



STIFTELSEN FÖR VÄRMETEKNISK FORSKNING

Avgassystem vid naturgassystem

Kjell Wanselius

Avgassystem vid naturgasförbränning
Kjell Wanselius

1989-10-15

(SKORSTEN)

Förord.

Denna rapport är ett Värmeforsk nivå 2-projekt. Detta innebär att de enskilda intressenterna har finansierat rapporten.

De fem finansiärerna är:

ENERGIVERKEN I GÖTEBORG
STOCKHOLM ENERGI
SWEDEGAS AB
SYDGAS AB
VATTENFALL AB

Arbetet med denna handledningsskrift har pågått sedan våren 1988. Vissa uppgifter var beroende av att föreskriften från Boverket dvs "Nybyggnadsregler" skulle komma ut och ersätta "Svensk Byggnorm". Dessutom var det viktigt att få klarhet i metoder att bestämma skorstenshöjder och utsläppsplatser för avgaser.

Flera delar i denna handledningsskrift har jag arbetat fram i tidigare sammanhang som konsult åt Sydkraft AB under de första åren vid den svenska naturgasintroduktionen.

Viktiga synpunkter har givits av den referensgrupp som funnits under arbetets gång. Referensgruppen har bestått av Thomas Carlqvist (SwedeGas), Per Carlson (Energiverken i Göteborg), Nils-Erik Carlstedt (Vattenfall), Anders Marklund (Stockholm Energi) och Lars Nilsson (Sydgas).

Detta är den första utgåvan av handledningsskriften för avgassystem. Det har bedömts viktigt att skriften kommer ut till de som arbetar med skorstensfrågor så fort som möjligt. I en andra utgåva är det planerat att "snygga upp" skriften samt arbeta in eventuella kommentarer och nyheter om beräkningar av skorstenshöjder.

De databeräkningsprogram som visas i handledningsskriften kommer så småningom att finnas tillgängliga på en datadiskett kallad "Gasdatadisketten". Arbetet med att ta fram "Gasdatadisketten" pågår och där ska finnas de mest användbara uppgifterna och beräkningarna för naturgasanvändning.

Kjell Wanselius

AVGASSYSTEM VID NATURGASFÖRBRÄNNING

INNEHALLSFÖRTECKNING.

Förord.

0. Sammanfattning

1. Bakgrund, målsättning och definitioner

- 1.1 Allmänt om avgassystemets uppgift.
- 1.2 Målsättningen med denna handledning
- 1.3 Definitioner

2. Naturgas

- 2.1 Vad är naturgas
- 2.2 Förbränning av naturgas
- 2.3 Beräkna förbränningsverkningsgraden eller avgasförlusten

3. Avgassystemets dimensionering

- 3.0 Allmänt
- 3.1 Den termiska stignakften
- 3.2.1 Friktionsmotståndet
- 3.2.2 Motståndstal i böjar etc.
- 3.2.3 Sammanfattning av termisk stignakft, friktionsmotstånd och motståndstal.
- 3.3 Avgasvolym med hänsyn till luftöverskott och avgastemperatur
- 3.3.1 Fläktbrännare
- 3.3.2 Atmosfärsbrännare
- 3.4 Beräkningsprogram för datorer (Basic)
- 3.5 Några beräkningsexempel avgassystem

4. Kondensproblem i avgassystem.
 - 4.1 Vad består naturgasens avgaser av.
 - 4.2 Daggpunkten och hur den kan påverkas.
 - 4.3 Orsaken till att kondensproblem ofta kan uppstå vid konvertering till naturgas.
 - 4.4 Beräkning av avgastemperaturen i avgassystemet utlopp.
 - 4.4.1 Värmeförlust i avgassystemets delar
 - 4.4.2 Temperatursänkning på avgaserna
 - 4.4.3 Beräkningsprogram för datorer (Basic).
5. Metoder att förebygga och åtgärda kondens i avgassystem
 - 5.1 Luftinblandning i avgaserna för att minska kondensrisken.
 - 5.1.1 Exempel på hur luftinblandning kan utföras.
 - 5.1.2 Varifrån skall utblandningsluften tas?
 - 5.1.3 Vilka förluster innebär den ökade ventilationen?
 - 5.1.4 Rekommendationer.
 - 5.2 Installera insatsrör
 - 5.3 Avleda kondensatet
 - 5.4 Kondensera ut vattenången och sedan eftervärma avgaserna
 - 5.5 Ändra brännareffekten
 - 5.6 Ändra luftinställningen på brännaren
6. Avgashastigheter i avgassystem.
 - 6.1 Högsta tillåtna avgashastighet.
 - 6.2 Lägsta tillåtna avgashastighet.
 - 6.3 Gränser för självdrag och forcerat drag.
 - 6.4 Minhastighet i avgassystemtopp för att förhindra kallras i ytterkanterna.
7. Befintliga rökgassystem,
 - 7.0 Allmänt
 - 7.1 Några tvärsnitt på rökkanaler och skorstenar.
 - 7.2 Fristående industriskorstenar av tegel.
 - 7.3 Sotarintyg

8. Nybyggnad av avgassystem, material och utförande.
 - 8.1 Från Nybyggnadsreglerna.
 - 8.1.1 Nybyggnadsregler avsnitt 3:446 "Material".
 - 8.1.2 Nybyggnadsregler avsnitt 3:447 "Rensning och inspektion".
 - 8.1.3 Nybyggnadsregler avsnitt 3:448 "Schakt".
 - 8.1.4 Nybyggnadsregler kapitel 3:45 "Avgaskanaler".
 - 8.2 Stål och cortenstål.
 - 8.3 Syrafast stål.
 - 8.4 Aluminium.
 - 8.5 Plast.
9. Att välja gemensam kanal eller separata kanaler för flera pannor.
 - 9.1 Fastighets- och industripannor
 - 9.2 Lägenhetspannor
10. Insatsrör i befintliga rökgassystem
 - 10.0 Allmänt
 - 10.1 Enbart för att förhindra kondens.
 - 10.2 För att laga en otät avgas-rökkanal.
 - 10.3 Hur skall insatsröret monteras.
11. Gamla gnistkammare.

12. Avgassystemshöjder.

12.1 Bakgrund.

12.2 Kväveoxider.

12.2.1 De viktigaste kväveoxidföreningarna.

12.2.2 Hur bildas NO_x, tre huvudgrupper.

12.2.3 Metoder att minska kväveoxidutsläppen.

12.2.4 Verkligt uppmätta värden.

12.3 Nybyggnadsreglerna.

12.4 Metoder att bestämma utsläppsplats/höjd.

12.4.1 Sammanställning av alla metoder.

12.4.2 < 60 kW "lm metoden".

12.4.3 < 30 kW "Terminalmodellen".

12.4.4 60 - 500 kW "Vinkelmetoden".

12.4.5 500 - 10 000 kW "Referenshöjdmétoden".

12.4.6 0 - ca 30 000 kW "Konstanta NO_x metoden".

12.4.7 1 - ca 50 MW "SMHI-modellen".

12.4.8 1 - ca 100 MW "Nomogrammetoden".

12.4.9 > 10 MW "Singelmodellen".

13. Uppgifter som bör samlas in i samband med konvertering.
(papper att fylla i data.)

14. Kombinationsbrännare för gas/olja.

Referenslista.

Bilaga 1 Delar ur "Nomogrammetoden".

0. Sammanfattning

Idag finns uppgifter om avgas(rökgas)system spridda på flera ställen. Denna handledningsskrift har samlat alla relevanta uppgifter om avgassystem för naturgaseldade anläggningar.

Moderna hjälpmedel i form av dataprogram erbjuds och ersätter därmed en stor del av de traditionella tabellerna och diagrammen. Det blir därmed enklare och snabbare att dimensionera avgassystemen. Resultatet blir också mera korrekta dimensioneringar.

Man får inte glömma att avgassystemet inte kan dimensioneras för sig. Dimensionen påverkas av val av brännare och panna. Följande parametrar behövs:

- brännarens tryckuppsättningskurva.
- pannans motstånd vid maxlast
- motståndet i skorstenen.

Med naturgas som bränsle är det enklare att tillverka gasbrännare som har stora reglerområden och som leder till att höga årsverkningsgrader erhålls. Men är man oförsiktig kan det bli kondensproblem i skorstenen. Hur detta ska kunna beräknas ut i förväg visas i denna handledningsskrift samt om olika vägar att lösa problemet på.

Gamla befintliga tegelskorstenar och gnistkammare kan ibland skapa problem vid konverteringar till naturgas. Hur ska man göra med dessa och hur eventuella insatsrör ska installeras finns beskrivet. En blankett för insamlande av skorstensdata inför en konvertering till naturgas finns med.

Var någonstans får avgaserna släppas ut? Det är en väsentlig fråga som betyder extrakostnader om man gör på fel sätt. Med naturgas blir föroreningsutsläppen lägre än med andra bränslen och detta medför möjligheter att släppa ut avgaserna på en lägre höjd än annars. För villapannor visas en metod att släppa ut avgaserna vid yttervägg.

I skriften finns en del data om naturgasens egenskaper och hur man ska få fram förbränningsverkningsgrader med eller utan kondensering av avgaserna.

1. Bakgrund, målsättning och definitioner

1.1 Allmänt om avgassystemets uppgift.

Avgassystemets uppgift är att leda bort förbränningsgaserna från en eldstad och släppa ut dessa på ett sådant ställe att de inte ger någon hälsoeffekt lokalt. I normalfallet innebär detta att utsläppet sker en bit upp i luften.

Hos eldstäder med undertryckseldning har skorstenen dessutom uppgiften att skapa nödvändigt undertryck "självdug" i eldstaden. Undertrycket suger in förbränningsluften.

Undertryckseldning kan också vara nödvändigt där förbränningsluften tillförs med mekanisk fläkt men där pannan inte är utförd tät.

1.2 Målsättningen med denna handledning

Idag finns uppgifter om avgassystem utspridda på flera ställen som i böcker, Nybyggnadsreglerna, Naturgasdistributionsnormen (NGDN) och separata utredningar. Syftet med denna handledningsskrift är att samla alla relevanta uppgifter om avgassystemen för naturgaseldade anläggningar. Samtidigt uppdateras äldre uppgifter om skorstensdata och nya moderna hjälpmedel erbjuds som datorprogram som komplement till traditionella tabeller och diagram.

Med denna handledning ska det vara möjligt att :

- dimensionera arean på avgaskanal och förbindelsekanal med hänsyn till typ av brännare, typ av panna, höjd på avgaskanal, temperatur på avgaserna, antal böjar etc som ger stötförluster samt kanalens ytråhet.

- beräkna temperatursänkningen i avgassystemets hela längd för att kontrollera om det finns risk för kondensutfällning i avgassystemet. Temperatursänkningen beräknas med hänsyn till bränsleeffekt, luftfaktor, kanalarea, isolertjocklek, typ av isolering, avgastemperatur i kanalens början samt temperatur på kanalens utsida.

- avgöra var utsläppet av avgaserna får ske. För mindre anläggningar blir det generella regler och för större anläggningar blir det enklare beräkningar av den höjd utsläppet får ske dvs vilken skorstenshöjd det måste vara.

Avgassystem vid naturgasförbränning
Kjell Wanselius

1.3 Definitioner och förklaringar.

Avgas	förbränningsprodukter från gasformigt bränsle.
Rökgas	förbränningsprodukter från flytande eller fast bränsle.
Avgassystem	system för bortförande av avgaser från gasapparat till atmosfären.
Förbindelsekanal	kanal mellan gasapparat och avgas(rökgas)kanal.
Avgaskanal	i huvudsak vertikal kanal som bortför avgaser till atmosfären. Temperaturen på avgaserna får ej överstiga 150°C och gasapparat måste vara utrustad med dragavbrott.
Rökgaskanal	i huvudsak vertikal kanal som bortför avgaser till atmosfären.
Skorsten	vertikal byggnadskropp där avgas (rökgas)kanaler är inmonterade .
Dragavbrott	avbrott på avgassystem avsedd att hindra att förbränningen störs dels av för stora dragvariationer i avgaskanalen och dels vid tillfälligt bakdrag i avgassystemet.
Atmosfärsbrännare	brännare där förbränningsluften tillförs utan fläkt.
Fläktbrännare	brännare där förbränningsluften tillförs med fläkt.
Daggpunkt	temperatur där vattenånga i avgaser börjar kondensera.
Luftfaktor (λ)	verklig luftmängd i förhållande till den minsta luftmängd som krävs för att allt bränsle ska förbrännas (stökiometrisk förbränning)
Förbränningsverkningsgrad	inmatad bränsleenergi i pannan minus avgas(rökgas)förlust.

