [-]



- Volym Styr av uppehållstid (P_V) för små pannor; kyltor måste begränsas
- Volym styrs av värmeupptagning (P_S) för stora pannor.

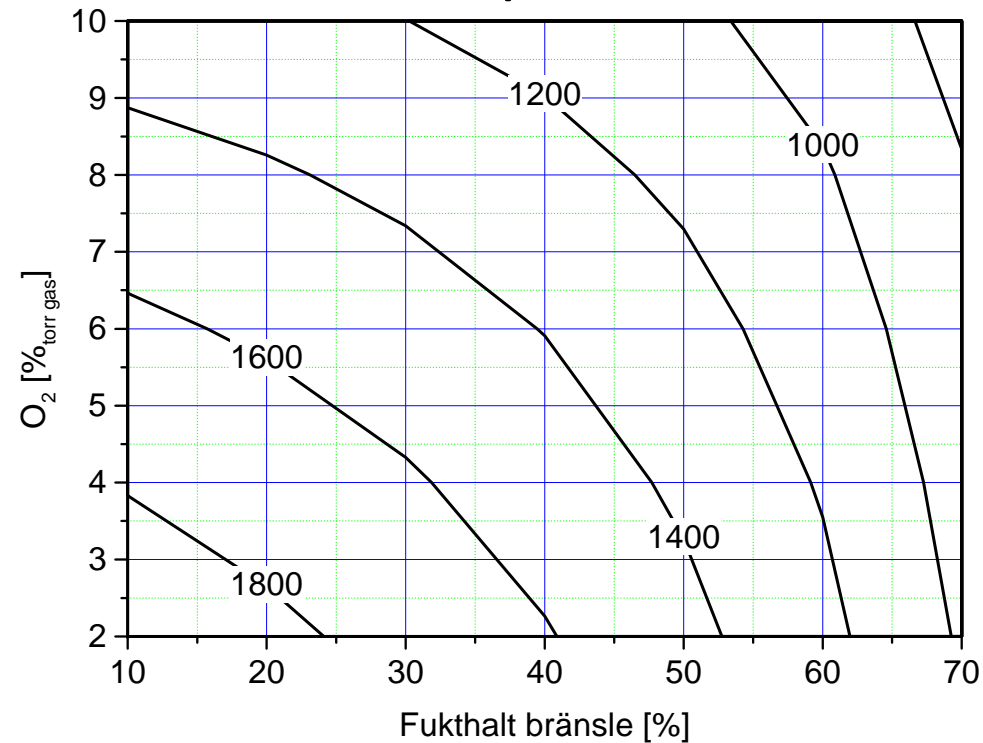
Rökgasåterföring



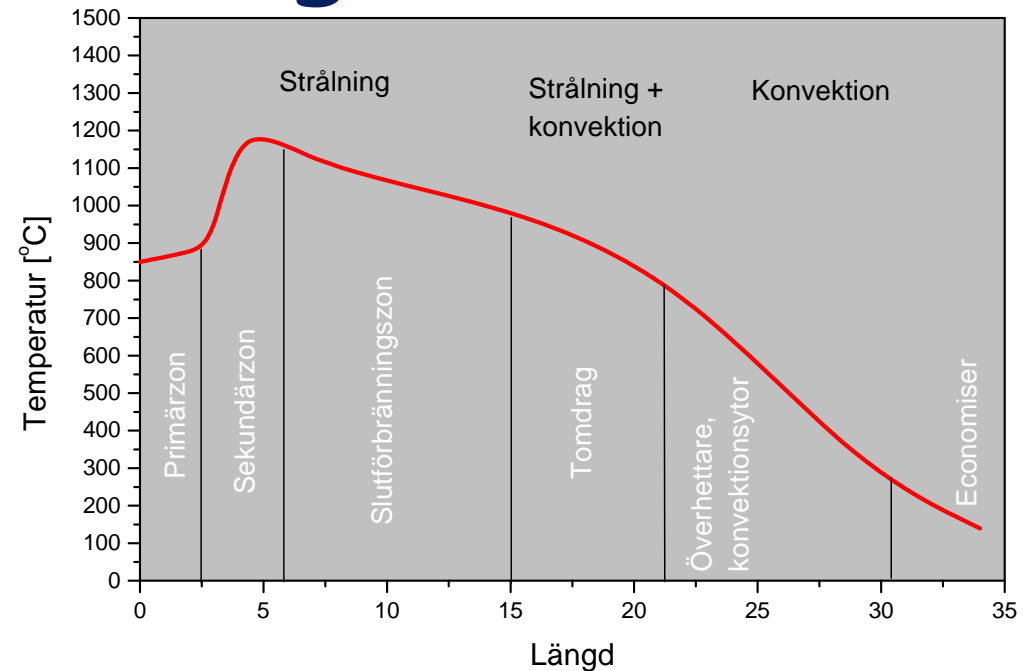
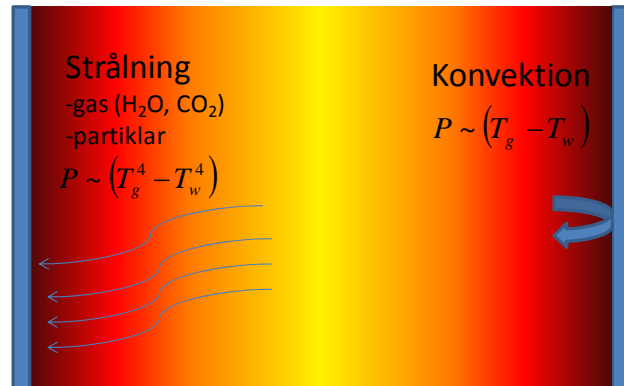
Adiabatisk temperatur