Betyder särskilt viktiga avsnitt.

Markerar föreskrifter som har citerats och måste följas.

2. Naturgas

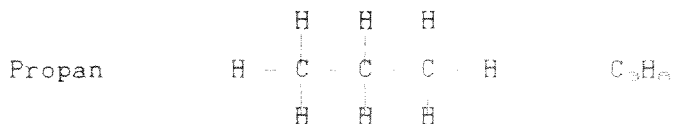
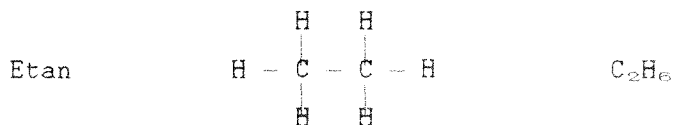
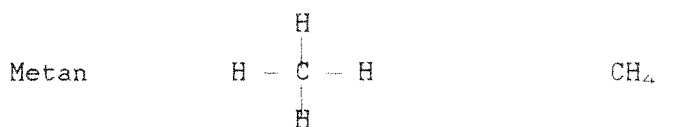
2.1 Vad är naturgas

Den svenska naturgasen kommer idag (1989) från den danska delen av Nordsjön.

Naturgasens sammansättning varierar mellan olika gaskällor men gemensamt för det som kallas naturgas är att andelen metan dominerar. Metanandelen kan variera mellan 80-99% beroende på fyndighet.

Metan är den enklaste kolväteföreningen, 1 kolatom + 4 väteatomer.

Några kolväteföreningar



Den naturgas som används i Sverige har följande sammansättning i volym%.

Metan	CH_4	91,1%
Etan	C_2H_6	4,7%
Propan	C_3H_8	1,7%
Butan + högre kolvätan	C_4H_{10}	1,4%
Koldioxid	CO_2	0,5%
Kvävgas	N_2	0,6%
Svavel (från tillsatt luktämne)		0,2 mg/MJ

Svavelhalt från några olika bränslen juli 1989:

Naturgas idag	0,2 mg/MJ
Ved ¹	20 --"
E01	50 --"
Torv ¹	120 --"
E05	190 --"
Kol	190 --"
Stadsgas	0,2 --"

¹) Referensbränsle ur KOL-HALSA-MILJÖ

Vissa kommuner har strängare krav på tillåten svavelhalt i olja o kol.

2.2 Förbränning av naturgas

Med förbränning avses en reaktion vid hög temperatur mellan ett ämne och syre då den i ämnet bundna energin frigörs.

Den energimängd som bildas då 1 m³ naturgas förbränns kallas för gasens värmevärde. Energin kan anges i kWh, kcal eller kJ.

Av tradition anges värmevärdena för bränslen till det undre (effektiva) värmevärdet. Men det finns ytterligare en energimängd i den ånga som kondenserar ut vid låga temperaturer. Om denna kondensvärme medräknas kallas det för bränslets övre (kalorimetriska) värmevärde.

Verkningsgradsberäkningar utgår från det undre värmevärdet. I England och USA beräknas verkningsgraderna till det övre värmevärdet vilket ger skenbart lägre verkningsgradsvärden.

Det övre värmevärdet har intresse där kondensationspannor installeras eftersom man i dessa pannor kyler avgaserna till så låg temperatur att en del av kondensationsvärmén frigörs.

Avgassystem vid naturgasförbränning
Kjell Wanselius

Fysikaliska data på svensk naturgas från Danmark:

Övre(kalorimetriskt) värmevärde	Hö= 43,2 MJ/m ³ _n 12,0 kWh/m ³ _n
Effektivt(undre) värmevärde	Hu= 39,0 MJ/m ³ _n 10,8 kWh/m ³ _n
Densitet	δ= 0,81 kg/m ³ _n
Relativ densitet (luft=1)	d= 0,63
Luftbehov vid stökiometrisk förbränning	
Torr luft	Fuktig luft
10,37	10,49 m ³ _n /m ³ _n
0,266	0,269 m ³ _n /MJ
0,960	0,971 m ³ _n /kWh
Avgasmängd vid stökiometrisk förbränning	
Torr luft	Fuktig luft
11,36	11,47 m ³ _n /m ³ _n
0,291	0,294 m ³ _n /MJ
1,052	1,062 m ³ _n /kWh

För att förbränna 1 m³ naturgas behövs 10,37 m³ luft (torr). Gasblandningen som erhålls är en perfekt(stökiometrisk) gasblandning och betyder att all naturgas blir förbränd. I praktiken behövs lite mer luft för att förbränningen skall bli bra dvs utan att ofullständig förbränning uppstår. Ett vanligt värde är att brännare brinner med ca 20% luftöverskott (=luftfaktor 1,2) vilket i vårt exempel innebär ca 2 m³ luft.

Luften består av 20,9 vol% syre och 79,1 vol% kväve (inkl ädelgaserna). Det är bara syret i luften som tillsammans med naturgasen brinner och ger energi. Kvävet och luftöverskottet passerar bara rakt igenom och är till ingen nytta.

G A S B L A N D N I N G

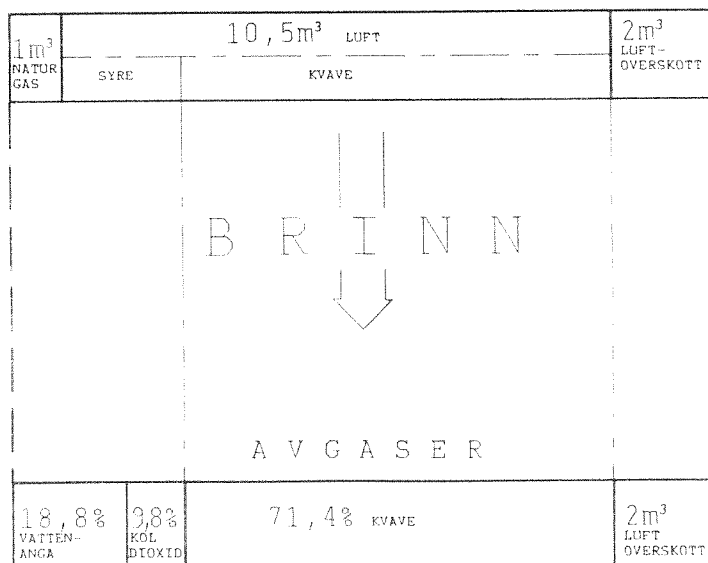


Bild: 2:A
Brännbar gas-
blandning
brinner och
blir avgaser

När naturgasen och syret brinner bildas värme. Förbränningsprodukterna består av 9,8 vol% koldioxid och 18,8 vol% vattenånga. Det är samma förbränningsprodukter som finns i människans utandningsluft.

Observera att när man tar ett analysprov på avgaserna så är den teoretiskt maximala koldioxidhalten 12,0 vol% i stället för 9,8 vol%. Detta beror på att den volym vattenången representerar är borta vid analysen p g a vattenången kondenserats ut i själva analysapparaten.

Koldioxid ingår i naturens kretslopp och är ej giftig. Koldioxid tillhör de sk växthusgaserna. Tabellen nedan visar bildad mängd koldioxid för några bränslen räknat vid tillfört bränsle och effektivt värmevärde.

Naturgas	215	gr CO ₂ /kWh
Olja	270	"-
Kol	400	"-

Mängden vattenånga i avgaserna från naturgasförbränning är 18,8 vol%. Tabellen nedan visar vatteninnehållet i avgaserna för några olika bränslen (stökiometrisk förbränning).

Bränsle	Daggpunkt °C	Vattenånga vikt %	Kondensat vid 0°C kg/kWh	Undre värmevärde kWh/kg
Naturgas	58	11,87	0,150	13,44
Propan	55	9,70	0,119	12,91
E01	49	6,88	0,085	11,46
E05	49	6,89	0,085	11,30
KOL	41	4,06	0,046	7,98
Flis 30% fukt	60	13,36	0,196	3,47
Flis 50% fukt	67	19,47	0,337	2,28

Kort om kväveoxider.

Vid all förbränning bildas kväveoxider vilka gemensamt kallas för NO_x. Bildningsprocessen är komplicerad och kan ske på flera olika sätt. Vid förbränning av naturgas dominerar den sk termiska NO_x-bildningen som bestäms av temperaturnivå och uppehållstid för molekyler i eldstaden. Bränslen som olja och kol innehåller även kemiskt bundet kväve vilket bildar sk kemisk bränsle NO_x.

Då avgaserna lämnar avgaskanalens mynning är ca 90% av kväveoxiderna i formen kväveoxid, NO, och 10% kvävedioxid, NO₂. I atmosfären upptar NO en syremolekyl och bildar NO₂. NO₂ bildar så småningom salpetersyra som efter en tid faller ned som försurat regn.

Relativt andra vanliga bränslen ger naturgasen lägre halter NOx.

Mer om kväveoxider tas upp i kapitlet 12 som handlar utsläppshöjder för avgas(rökgas)kanaler.

2.3 Beräkna förbränningsverkningsgraden eller avgasförlusten.

Genom att mäta temperaturen och luftöverskottet i avgaserna efter pannan kan avgasförlusterna beräknas. Luftöverskottet bestäms genom att mäta CO₂ (koldioxid)halten eller O₂-halten.

-ju högre avgastemperatur ju större avgasförluster

-ju större luftöverskott ju större avgasförluster.

Avgasförlusten baserat på mätning av koldioxidhalten (CO₂):

$$q_A = (t_A - t_L) * \left(\frac{A_1}{CO_2} + B \right)$$

Avgasförlusten baserat mätning av syrehalten O₂:

$$q_A = (t_A - t_L) * \left(\frac{A_2}{21 - O_2} + B \right)$$

q_A = Avgasförlust i %
t_A = Avgastemperatur i °C
t_L = Förbränningsluftstemperatur i °C
CO₂ = Koldioxidhalten i %
O₂ = Syrehalten i %

FAKTORERNAS VARDEN FÖR OLIKA BRÄNSLEN

	Natur- gas	Stads- gas	Gasol	Olja
A ₁	0,38	0,35	0,42	0,50
A ₂	0,67	0,63	0,63	0,68
B	0,01	0,011	0,008	0,007

Avgassystem vid naturgasförbränning
Kjell Wanselius

Exempel:

Avgastemp 180 gr C
Förbränningslufttemp 20 gr C
CO₂ halt 10,0%

$$\text{Avgasförlust} = (180 - 20) * \left(\frac{0,38}{10,0} + 0,01 \right) = 7,68 \approx 7,7$$

eller

$$\text{Förbränningsverkningsgraden} = 100 - 7,7 = 92,3 \%$$

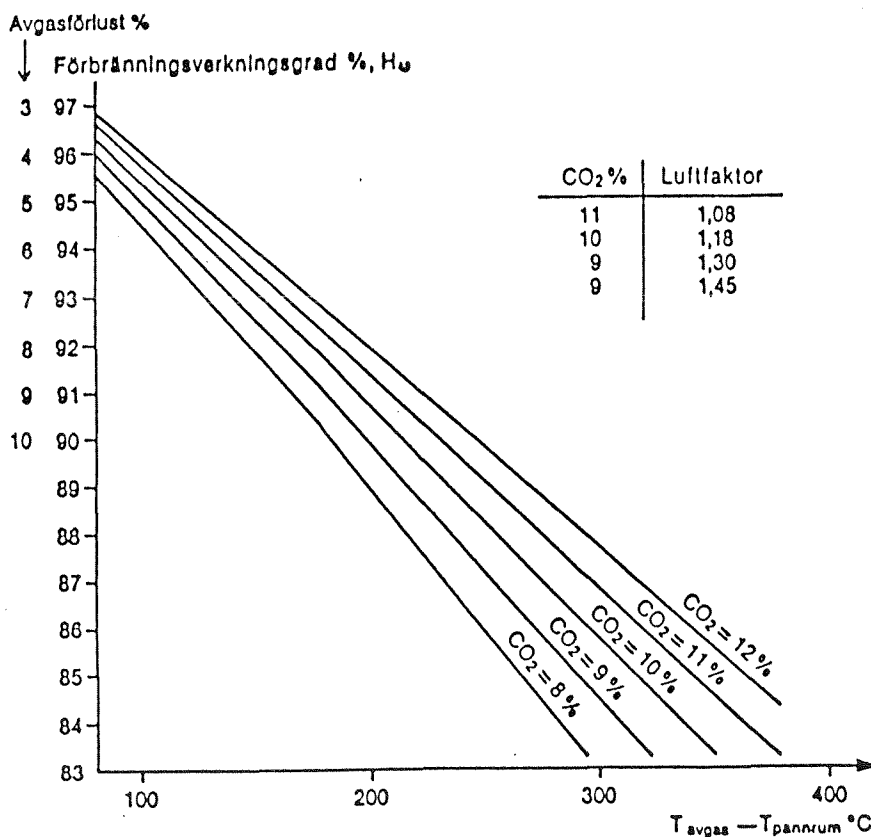


Diagram:
Förbränningsverkningsgraden
med hänsyn till avgastemperatur
och CO₂ (koldioxid)

Det är viktigt att kontrollera att förbränningen är fullständig. Oförbrända avgaser innehåller CO (koloxid). Det fattas en syreatom för att det skall bli förbränt till CO₂ (koldioxid). I värsta fall kan rena C (kol) molekyler bildas vilket innebär sotbildning.

Förbränningen kontrolleras genom en kontrollmätning av CO-halten i avgaserna. Ett bra värde är 20-100 ppm CO i avgaserna. Gränsvärde vid typgodkännande är 1000 ppm.

Avgassystem vid naturgasförbränning
Kjell Wanselius

Förbränningsverkningsgraden kommer över 100% om avgaserna kyls till så låg temperatur att vattenånga i avgaserna delvis fälls ut. Att över 100% kan erhållas beror på att man av tradition räknar verkningsgrader till det undre värmevärdet.

Förbränningsverkningsgrad
Räknat på effektiva
värmevärdet

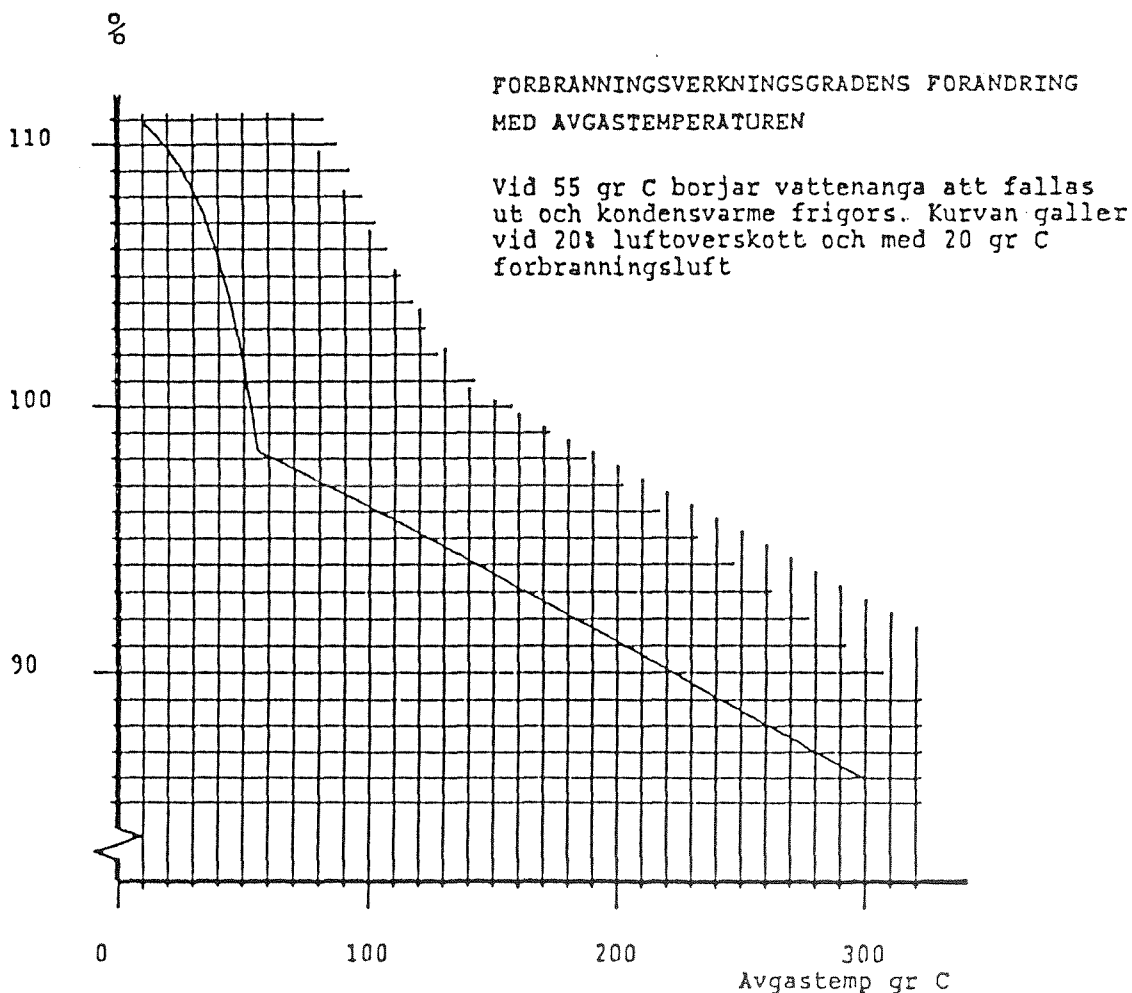


Diagram:
Förbrännings-
verkningsgraden
vid kondensering
av avgaserna

Avgassystem vid naturgasförbränning
Kjell Wanselius

FÖRBRÄNNINGSVERKNINGSGRADER

Förbränningsverkningsgrader för naturgas och propan (propan 95) i området där en del av avgasernas vattenånga kondenseras ut.

Förutsättningar:

Omgivningstemp 20°C

Relativ luftfuktighet= 40% vid 20°C

Fullständig förbränning

	NATURGAS					PROPAN			
	Luftöverskott								
Avgas- temp °C	1,1 10,8% 2,1%	1,2 9,8% 3,8%	1,3 9,0% 5,2%	1,5 7,7% 7,5%	← λ → ← CO ₂ → ← O ₂ →	1,1 12,3% 2,1%	1,2 11,2% 3,8%	1,3 10,3% 5,2%	1,5 8,8% 7,5%
0	112,0%	112,1%	112,2%	112,4%		109,9%	110,0%	110,1%	110,3%
10	111,2	111,2	111,3	111,4		109,1	109,1	109,2	109,3
15	110,7	110,7	110,7	110,7		108,6	108,6	108,6	108,6
20	110,1	110,1	110,0	109,9		108,0	108,0	107,9	107,8
25	109,4	109,3	109,2	109,0		107,4	107,2	107,1	106,9
30	108,6	108,4	108,2	107,8		106,5	106,3	106,1	105,8
32	108,2	108,0	107,8	107,3		106,1	105,9	105,7	105,2
34	107,8	107,5	107,3	106,7		105,7	105,4	105,2	104,6
36	107,3	107,0	106,7	106,1		105,2	104,9	104,6	104,0
38	106,8	106,4	106,1	105,4		104,7	104,4	104,0	103,3
40	106,2	105,8	105,4	104,6		104,1	103,7	103,3	102,5
42	105,6	105,1	104,7	103,7		103,5	103,0	102,6	101,6
44	104,9	104,4	103,8	102,7		102,8	102,3	101,8	100,7
46	104,1	103,5	102,9	101,7		102,0	101,4	100,8	99,6
48	103,3	102,6	101,9	100,5		101,2	100,5	99,8	98,4
50	102,3	101,6	100,8	99,2		100,2	99,5	98,7	98,3
52	101,3	100,4	99,6	98,1		99,2	98,5	98,4	98,2
54	100,1	99,1	98,2	98,0		98,5	98,4	98,3	98,0
56	98,8	98,3	98,1	97,9		98,4	98,3	98,2	97,9
58	98,3	98,2	98,0	97,8		98,4	98,2	98,1	97,8
60	98,2	98,1	97,9	97,6		98,3	98,1	98,0	97,7
65	98,0	97,8	97,7	97,3		98,0	97,9	97,7	97,4
70	97,8	97,6	97,4	97,0		97,8	97,7	97,5	97,1
75	97,5	97,3	97,1	96,7		97,6	97,4	97,2	96,8
80	97,3	97,1	96,9	96,4		97,4	97,2	97,0	96,5
90	96,8	96,6	96,4	95,8		96,9	96,7	96,4	95,9
100	96,4	96,1	95,8	95,2		96,5	96,2	95,9	95,3
150	94,1	93,6	93,1	92,2		94,2	93,8	93,3	92,3
200	91,7	91,0	90,4	89,0		91,9	91,3	90,6	89,3
250	89,2	88,4	87,6	85,0		89,5	88,7	87,9	86,1
300	86,7	85,7	84,7	82,5		87,1	86,1	85,1	82,9
350	84,2	83,0	81,7	79,2		84,6	83,4	82,2	79,7

3. Avgassystemets dimensionering

3.0 Allmänt

Avgassystemet kan inte dimensioneras för sig.
Dimensionen påverkas av val av brännare och panna.

- brännarens tryckuppsättningskurva.
- pannans tryckfall vid maxlast
- motståndet i skorstenen.

Höga avgashastigheter leder till mindre dimensioner och därmed normalt lägre kostnader för avgas-rökgaskanalerna. Detta är enda fördelen med höga avgashastigheter.

Nackdelen med höga avgashastigheter är att motståndet ökar. Avgasmotståndet i panna och avgas-rökgaskanal ska övervinnas av brännarfläkten eller rökgasfläkten. Höga motstånd leder till kraftiga fläktar som i sin tur leder till ökad elförbrukning i elmotorn och förhöjd ljudnivå från fläkten. Höga motstånd innebär att brännarens kapacitetsområde beskärs i maxlastläget vilket innebär att brännarens reglerområde minskas.

Följande parametrar ingår då lämplig dimension ska bestämmas på avgas(rökgas)kanalen:

- Bränsleeffekt
- Luftfaktor
- Avgastemperatur
- Höjden på avgassystemet
- Längden på förbindelsekanal och avgaskanal
- Ytråheten på kanalens innerytor
- Stötförluster från böjar etc
- Utomhustemperatur
- Gasbrännarens tryckuppsättning
- Pannans motstånd

Om kanaltvårsnittet ej är cirkulärt ska den hydrauliska diametern beräknas

$$D_h = 4 \cdot y_{\text{tan}} / \text{omkretsen}$$

Ex: en kanal med rektangulärt tvärsnitt har sidorna 200mm och 300 mm. Den hydrauliska diametern är då 240 mm.

Det dataprogram som finns under avsnitt 3.5 ersätter en mängd diagram som brukar finnas i handböcker för skorstensdimensionering. Att använda en dator, t ex en fickdator, innebär att beräkningen blir både enklare, snabbare och tillförlitligare jämfört med diagrammetoden.

3.1 Den termiska stigkraften

Den termiska stigkraften orsakas av täthetsskillnaden mellan de varma avgaserna och uteluften.

Ju varmare avgaserna är ju lägre täthet får dessa och ju bättre blir stigkraften i avgaskanalen. Om avgaserna skulle ha samma temperatur som uteluften skulle det inte bli någon stigkraft alls. Om avgasernas temperatur vore kallare än uteluften skulle det bli bakdrag i avgaskanalen.