Temperatur efter förbränning om rökgaserna inte kyls

Exempel: Flis



Värmeöverföring i eldstad



Storleksordning

Strålning + konvektion

[W m⁻² K⁻¹]

(obs ren yta)

(>45 + 15)

(30 + 20)

(<20 + 35)

(<10 + 35)

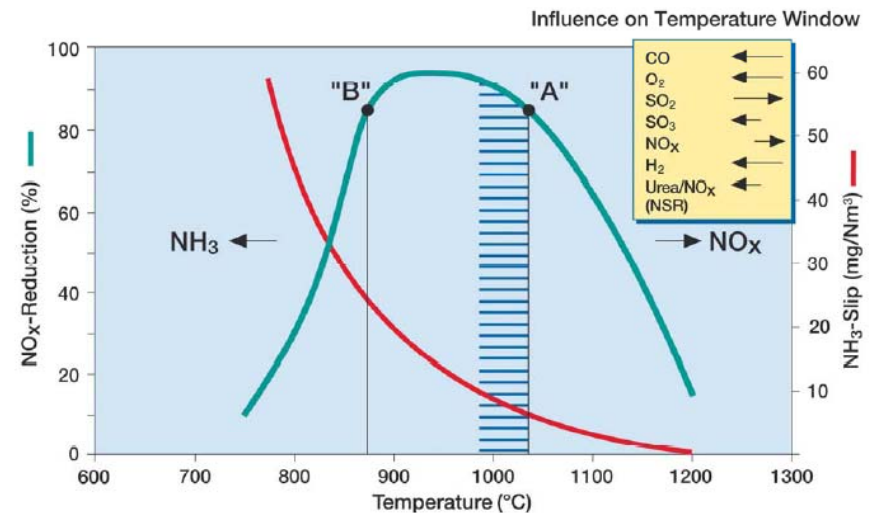
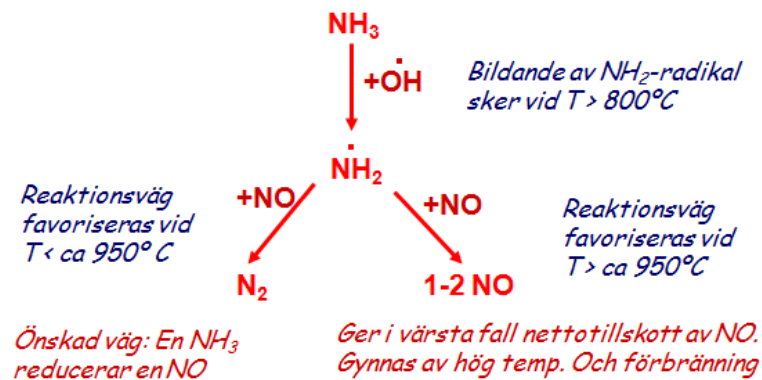
**Rökgasåterföring (eller luftöverskott) påverkar värmebalansen:
Flyttar avgiven värme från eldstad (kokarytor) till överhettare/konvektion**

Ex: 80 bar 500°C

Inkommande MAVA (135 °C)	[kJ/kg]	573	
Mättad vätska (295 °C)	[kJ/kg]	1317	26%
Mättad ånga (295 °C)	[kJ/kg]	2758	51%
Överhettad ånga (500 °C)	[kJ/kg]	3399	23%