De kurvblad för dimensionering av rökkanaler för oljeeldning bygger ofta på rökgastremperaturer kring 200°C vid maxlast. Med gaseldning försöker man ibland höja pannornas verkningsgrad genom att kyla avgaserna till betydligt lägre temperatur än 200°C. En lägre avgastemperatur leder till mindre stigkraft. Därför kan vissa tabellblad och kurvblad för oljeeldning ge för liten kanaldimension i gaseldningsfallet.

Den termiska stigkraften beräknas enligt formeln:

$$p(\text{term}) = (\tau_{\text{luft}} - \tau_{\text{avgas}}) * g * h$$

$p(\text{term})$ = termiska stigkraften (Pa)
 τ_{luft} = aktuell densitet hos uteluft (kg/m^3)
 τ_{avgas} = aktuell densitet hos avgaser (kg/m^3)
 g = jordaccelerationen (m/s^2)
 h = den verksamma höjden på avgassystemet (m),
(definition se bild 3A).

Exempel.

Avgastemp	200°C
Utelufttemp	10°C
Höjd	10 m

Densiteten vid normaltillståndet för avgaser och luft sätts lika dvs $1,293 \text{ g/m}^3$.

$$p(\text{term}) = \left(\frac{1,293 \cdot 273}{(273 + 10)} - \frac{1,293 \cdot 273}{(273 + 200)} \right) * 9,81 * 10$$

$$p(\text{term}) = 49,7 \text{ Pa}$$

Om rätt densitet hade används för naturgasens avgaser hade den termiska lyftkraften blivit 51,0 Pa dvs en ganska liten avvikelse. Detta vid luftöverskottet lamda 1,3 som ger densiteten 1,26. Avgasernas densitet ändras med luftöverskottet. Det kan därför bli lite krångligt att räkna ut den termiska lyftkraften med stor noggrannhet. Den förenkling som här görs har dessutom den fördelen att beräkningsprogrammet därmed blir användbart även för andra bränslen än naturgas som t ex propan och olja.

Densitet luft	=	$1,293 \text{ kg/m}^3$
Densitet avgas naturgas, lamda 1,0	=	$1,252 \text{ kg/m}^3$
Densitet avgas propan, lamda 1,0	=	$1,273 \text{ kg/m}^3$

3.2.1 Friktionsmotståndet

Friktionsmotståndet beror på kanalens längd och ytråheten på innerväggarna. Friktionsmotståndet ökar med hastigheten på avgaserna.

$$p(\text{frik}) = (\xi \cdot l / d + \zeta(\text{tot})) \cdot 0,5 \cdot \tau_{\text{avgas}} \cdot v_{\text{avgas}}^2$$

$p(\text{frik})$ = friktionsmotstånd (Pa)
 ξ = friktionskoefficient (varierar 0,02-0,04)
 l = avgassystemets längd (m)
 d = avgassystemets diameter (m)
 τ_{avgas} = densitet vid aktuell avgastemp (kg/m³)
 v_{avgas} = avgashastigheten vid aktuell avgastemp (m/s)
 $\zeta(\text{tot})$ = summa motståndstal från böjar och areaförändringar

3.2.2 Motståndstal i böjar etc.

Motståndstalen som finns med i formeln för strömningsförluster härrör från stötförluster vid areaförändringar och från engångsmotstånd i böjar etc.

Motståndstalen från de olika delarna av avgassystemet läggs ihop. Några exempel på motståndstal:

Utloppsmotstånd i mynningen på avgaskanalen	= 1,0
Inloppsmotstånd dragavbrott	= 0,5
Rörböj där rörets diameter är lika med böjens radie räknat i rörcentrum	= 0,35
90° vinkel	= 1,0

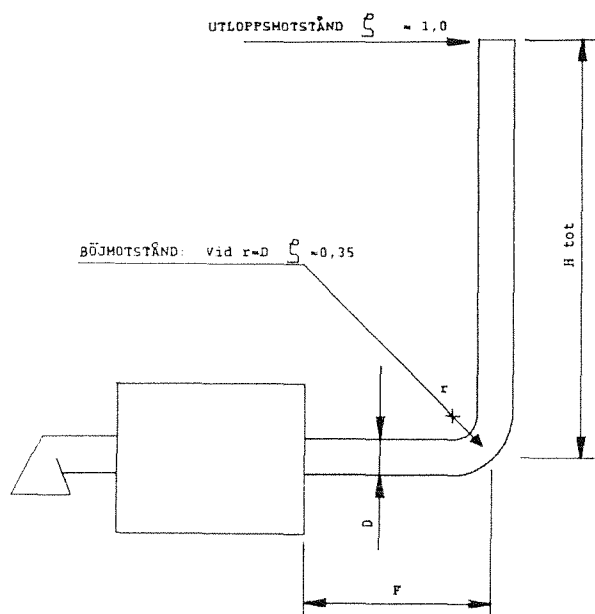
Bild 3A visar två exempel på avgassystem med olika motståndstal. Det övre exemplet visar ett avgassystem med lågt motståndstal och det under exemplet ett avgassystem med mycket högt motståndstal.

Bild 3B visar motståndstal för olika komponenter i avgassystemet.

Bild 3A.
Exempel på strömningsmotstånd.

EXEMPEL PÅ STRÖMNINGSMOTSTÅND

(SKORS*03)



Detta är ett exempel på ett avgassystem med låga motståndstal dvs lågt ξ (Zeta) värde

D = Kanalens innerdiameter

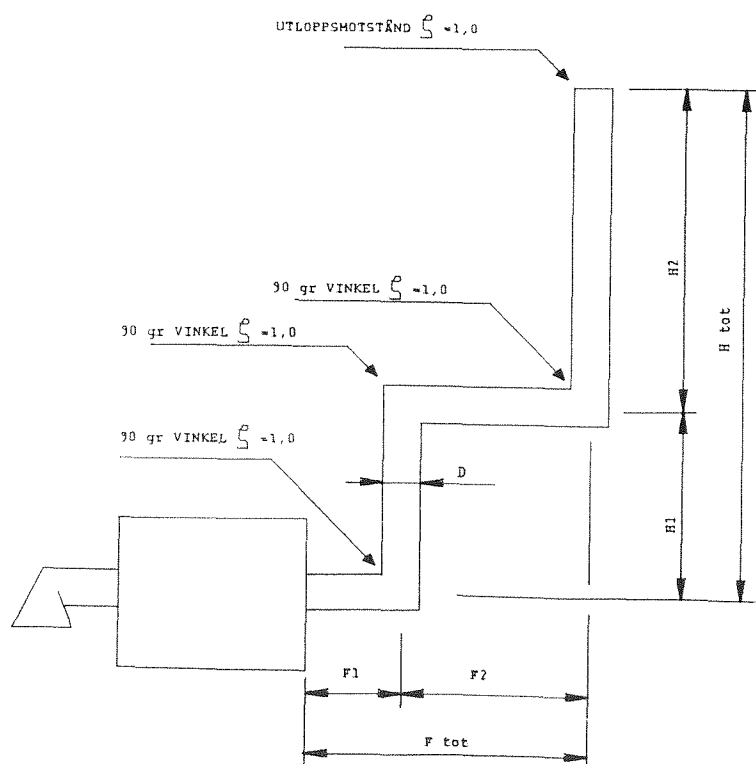
r = Kanalböjens radie

H_{tot} = Verksam skorstenshöjd

F = Förbindelsekanals längd

Summa motståndstal:

$$\xi_{tot} = 0,35 + 1,0 = 1,35$$



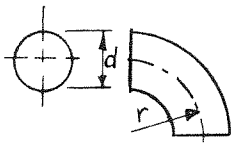
Det här är ett exempel på ett avgassystem med höga motståndstal dvs högt ξ (ZETA) värde. Skarpa vinklar är ett olämpligt utförande.

Summa motståndstal:

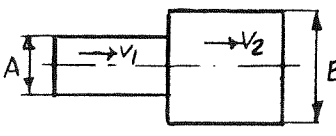
$$\xi_{tot} = 1 + 1 + 1 + 1 = 4,0$$

Bild 3B.
Motståndstal för komponenter i ett avgassystem.

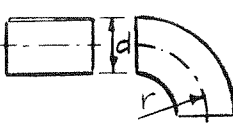
90° böj i rund kanal

	r/d	ζ
	0,5	1,0
	0,75	0,5
	1,0	0,35
	1,5	0,25
	2,0	0,20

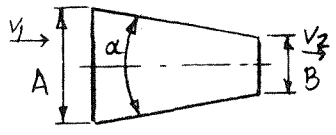
Komponent expanderande åt höger

	A/B	(v_1) ζ
	0,8	0,04
	0,6	0,16
	0,4	0,36
	0,2	0,64
	0,0	1,0

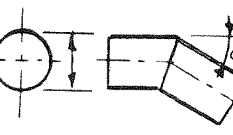
90° böj i rektangulär kanal

	r/d	ζ
	0,5	1,3
	0,75	0,5
	1,0	0,3
	1,5	0,2

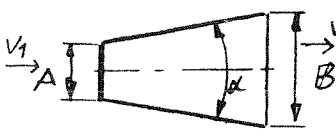
Kona avtagande åt höger

	α	(v_2) ζ
	30°	0,02
	45°	0,04
	60°	0,07

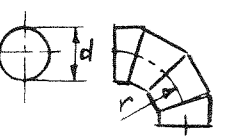
Skarp böj i rund kanal

	α	ζ
	10°	0,05
	30°	0,15
	45°	0,3
	60°	0,5
	90°	1,0

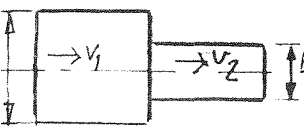
Kona expanderande åt höger

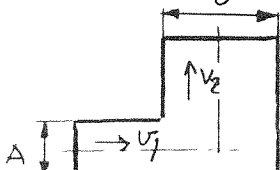
	α	(v_1) ζ
	5°	0,17
	10°	0,28
	20°	0,45
	30°	0,59
	40°	0,75

Böj i flera segment

	antal segment		
	3	4	5
	ζ	ζ	ζ
r/d			
1,0	0,5	0,4	0,35
1,5	0,4	0,35	0,3
2,0	0,4	0,3	0,25
4,0	0,35	0,35	0,3

Komponent förminskning åt höger 90° böj i expanderande kanal

	B/A	(v_2) ζ
	0,75	0,2
	0,5	0,3
	0,25	0,4
	0,0	0,5

	B/A	(v_1) ζ
	0,2	5,04
	0,4	1,42
	0,6	0,92
	0,8	0,95
	1,0	1,20

3.2.3 Sammanfattning av termisk stigkraft, friktionsmotstånd
och motståndstal.

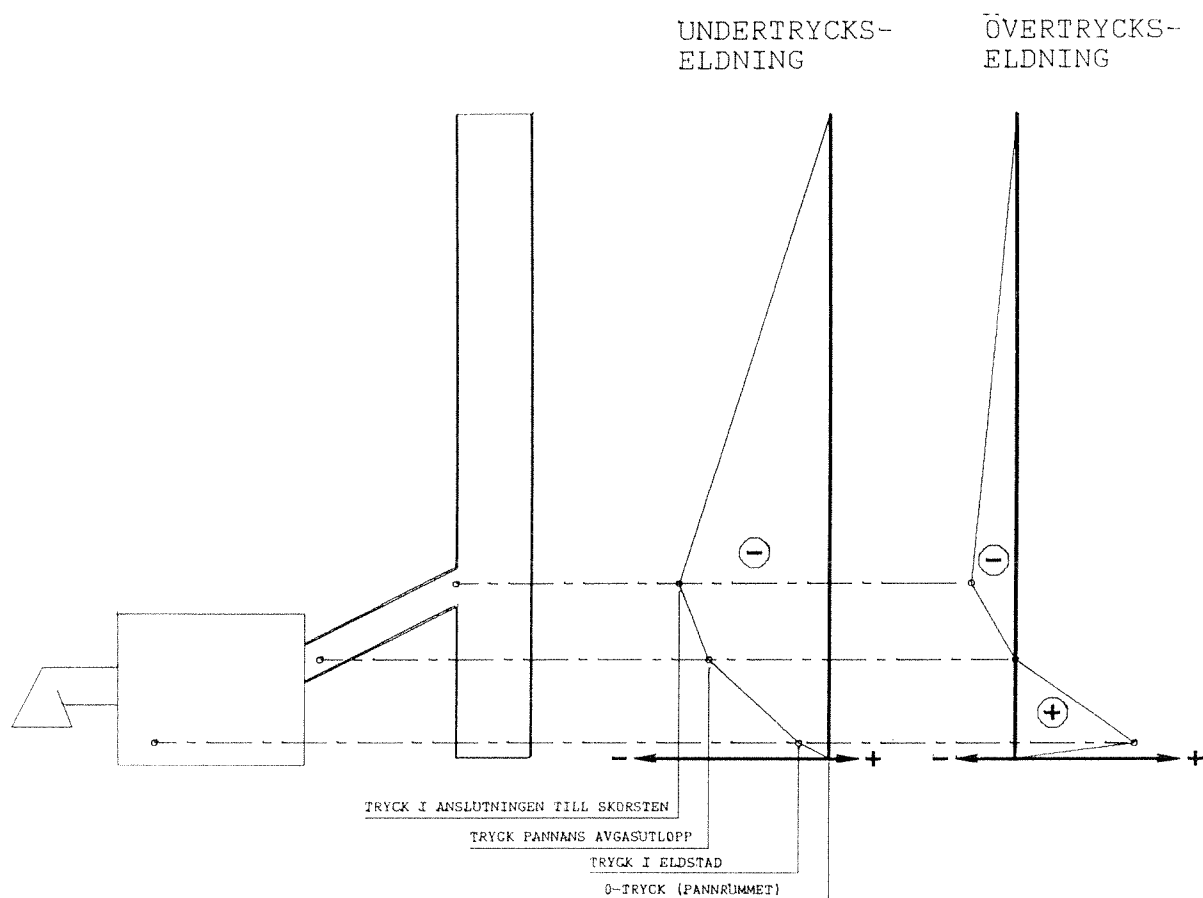


Diagram: 3C
Tryckförändringen
från panna till
skorstenstopp.

Av diagrammet framgår att vid undertryckselldning skapar avgas(rökgas)kanalen den termiska stigkraft som behövs för att övervinna friktionsmotstånd och stötförluster i panna, förbindelsekanal och avgas(rökgas)kanal. Brännarfläkten behöver inte hjälpa till att trycka ut avgaserna.

Vid övertryckselldning räcker inte den termiska stigkraften till för att övervinna det sammanlagda motståndet utan här måste brännarfläkten hjälpa till.

Ett annat alternativ att ordna undertryckselldning, trots att motstånden är för stora i panna och avgas(rökgas)kanal, är att installera en avgas(rökgas)fläkt efter pannan.

3.3 Avgasvolym med hänsyn till luftöverskott och avgastemperatur

Från avsnitt 2.2 framgår att vid stökiometrisk förbränning med fuktig luft är:

Luftbehovet (torr luft)	0,97 Nm ³ /kWh
Avgasvolymen	1,06 Nm ³ /kWh

$$Q = \text{Eff} * (273 + t(\text{avgas}) / 273) * (1,06 + (\text{luftfaktor} - 1) * 0,97)$$

Eff	= Bränsleeffekt i kW
Q	= Avgasflöde vid aktuell luftfaktor och aktuell avgastemperatur (m ³ /h)

3.3.1 Fläktbrännare

För fläktbrännare som är bra intrimmade är luftfaktorn ca 1,1 – 1,2. Vid dimensionering av avgassystem bör dock luftfaktorn 1,5 väljas för mindre anläggningar så att marginal finns för förändrade eller mindre bra trimmade anläggningar.

För stora panncentraler med viss övervakning kan man ibland använda luftfaktorn 1,3.

3.3.2 Atmosfärsbrännare

För atmosfärsbrännare är luftfaktorn ca 3,0 efter dragavbrottet. Luftutspädningen i dragavbrottet gör också att avgastemperaturen sänks väsentligt.

Exempel: beräkna avgasvolymen för en gasanläggning med

Bränsleeffekt	150 kW
Luftfaktor	3,0
Avgastemperatur	90 °C

$$Q = 150 * (273 + 90) / 273 * (1,06 + (3 - 1) * 0,97)$$

$$Q = 598 \text{ m}^3/\text{h}$$

3.4 Beräkningsprogram för datorer (Basic)

Syftet med detta program är att få fram lämplig dimension (diameter) på avgaskanalen. Metoden är att pröva sig fram med olika diametrar.

Programmet räknar ut :

- hastigheten i m/s i kanalen.
- trycket vid pannans avgasutlopp.

Använda formler är de som redovisats tidigare i detta kapitel. Programmet tar hänsyn till termisk stigkraft, friktionsmotstånd samt motstånd i böjar och skorstekskomponenter.

Gaseffekten (bränsleeffekten) anges i kW.
Skorstenshöjd och längd på förbindelsekanal i meter.
Kanalens diameter anges i mm.

Luftfaktorn är ett värde som skall matas in. Luftfaktorn bör väljas med marginal mot vad det sannolika värdet är för en intrimmad gasbrännare. För fläktgasbrännare kan normalt väljas $\lambda = 1,5$ men värdet kan sänkas till 1,2-1,3 om det är en stor och välövervakad anläggning. För pannor med atmosfärsbrännare och dragavbrott är ett lämpligt λ -värde = 3,0.

Avgastemperaturen som ska anges är medeltemperaturen i avgaskanalen. Ex om avgastemperaturen är 200°C efter pannan och 160°C i skorstenstoppen så är medeltemperaturen 180°C.

Utetemperaturen ska väljas som den varmaste utetempen då brännaren går i maxlastläget. Man ska inte välja för kall utetemp eftersom det gynnar den termiska stigkraften och det kan leda till att för liten dimension väljs på avgaskanalen.

Motståndstalen i kanalböjar räknas ut med hjälp av avsnitt 3.2.2. Som hjälp finns bild 3A där en panna med två skorstenutförande visas, ett med låga motståndstal och ett med höga motståndstal. Ofta vet man inte hur avgassystemet skall byggas och får anta vissa värden.

Två råhetstal används. Den sk släta ytan motsvarar syrafasta insatsrör. Det andra värdet gäller för övriga material.

Avgashastigheten i kanalen bör ej överstiga 25 m/s. Vid högre hastigheter finns risk för störande ljud. I mynningen på avgaskanalen bör avgashastigheten ej understiga 1 m/s för att förhindra kallras utmed kanalväggens insidor. En mera utförlig redogörelse om avgashastigheter finns i kapitel 6.

Om kanalen ändrar förutsättningar mellan pannans avgasutlopp och skorstenens topp utföres beräkningarna i etapper och resultaten av de olika etapperna läggs ihop.

Avgassystem vid naturgasförbränning
Kjell Wanselius

```
10 PRINT "SKORSTENSDIMENSIONERING"
20 CLEAR
30 INPUT "GASEFFEKT KW";F1
40 INPUT "LUFTFAKTOR";F2
50 F3=F1*(1.06+(F2-1)*0.97)
60 PRINT USING "#####";"AVGASVOLYM";F3;"NM3"
70 INPUT "AVGASTEMP";F4
80 INPUT "UTE TEMP";F5
90 INPUT "SKORSTENSHÖJD METER";F6
100 INPUT "LANGD FÖBINDELSEKANÄL";F7
110 INPUT "ÄR YTAN MYCKET SLÄT";A$
120 IF A$="J" THEN 130 ELSE 150
130 F8=0.02
140 GOTO 160
150 F8=0.04
160 INPUT "KANALDIAM MM";F9
170 INPUT "ZETA";G1
180 REM AVGASVOLYM VID AKTUELL TEMP
190 G2=F3*(273+F4)/273
200 REM AVGASHAST O GR C
210 G3=F3*4000000/(PI*3600*F9^2)
220 REM AVGASHAST VID AKTUELL TEMP
230 G4=G3*(273+F4)/273
240 REM TERMISK LYFTKRAFT
250 G5=1.293*(273/(273+F5))-273/(273+F4))*9.81*F6
260 REM STRÖMNINGSMOTSTÅND
270 G6=(G1+(F8*(F6+F7)*1000/F9))*0.5*1.28*
    *G3^2*(273+F4)/273
280 REM TRYCK VID SKORSTENSFOT
290 G7=G6-G5
300 PRINT USING "##.##";"AVGASHAST";G4;"M/SEK"
310 PRINT USING "#####";"TRYCK VID
    PANNUTLOPP";G7;"PASCAL"
320 INPUT "NY DIAM(D) ZETA(Z) GASEFF(E) AVSLUT(A)";A$
330 IF A$="D" THEN 370
340 IF A$="Z" THEN 390
350 IF A$="E" THEN 410
360 IF A$="A" THEN 430
370 INPUT "KANALDIAM MM";F9
380 GOTO 180
390 INPUT "ZETA-VÄRDE";G1
400 GOTO 180
410 INPUT "GASEFFEKT KW";F1
420 GOTO 180
430 END
```

Avgassystem vid naturgasförbränning
Kjell Wanselius

3.5 Några beräkningsexempel avgassystem

Ex 1

En pannanläggning ska byta panna och brännare.
Befintligt avgassystem har följande data:

Verksam höjd = 20 m
Innerdiameter = 250 mm
Förbindelsekanal = 3 m
Motståndstal zeta = 1,7 beräknat från 2 st 90° böjar
inkl utloppsmotstånd
Innerytan klassas som icke slät
Bränsleeffekt på den nya gasbrännaren = 300 kW
Luftfaktor λ = 1,3 (= 9,0% CO₂ eller 5,2% O₂)
Medeltemperatur i avgassystemet = 200°C
Utetemp vid maxlast -10°C

Resultat:

Avgashastighet = 4,0 (3,97 m/s)
Tryck vid pannans utlopp = -84 Pa

Ex 2

Vilken dimension ska väljas på avgas(rökgas)kanalen
om motståndet i avgassystemet högst får vara 100 Pa
(= 1,0 mbar)?

Givna data:

Max bränsleeffekt = 700 kW
Luftfaktor = 1,3
Verksam höjd = 20 m
Förbindelsekanal = 2 m
Medelavgastemp = 200 °C
Utetemp = -10 °C
Slät inneryta på kanal
Zeta värde = 1,7

Pröva dim 200 mm

Resultat:

avgashastighet = 14,5 m/s
tryck = 187 Pa

Alltså för högt motstånd, pröva en större diameter
t ex diam 300 mm.

Resultat:

avgashastighet = 6,4 m/s
tryck = -67 Pa

Denna gång blev det undertryck. Anläggningen skulle
fungera bra men kanalen blir kanske onödigt dyr.
Genom att pröva sig fram finner man den kanaldiameter
som ger önskat resultat. I detta exempel ger diam
215 mm följande resultat:

avgashastighet = 12,5 m/s
tryckl = 102 Pa

Detta är ganska nära det ursprungliga önskemålet 100
Pa. Med hänsyn till standarddimensioner på kanaler
kan det bli aktuellt med en något större diameter än
den framräknade.

4. Kondensproblem i avgassystem.

4.1 Vad består naturgasens avgaser av.

Enligt kapitel 2 består förbränningsprodukterna av koldioxid och vattenånga. Luftens kväve är en barlast som följer med in i eldstaden men deltar ej i förbränningen. Kvävet finns således kvar och utgör en del av avgaserna. Till detta kommer det luftöverskott som gasbrännaren normalt behöver för att brinna säkert och bra. Luftöverskottet är också en barlast som följer med in i eldstaden men deltar inte i förbränningsförloppet.