SNCR

NH₃ måste tillföras vid rätt plats, beroende på temperatur i eldstad, för att effektivt kunna reducera NO_x utan ammoniakslip



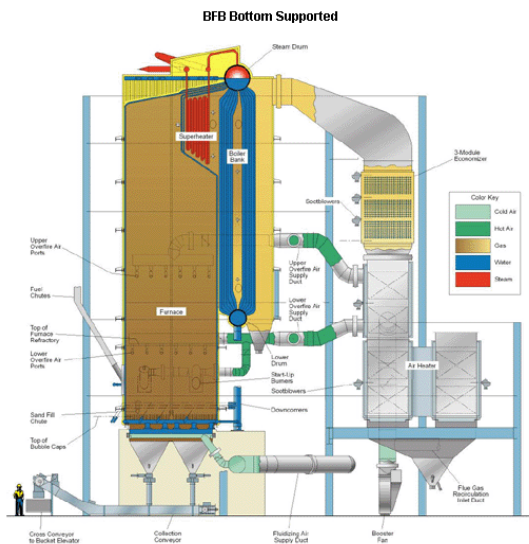
Range for NO_x/NH₃-optimised operation
 "A"- Optimal temperature for SNCR alone (low ammonia slip)
 "B"- Optimal temperature for SNCR + SCR (high ammonia slip)

Övningsuppgift

En ny 10 MW FB panna (hetvatten) ska dimensioneras för att klar av att elda RT-flis med en fukthalt mellan 20 –50%

Slutförbränningszon ska dimensioneras för minst 2 sekunders uppehållstid över 850 °C.

Eldstaden är kvadratisk. Samma tvärsnittsytta i hela eldstaden. Eldstadsbelastningen är $1300 \text{ kW}_{br}/\text{m}^2$. Pannverkningsgrad antas vara 91 %.



Hjälpmedel : Datorprogram CombCalc

Övningsuppgift 1

Bestäm luft, bränsle och rökgasflöde och rökgasåterföring för konstant adiabatisk temperatur

Förutsättningar

- 1) Börja med det fuktigaste bränsle och sätt rökgasåterföring till 0 %
- 2) Beräkna övriga fukthalter genom att anpassa rökgasåterförings så att adiabatisk temperatur blir konstant

Hjälpmedel:

Combcalc flik nyckeltal

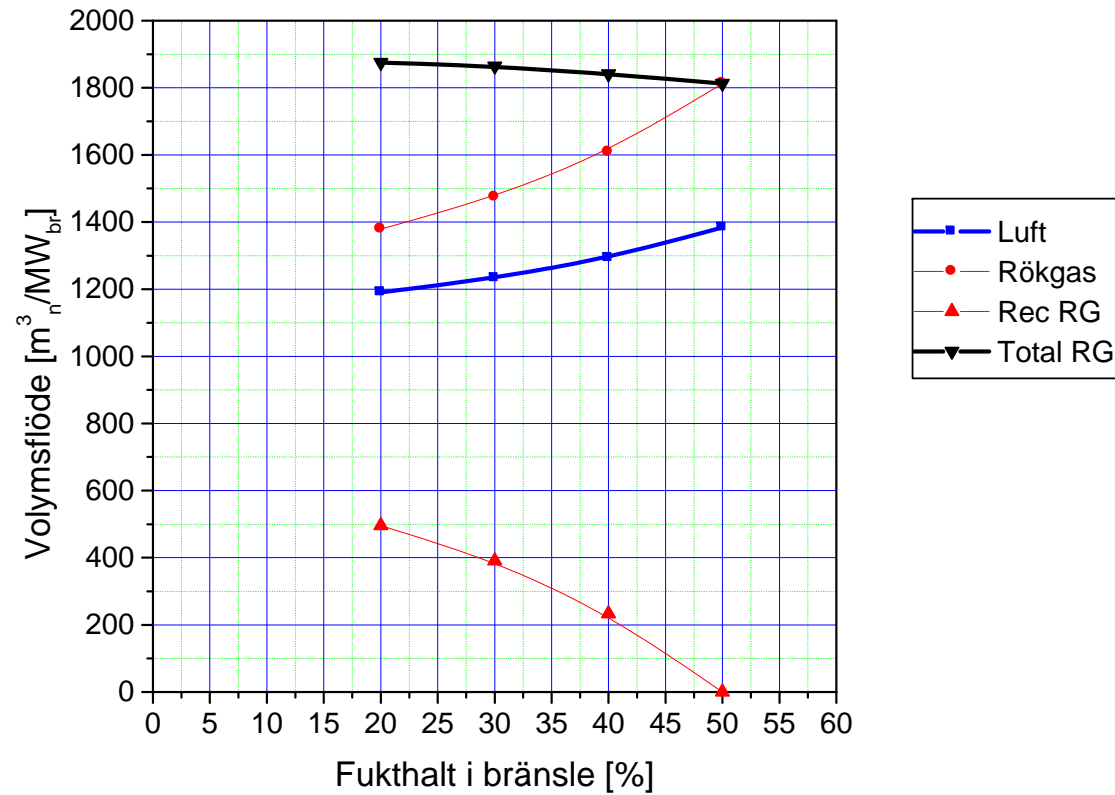
Övningsuppgift 1

Luft och rökgasflöden, Effekt

Bränsle: RT-flis, O₂ våt = 4 %

		20 % fukt	30 % fukt	40 % fukt	50 % fukt
Adiabatisk förbränningstemperatur	[°C]				1255
luftfaktor	[-]				1,34
Bränsleflöde	[kg/h]				5 144
Luft	[m ³ _n /MWh]				15 221
Bildad rökgas	[m ³ _n /MWh]				19 942
Recirkulerade rökgaser	[m ³ _n /MWh]				0
Total rökgasmängd	[m ³ _n /MWh]				19 942
P _{in}		11	11	11	11

Facit i Hand



Övningsuppgift 2

Bestäm slutförbränningszonens storlek

- 1) Bestäm tvärsnitt: bredd och djup
- 2) Bestäm höjd (antag 10 % marginal)
- 3) Bestäm total väggyta

Förutsättningar

- 1) Antag kvadratisk tvärsnitt och $1300 \text{ kW}_{\text{br}}/\text{m}^2$
- 2) Uppehållstid ska var 2,2 sekunder, Antag 1000°C i medeltemperatur.
- 3) Dimensionera efter rökgasflöde för 20 % fuktig RT-flis

Hjälpmedel:

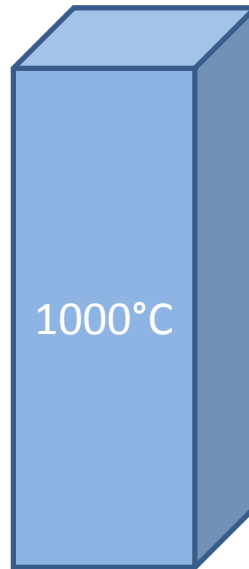
Combcalc flik nyckeltal

$$\text{Eller } V = t \frac{\dot{V}_{RG}}{3600} \frac{(273 + T_g)}{273}$$

Facit i Hand



20 633 m³_n/h



$$A_v = 4 * 2,91 * 6,95 = 80,9 \text{ m}^2$$

$$A = 11000 / 1300 = 8,46 \text{ m}^2 = 2,91 \times 2,91 \text{ m}$$

$$V = t \frac{\dot{V}_{RG}}{3600} \frac{(273 + T_g)}{273} = 2,2 \frac{20633}{3600} \frac{(1000 + 273)}{273} = 58,8 \text{ m}^3$$

$$h = V/A = 58,8/8,46 = 6,95 \text{ m}$$

$$P_A = \frac{P_{br}}{A} = \frac{11000}{8,46} = 1300 \text{ kW} / \text{m}^2$$

$$P_V = \frac{P_{br}}{V} = \frac{11000}{58,8} = 187 \text{ kW} / \text{m}^3$$

$$P_S = \frac{P_{br}}{A_s} = \frac{11000}{(8,46 + 80,9)} = 123 \text{ kW} / \text{m}^2$$

Övningsuppgift 3

Kontrollräkna temperatur, Anpassa kylvta

- 1) Bestäm utgående rökgastemperatur utan tilläggsurning
- 2) Bestäm kylvta för 950 °C utgående rökgastemperatur

Förutsättningar

- 1) Data från uppgift 2
- 2) Konvektiv värmeöverföring = $18 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$
- 3) Vattentemperatur 250°C
- 4) Partikelbelastning = $0,0025 \text{ kg/m}^3$
- 5) Antag adiabatisk temperatur vid inlopp
- 6) Antag logaritmiskt avtagande temperatur

Hjälpmedel:

Combcalc flik värme

Facit i Hand



BioEld Norden AB CombCalc ver 1.70 (Boo Ljungdahl 2010-04-10)

Arkiv Redigera Beräkna Hjälp

Grundförsättningar | Bränsle | Rökgas | Luftregister | Panna | Värme | SNCR | Nyckeltal | Val av modeller