Kyls avgaserna, till t ex 40°C, kommer en del av vattenången i avgaserna att kondensera ut. Ju lägre temperatur ju mer vattenånga kondenseras ut. Vid riklig kondensering har kondensatvattnet PH ca 4 vilket innebär svagt surt. Surheten beror på att en del av koldioxiden i avgaserna löser sig i vattnet till kolsyra. Vid liten kondensering, t ex en fuktig yta utan avrinning, är kondensatet surare beroende på att en del av svavelet i luktämmnet bildar svavelsyra och att en del av kvävedioxiden i bildar salpetersyra och att dessa små mängder syra ackumuleras i vattendropparna. Alltså de första dropparna kondensat är de suraste dropparna. Vid riklig kondensering blir svavelsyran och salpetersyran utspädd så de inte märks.

4.2 Daggpunkten och hur den kan påverkas.

Daggpunkten (se definition avsnitt 1.3) påverkas av luftutspädningen och av atmosfärstrycket

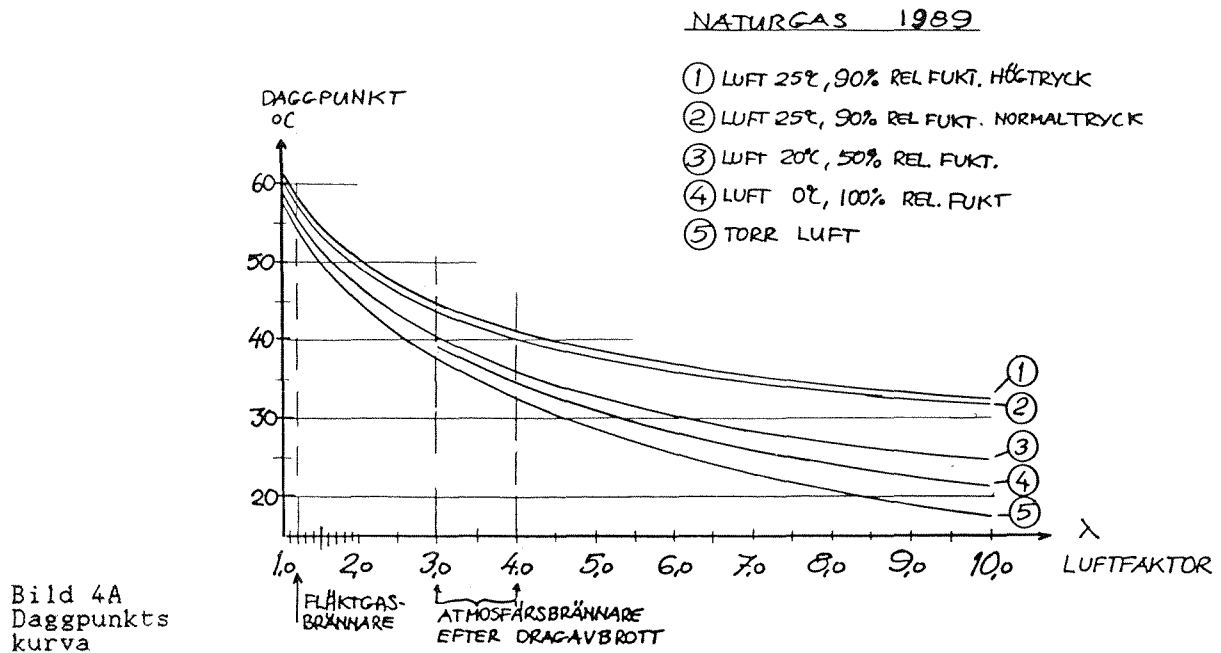


Bild 4A
Daggpunkts
kurva

Av bild 4A framgår att vattendaggpunkten är ca 58°C vid stökiometrisk förbränning. Förutom utspädning med luft påverkas daggpunkten av luftfuktigheten i förbränningsluften samt av lufttrycket (barometerståndet). Kurvorna 1 till 5 visar några olika fall. Kurva 2 kan anses representativ för vinterperioden och kurva 4 för sommarperioden.

4.3 Orsaken till att kondensproblem ofta kan uppstå vid konvertering till naturgas.

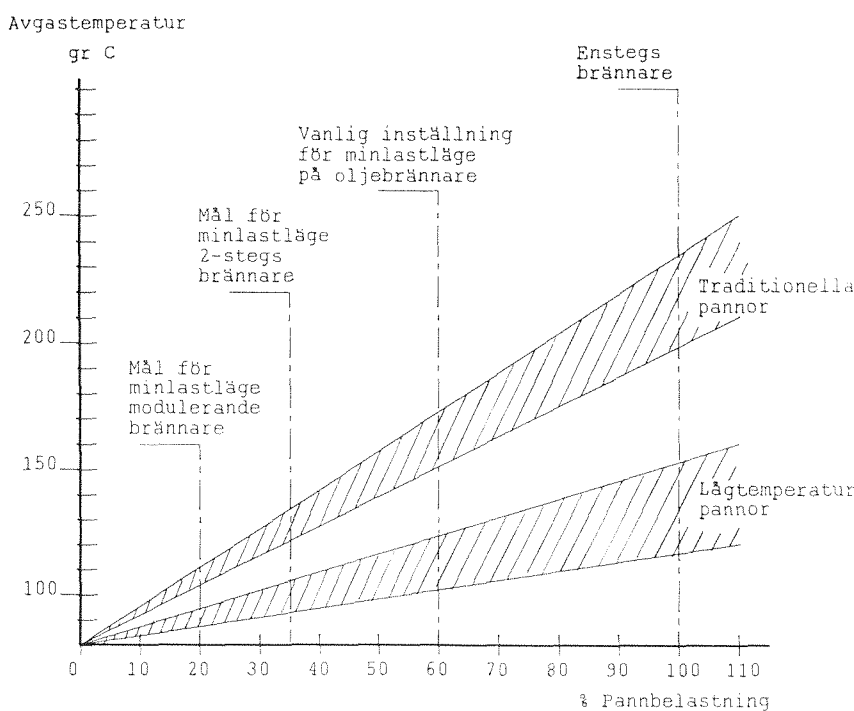
I första hand brukar misstankarna riktas den större mängden vattenånga i naturgasens avgaser. Emellertid är skillnaden i vattendagpunkt inte så stor, ca 57°C för naturgas och ca 50°C för olja.

Den verkliga orsaken till den ökade kondensrisken är två

- nya pannor görs ofta med större kylyta så att avgastemperaturen efter pannan blir lägre. Detta leder till högre verkningsgrad på gaspannorna än vad som är vanligt för oljeeldade pannor.

- gasbrännarna har normalt större reglerområden än oljebrännare dvs lägre minlast.

Bild 4B
Avgastemperatu-
rens
förändring
med
belastningen
i pannan



En oljebrännare har ofta minlasten = 60% av fulllasten. Målet för gasbrännare är att minlasten ska vara ca 20% för modulerande brännare och 35% för 2-lägesbrännare. Alla gasbrännare når inte upp till målet men betydligt större reglerområden än oljebrännarna har de flesta.

Av bild 4B framgår att avgastemperaturen sjunker vid minskad brännarbelastning i pannan. Lägre avgastemperatur leder till ökad kondensrisk i avgas(rökgas)kanalen.

Vid minskad brännarbelastning minskar avgasflödet genom avgas(rökgas)kanalen. För att lättare förstå vad som händer antar vi att man kan hålla konstant avgastemp efter en panna oavsett brännarbelastning. Avgastemperaturen kommer nu att sjunka snabbare i avgas(rökgas)kanalen vid minskad brännarbelastning. Orsaken till detta är att värmeförlusterna genom kanalens väggar är konstant men vid ett mindre avgasflöde är det en mindre volym avgaser som denna

Avgassystem vid naturgasförbränning
Kjell Wanselius

värme ska tas ifrån. På bild 4C kan detta utläsas genom att kurvorna lutar mera vid lägre laster.

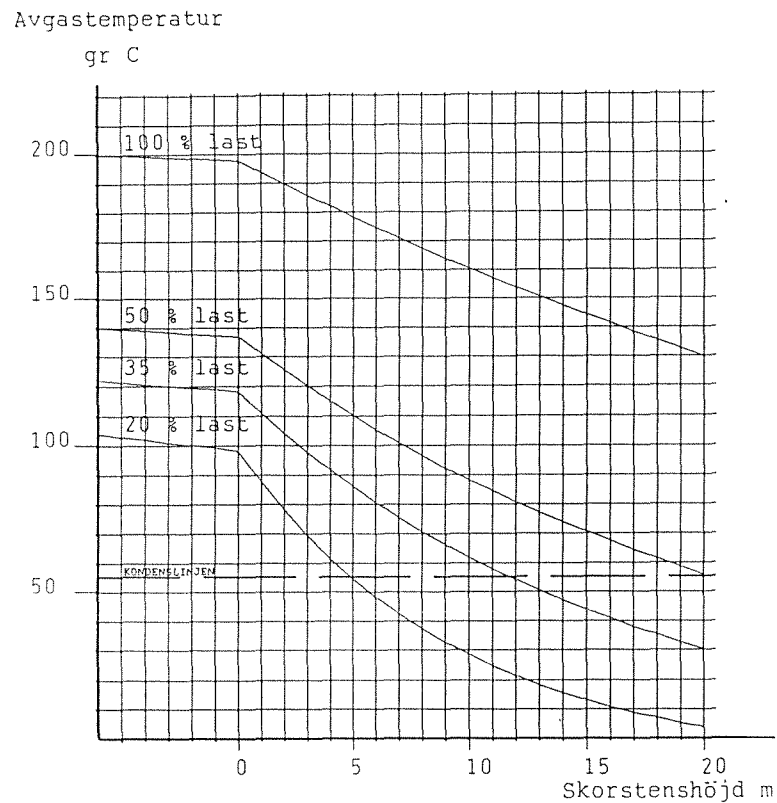


Bild 4C
Exempel på
temperatur-
sänkning i avgas-
(rökgas)kanal
vid varierande
brännarbelast-
ningar.
Tegelskorsten.

Av bild 4C framgår påverkan på avgastemperaturen vid minskad pannbelastning. I kurvan har också lagts in en linje där kondenseringen börjar (daggpunktslinje).

Sammanfattning:

att avgastemperaturen sjunker snabbare vid låga pannbelastningar har två orsaker

- 1) avgastemperaturen efter pannan blir lägre
- 2) avgasvolymen blir mindre.

4.4 Beräkning av avgastemperaturen i avgassystemet utlopp.

4.4.1 Värmeförlust i avgassystemets delar.

Värmeförlusterna genom kanalväggar kan beräknas efter följande formel:

$$W_{1k} = \frac{2 * \pi * L * \Delta t}{\frac{1}{\alpha_1 * r_1} + \frac{1}{\alpha_2 * r_2} + \frac{1}{\lambda_k} * \ln \frac{r_2}{r_1}}$$

W_{1k} = värmeförlust i watt

L = kanallängd i meter

Δt_k = temperaturdifferensen mellan avgastemperaturen och temperaturen på kanalens utsida.

α_1 = värmeövergångstalet mellan avgaser och kanalens innersida; satt till 11 W/m²,K

α_2 = värmeövergångstalet mellan luft och kanalens utsida; satt till 11 W/m²,K

r_1 = kanalens innerradie i meter

r_2 = kanalens yterradie (inkl isolering) i m

λ_k = värmeledningstalet i W/m,K

Tegel 0,6
Stenull 0,05

$\ln r_2/r_1$ = naturliga logaritmen för förhållandet mellan r_2 och r_1 .

Vid rektangulära kanaler kan approximativt följande översättning göras till cirkulärskorsten.

r_1 = invändig omkrets delat med 2π (ekviv. radie)

r_2 = utvändig omkrets delat med 2π (ekviv. radie)

Resultatet av ovanstående beräkning ger den värmeförlust (transmissionsförlust) som sker genom kanalväggen. Denna värme ska tas från de varma avgaserna. Hur mycket avgastemperaturen sjunker visar nästa avsnitt.

4.4.2 Temperatursänkning på avgaserna.

Formeln för att beräkna temperatursänkningen i avgaserna utgår från formeln nedan:

$$W_A = Q * \frac{C_p}{3,6} * \Delta t_A$$

W_A = värmeavgivning i watt

Q = avgasflödet i m^3/h

C_p = avgasernas specifika värme i $kJ/m^3, K$.
 C_p varierar med temperatur och luftinspädning. Ett medelvärde på $1,34 kJ/m^3, K$ kan i de allra flesta fall användas.

Δt_A = temperatursänkningen i K

Värmeavgivningen från avgaserna ska således balanseras mot värmeförlusterna i kanalväggarna.

Eftersom avgastemperaturen sjunker alltefter dess väg i kanalen innebär det olika förutsättningar i början och i slutet av kanalen. Därför föreslås att beräkningen sker i etapper. I dataprogrammet under avsnitt 4.4.4 har lagts in 1 meters etapper som praktiskt har visat sig fungera väl.

4.4.3 Beräkningsprogram för datorer (Basic).

Programmet räknar ut temperatursänkningen i en skorsten. Syftet är att kontrollera att inte avgastemperaturen blir så låg i skorstenstoppen att det finns risk för kondensutfällningar.

Förklaringar:

Gaseffekt i kW är den aktuella gaseffekten (=bränsleeffekten). Största risken för kondens i skorstenen är vid den lägsta gaseffekten brännaren kan inställas på.

Luftfaktor: λ (lambda). Stökiometrisk förbränning har $\lambda = 1,0$. Fläktgasbrännare har normalt $\lambda = 1,2$ vilket är samma sak som 20% luftöverskott.

Tvårsnittet på skorstenen kan vara svår att bestämma för tegelskorstenar då vägg tjocklekarna kan vara olika på olika sidor. Även temperaturen på utsidan av rökkanalen kan variera om vissa sidor gränsar mot ventilationskanaler och andra mot uteluften. Metoden är att göra en god uppskattning av vägg tjocklek och temperatur på skorstenens utsida.

Längd/höjd betyder avgaskanalens längd där avgaserna passerar. Om avgaskanalen har olika dimension och isolering måste beräkningen göras i etapper, man kan alltså inte göra en beräkning för hela skorstenen på en gång i dessa fall.

Avgassystem vid naturgasförbränning
Kjell Wanselius

Visa temperatur varje meter eller endast sluttemperaturen. Här kan man välja vilket man vill göra. Beräkningen görs 1 meter i taget. Vill man beräkna i mindre bitar t ex varje 0,1 m får man ändra i programmet $G6=2*PI*1*(G0-G1)$ till $G6=2*PI*0,1*(G0-G1)$

Kontrollberäkning.

Indata:
Gaseffekt 200 kW
Luftfaktor 1,3
 (ger avgasvolym 270 m³/h)
Långsida 300 mm
Kortsida 200 mm
Isolering Tegel
Isolertjocklek 200 mm
Avgastemp 220°C
Temp skorstens utsida 2°C
Längd+höjd 5 m

Resultat:
Avstånd Temp °C
0 m 220
1 210,0
2 200,4
3 191,3
4 182,6
5 174,2

```

10 PRINT "SKORSTENSKONDENS"
20 CLEAR
30 INPUT "GASEFFEKT I KW";F1
40 INPUT "LUFTFAKTOR I AVGAS";F2
50 F3=F1*(1.06+(F2-1)*0.97)
60 PRINT USING "#####";"AVGASVOLYM";F3;"NM3"
70 INPUT "CIRKULART SNITT(J/N)";A$
80 IF A$="J" THEN 90 ELSE 110
90 INPUT "INNERDIAMETER MM";F5
100 GOTO 170
110 INPUT "REKTANGULART SNITT(J/N)";A$
120 IF A$="J" THEN 130 ELSE 70
130 INPUT "LÅNGSIDA";F6
140 INPUT "KORTSIDA";F7
150 REM DIAM I MM
160 F5=2*(F6+F7)/PI
170 INPUT "ISOLERING TEGEL(J/N)";A$
180 IF A$="J" THEN 190 ELSE 210
190 F8=0.6
200 GOTO 280
210 INPUT "ISOLERING STENULL(J/N)";A$
220 IF A$="J" THEN 230 ELSE 250
230 F8=0.05
240 GOTO 280
250 INPUT "ISOL TEGEL+ISOKERN(J/N)";A$
260 IF A$="J" THEN 270 ELSE 170
270 F8=0.362
280 PRINT "VÄRMEGENOMGANGSTAL";F8
290 INPUT "ISOLERTJOCKLEK MM";F9
300 INPUT "AVGASTEMP GR C";G0
310 INPUT "TEMP UTSIDA GR C";G1
320 INPUT "LÅNGD+HÖJD I M";G2
330 INPUT "VISA TEMP VARJE M (J/N)";B$
340 REM VÄRMEFÖRLUST I WATT/1 M
350 REM DELRÄKNINGAR PGA ATT DATORN INTE KLARAR SÅ
    MÅNGA TECKEN
360 G6=2*PI*1*(G0-G1)
370 G7=1/(11*F5/2)+1/(11*(F5/2+F9))

```

Avgassystem vid naturgasförbränning
Kjell Wanselius

```
380 G3=G6/(G7+Ln((F5+2*F9)/F5)/F8)
390 REM TEMPERATURSÄNKNING AVGASER
400 G4=G3*3.6/(F3*1.34)
410 REM DEN NYA AVGASTEMPERATUREN
420 G0=G0-G4
430 IF B$="J" THEN 440 ELSE 450
440 PRINT USING "###.##";"AKT AVGASTEMP";G0
450 REM HUR LÅNGT MAN KOMMIT I AVGASKANÄLEN
460 G5=G5+1
470 IF G5=>G2 THEN 490 ELSE 480
480 GOTO 360
490 PRINT USING "###.##";"SLUTTEMP";G0;"GR C"
500 END
```

5. Metoder att förebygga och åtgärda kondens i avgassystem

5.1 Luftinblandning i avgaserna för att minska kondensrisken.

Genom att blanda in varm pannrumsluft i avgaserna sjunker daggpunkten på blandningen avgaser/luft. Av bild 4A framgår att vid en luftfaktor 3 på avgaserna är daggpunkten ca 40°C.

En ytterligare fördel med luftinblandningen är att avgas(rökgas)kanalen ventileras vid tidpunkter då brännaren inte brinner. Eventuell kondens får då tillfälle att torka upp.

5.1.1 Exempel på hur luftinblandning kan utföras.

Luftinblandningen kan ske genom naturligt drag eller med hjälp av en fläkt.

Pannor med atmosfärsbrännare har ett dragavbrott som ger en luftutspädning. Avgassystemet måste dock vara dimensionerat för detta. Även pannor med fläktgasbrännare kan ha dragavbrott. Ofta kan äldre överdimensionerade tegelskorstenar lämpa sig för pannor med dragavbrott.

Motdragsluckor ger även luftutspädning men ofta stänger luckan då avgas(rökgas)kanalen har blivit lite svalare då en tid har gått utan att brännaren har varit igång. Därmed sker ingen ventilation och eventuell kondens får inte tillfälle att torka upp.

Motdragsluckans egentliga syfte är att jämna ut självdraget i avgas(rökgas)kanalen så att brännaren ska ha så lika luftöverskott som möjligt vid alla betingelser. Att motdragsluckan sedan även sägs torka ut skorstenen är något man får på köpet. Men det är inte den bästa lösningen om främsta syftet är att förhindra kondens i avgas(rökgas)kanalen.

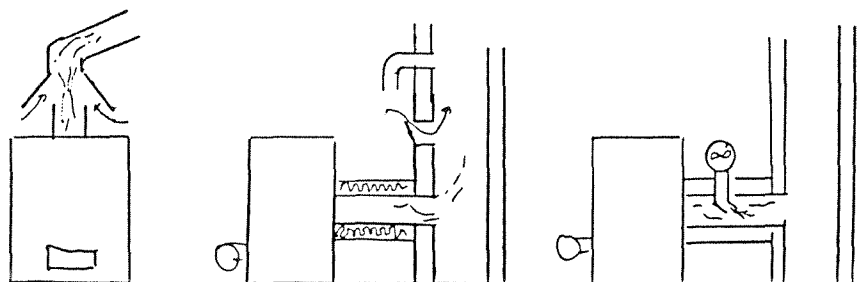


Bild 5A
Metoder
för luft-
inblandning

DRAGAVBROTT

MOTDRAGSLUCKA
O. KNÄRÖR

LUFTUTSPÄD-
NINGSLÄKT

En senare använd metod är att installera ett icke avstängbart knärör i avgas(rökgas)kanalen. För villapannor ska knärörets dimension vara 50 mm. Knäröret ger inte så stor luftinblandning som dragavbrottet vilket leder till att ventilationsförlusterna ej heller blir så höga.

Den säkraste metoden är att använda en luftutspädningsfläkt. Med en fläkt vet man hur mycket luft som tillförs avgas(rökgas)kanalen vilket leder till att det går att teoretiskt beräkna om fläkten löser kondensproblemet.

5.1.2 Varifrån skall utblandningsluften tas?

Det är viktigt att utblandningsluften är relativt varm såsom det brukar vara i panncentraler.

Om utomhusluft direkt blandas in i avgaserna utan förvärmning kan det innebära att den nya blandtemperaturen på avgaser/luft blir så låg att daggpunkten underskrids vid blandpunkten.

Det är olämpligt att ta utblandningsluften från golvet därför att det där kan vara relativt kallt. Utblandningsluften ska tas så högt upp det är praktiskt möjligt i en panncentral.

5.1.3 Vilka förluster innebär den ökade ventilationen?

Inblandning med varm pannrumsluft i avgas(rökgas)kanalen innebär en energiförlust. Förlusten består i att utomhusluft värms upp till pannrumstemperaturen för att sedan ledas ut i avgas(rökgas)kanalen.

Ett räkneexempel:

En gasbrännare har gaseffekten 100 kW. Avgastemperaturen är 140°C och luftfaktorn 1,2. För att undvika kondens i avgas(rökgas)kanalen spåds avgaserna ut två gånger avgasvolymen, dvs luftfaktorn blir 3,77 efter utspädningen.

Avgasvolym = 125 m³n

Luftutspädning = 250 m³n

Utomhustemperatur = 0 °C

Pannrumstemperatur=20 °C

Specifika värmen för luft $C_p = 1,302 \text{ kJ/m}^3 \cdot \text{K}$

$$W = 250 \cdot \frac{1,302}{3,6} \cdot (20 - 0)$$

W = 1808 Watt

Effektförlusten i relation till inmatad gaseffekt:

$$\frac{1,808}{100} = 0,018 \quad \text{dvs } 1,8 \% \text{ verkningsgradsförlust}$$

Således, luftinspädningen i detta fall ger samma förbränningsverkningsgrad som om avgastemperaturen efter gaspannan vore 175°C istället för 140°.

5.1.4 Rekommendationer.

Luftutspädning ger förluster genom den ökade ventilationen i panncentralen. Dessa ventilationsförluster kan uppskattas till 1-5% där normalfallet är 2%. För anläggningar med dragavbrott utan stängande spjäll är normalförlusten ca 5%.

För villapannor betyder 2% ca 100 kr/år vilket innebär att luftutspädning ofta är en ekonomisk lösning. Insatsrör med installation i en villa kostar ca 4000-8000 kr.

Anläggningar med överdimensionerade tegelskorstenar brukar ofta få kondensproblem. För dessa fall har det visat sig att anläggningar med dragavbrott brukar klara sig utan kondensutfällningar.

För större anläggningar (>100 kW) är det endast i undagstagsfall lönsamt att välja luftutspädning som metod att förhindra kondens i avgas(rökgas)kanalen.

5.2 Installera insatsrör

Insatsrör är den säkraste metoden att förhindra kondensskador i befintlig avgas(rökgas)kanal. Kapitel 9 behandlar insatsrör, monteringsanvisningar och materialval.

5.3 Avleda kondensatet

Kondensvattnet vid naturgaseldning är surt, PH ca 4. Sockerdricka och appelsinjuice är surare medan kaffe är mindre surt med PH ca 5.

Rostfritt stål, aluminium eller plast är lämpliga material att leda bort kondensatvatten. Koppar är mindre lämpligt.

Mängden kondensatvatten är obetydlig relativt andra avloppsflöden i ett hus. Därför blir det normalt väl utspädd innan det når stadens avloppsnät.