Grunddata

Totalt tillförd effekt	[MW]	11
Recirkulerad rökgas	[MW]	0
Luftförvärmning	[MW]	0
Adiabatisk temperatur	[°C]	1255
Värmeövergång Vatten	[W/m ² K]	1000
Tjocklek tub	[m]	0,005
Konduktivitet tub	[W/m K]	75
Tjocklek keramik	[m]	0
Konduktivitet keramik	[W/m K]	1
Gas-konvektion	[W/m ² K]	18
Emisivitet vägg	[-]	0,7
Effektivitetsfaktor vägg	[-]	1,0
Renhetsfaktor vägg	[-]	1,0
Vattentemperatur in	[°C]	250
Vattentemperatur ut	[°C]	250
Gaskroppens Volym	[m ³]	58,8
Gaskroppens Yta	[m ²]	97,8
Exponerad väggyta	[m ²]	89,4
Effektiv väggyta	[m ²]	89,4
Medel strållängd	[m]	2,16

Beräknad temperatur flamma

- Anpassad sluttemperatur
- Ingen anpassning
- PSR-temperatur
- Logaritmisk medeltemperatur
- Manuell temperatur

Flamtemperatur [°C] 984

Temperatur [°C]		Effekt [MW]
Före Kylning	1256	11,01
Efter Kylning	769	6,32
		4,7
Väggtemperatur	[°C]	306,04
Kyleffekt	[MW]	4,7
Kgaskonv. + strålning	[W/m ² K]	77,51
Kvägg + vatten	[W/m ² K]	937,5
Kmedel	[W/m ² K]	71,59
ε [-]	α [-]	
CO ₂ +H ₂ O	0,3	0,47
Aska	0,1	
Char	0	
Sot	0	
Kombinerad strålning	0,37	0,52

OBS! Väjl Strålningsmodell under fik "Val av modell"

Partikelbelastning [kg/m ³]	Aska	Char	Sot
Partikeldiameter [µm]	17	75	
RRSB fördelning [-]	1,5	1,5	
Partikeldensitet [kg/m ³]	2200	1000	

769°C

BioEld Norden AB CombCalc ver 1.70 (Boo Ljungdahl 2010-04-10)

Arkiv Redigera Beräkna Hjälp

Grundförsättningar | Bränsle | Rökgas | Luftregister | Panna | Värme | SNCR | Nyckeltal | Val av modeller

Grunddata

Totalt tillförd effekt	[MW]	11
Recirkulerad rökgas	[MW]	0
Luftförvärmning	[MW]	0
Adiabatisk temperatur	[°C]	1255
Värmeövergång Vatten	[W/m ² K]	1000
Tjocklek tub	[m]	0,005
Konduktivitet tub	[W/m K]	75
Tjocklek keramik	[m]	0
Konduktivitet keramik	[W/m K]	1
Gas-konvektion	[W/m ² K]	76
Emisivitet vägg	[-]	0,7
Effektivitetsfaktor vägg	[-]	1,0
Renhetsfaktor vägg	[-]	1,0
Vattentemperatur in	[°C]	250
Vattentemperatur ut	[°C]	250
Gaskroppens Volym	[m ³]	58,8
Gaskroppens Yta	[m ²]	97,8
Exponerad väggyta	[m ²]	44
Effektiv väggyta	[m ²]	44
Medel strållängd	[m]	2,16

Beräknad temperatur flamma

- Anpassad sluttemperatur
- Ingen anpassning
- PSR-temperatur
- Logaritmisk medeltemperatur
- Manuell temperatur

Flamtemperatur [°C] 1094

Temperatur [°C]		Effekt [MW]
Före Kylning	1256	11,01
Efter Kylning	952	8,03
		2,98
Väggtemperatur	[°C]	322,31
Kyleffekt	[MW]	2,98
Kgaskonv. + strålning	[W/m ² K]	87,86
Kvägg + vatten	[W/m ² K]	937,5
Kmedel	[W/m ² K]	80,33
ε [-]	α [-]	
CO ₂ +H ₂ O	0,28	0,47
Aska	0,1	
Char	0	
Sot	0	
Kombinerad strålning	0,35	0,52

OBS! Väjl Strålningsmodell under fik "Val av modell"

Partikelbelastning [kg/m ³]	Aska	Char	Sot
Partikeldiameter [µm]	17	75	
RRSB fördelning [-]	1,5	1,5	
Partikeldensitet [kg/m ³]	2200	1000	

952°C

Reducera yta med ca 50 %