5.4 Kondensera ut vattenånga och sedan eftervärma avgaserna

Om mycket av vattenånga tas bort ur avgaserna i en kondensationspanna blir givetvis daggpunkten lägre. Därför åtgår det inte så mycket energi att eftervärma avgaserna till den temperatur att inte kondens inträffar längs hela avgas(rökgas)kanalen.

5.5 Ändra brännareffekten

Genom att höja effekten på brännare minskas risken för kondens i avgas(rökgas)kanalen. Förklaringen är den bakvända till att kondensrisken ökar då pannbelastningen minskas. Bild 4B visad denna effekt. Nackdelen med denna lösning är att verkningsgraden försämras.

5.6 Ändra luftinställningen på brännaren

En enkel åtgärd att minska kondensrisken är att öka luftöverskottet på gaslågan genom att öka luftspjället. Förutom att daggpunkten sjunker för avgaserna blir avgastemperaturen högre efter pannan. Båda dessa effekter minskar kondensrisken.

Nackdelen med denna lösning är att förbränningsverkningsgraden försämras. Förbränningen kan även störas vid för stora luftöverskott så att oförbrända avgaser erhålls.

Om luftöverskottet höjs från 1,2 till 1,6 försämras förbränningsverkningsgraden ca 3%-enheter. Därtill kommer ökade genomströmningsförluster dels genom att luftventilen står i ett mera öppet läge och dels genom att tiden då brännaren inte brinner ökas.

6. Avgashastigheter i avgassystem.

6.1 Högsta tillåtna avgashastighet.

Enligt Naturgasdistributionsnormen finns ingen övre gräns för avgashastigheten. Hastigheten får dock ej vara så hög att störande ljud uppkommer.

Nybyggnadsreglerna anger heller ingen gräns för högsta hastighet. I föregångaren till Nybyggnadsreglerna dvs Svensk Byggnorm fanns en rekommendation om att ej överstiga 25 m/sek.

För att undvika störande ljud är det lämpligt att ej överstiga 25 m/s i avgashastighet.

Fördelen med höga avgashastigheter är att avgas-rökgaskanalen kan göras billigare. Nackdelen är att fläktarbetet blir större. Om det är brännarfläkten som ska övervinna det högre avgasmotståndet visar det sig ofta att höga avgasmotstånd minskar brännarens reglerområde. Detta är negativt eftersom stora reglerområden är viktiga för höga årsverkningsgrader.

Ett vanligt värde på avgashastigheten för mellanstora pannor, 500-5000kW, är 10-15 m/s.

6.2 Lägsta tillåtna avgashastighet.

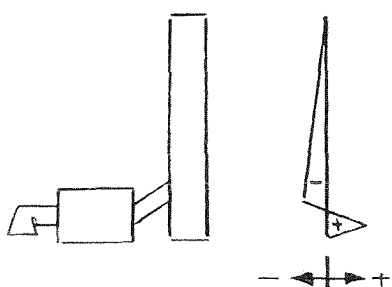
Ur föreskrift/normsynpunkt finns ingen nedre gräns för avgashastigheten i avgas(rökgas)kanaler.

6.3 Gränser för självdrag och forcerat drag.

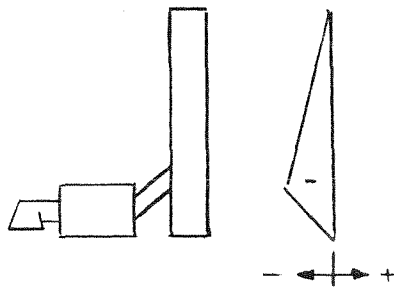
Självdraagskanal.

Självdrag innebär att den termiska stigningskraften förmår att avleda avgaserna utan hjälp av fläkt. Det kommer alltid att råda undertryck utmed hela kanalen.

Ibland ska avgas(rökgas)kanalen skapa ett sådant undertryck att även det räcker till för att övervinna avgasmotståndet i pannan. Detta kallas för undertryckseldade- eller självdragspannor.



Självdraagskanal med
övertryckseldad panna.



Självdraagskanal med
undertryckseldad panna

Om en avgas(rökgas)kanal ska klassas som självdragskanal beror på avgasflöde, kanalarea, avgastemperatur och utomhustemperatur. Med hjälp av dataprogrammet för skorstensdimensionering (avsnitt 4.4.3) kan mottrycket (eller draget) i avgas(rökgas)kanalen beräknas. Eftersom den termiska stigningskraften ökar vid kallare utomhustemperatur får inte för låg utomhustemperatur väljas som dimensionerande.

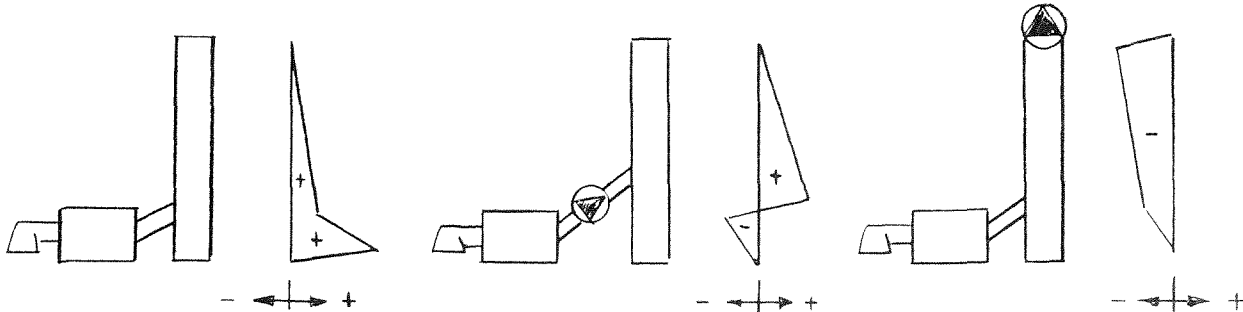
För de flesta avgas(rökgas)kanaler är den dimensionerande utomhustemperaturen ca 0°C. Om kallare utomhustemperaturer väljs måste man känna väl till de aktuella driftförhållandena. Om brännaren kan gå in i fullastläget en varm sommardag så ska denna utomhustemperatur väljas som indata vid beräkningen därför att det då råder de sämsta dragförhållandena.

Som vägledning kan anges att för mindre anläggningar är det normalt självdrag vid avgashastigheter under 3 m/s. För större anläggningar, med exempelvis 30 m höga skorstenar, är det fortfarande självdrag vid avgashastigheten 5 m/s.

Tegelskorstenar måste utföras som självdragskanaler efterom tätheten inte kan garanteras.

Forcerat drag.

Forcerat drag innebär att avgaserna leds genom avgassystemet med hjälp av fläkt. Avgashastigheten är högre än det som ett självdragssystem har. Ofta är det övertyck i kanaler med forcerat drag.

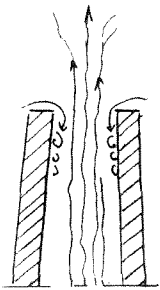


Brännarfläkten
skapar nödvändigt
tryck.

Rökgasfläkt
efter pannan

Rökgasfläkt
på skorstens-
toppen

6.4 Minhastighet i avgassystemtopp för att förhindra kallras i ytterkanterna.



Vid mycket låga avgashastigheter kan kallras inträffa i skorstenstoppen. Detta innebär att de varma avgaserna går upp i mitten av kanalen medan friskluft "rinner" ner utmed insidan på kanalens kanter.

Sker kallras i kanalens kanter kan det i gränzonen mot avgaserna bildas kondens som avsätter sig på kanalväggen. Om materialet i avgas(rökgas)kanalen inte tål kondens kan skador uppstå.

Vid låga avgashastigheter
kan friskluft komma
in vid kanterna.

För att undvika kallrasfenomenet skall avgashastigheten i kanalens mynning ej understiga 1 m/sek. För mindre anläggningar, typ villor, räcker det med 0,5 m/sek.

Befintliga skorstenar som har för stor mynningsarea brukar förses med en strypning i toppen i form av en kona eller en plåt med hål i. Ur strömningssynpunkt är det bättre med en kona. Se avsnitt 3.2.2 och bild 3B beträffande motståndstal.

Där tvåläges eller modulerande brännare används ska givetvis hastigheten beräknas vid minlastinställningen.

Där flera pannor är anslutna till samma kanal ska den minsta effekten som kan förekomma vara utgångspunkten för beräkningen.

Ibland kan det vara svårt att komma upp till minhastigheten 1 m/s utan att det blir problem vid maxeffekten. En lösning är då att inte trimma brännaren under en viss mineffekt. Tyvärr ger denna lösning en lägre årsverkningsgrad på anläggningen.

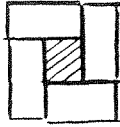
7. Befintliga rökgassystem,

7.0 Allmänt

Vid en konvertering till naturgas är det viktigt att veta hur den befintliga rökkanalen i skorstenen är konstruerad. Detta för att:

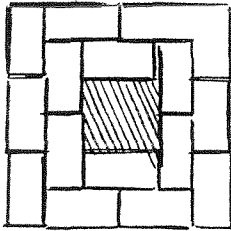
- beräkna kondensrisken
- räkna ut tryckfall och avgashastigheter med hänsyn till den nya utrustningen

7.1 Några tvärsnitt på rökkanaler och skorstenar

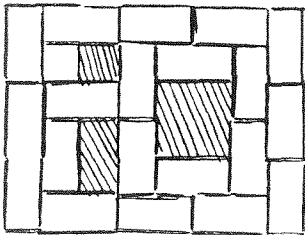


Enstens tegelskorsten.
Tegelstenarnas mått är vanligen 240×120 .
Dessa rökkanaler har mycket dåliga värmeisoleringsegenskaper och kondensrisken är mycket stor. Tvärsnittsmåttet är ofta "halvstens" = 120×120 .

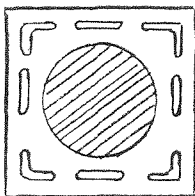
En 120 mm tegelvägg har samma isoleringsförmåga som 10 mm stenull.
Beträffande värmegenomgångstal se avsnitt 4.4.1.



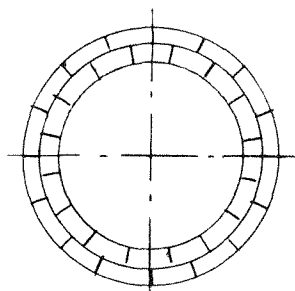
Tvåstens tegelskorsten.
Tvärsnittsmåttet är i detta exempel "helstens" = 240×240



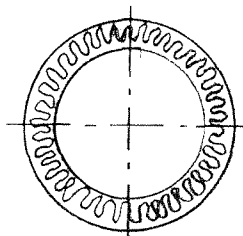
Tegelskorsten med flera kanaler.
Ofta innehåller tegelskorstenen både rökkanal och ventilationskanaler.



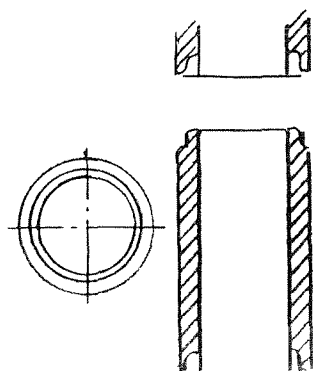
Blockskorsten.
Rökkanalen byggs upp av färdiga block som gjutes ihop ovanpå varandra. Ofta innehåller blocken även ventilationskanaler. Isoleregenskaperna är ofta bättre relativt tegelskorstenar dels beroende på materialet och dels genom att det ofta finns håligheter i blocken.



Fristående industriskorsten av tegel.
Dessa är byggda av specialformat tegel. Mer
om dessa skorstenar i avsnitt 7.2.



Stålskorsten.
Ett vanligt utförande är att röckkanalen är
isolerad med 80mm stenull. Dessa röckkanaler
har goda isoleregenskaper. 80 mm stenull
motsvarar ca 1000 mm tegel i
isolerhänseende.



Modulskorsten i syrafast stål.
Dessa levereras i ca 1m delar som sedan
monteras ihop på plats. Röckkanalens insida
är av syrafast stål och utsida av rostfritt
stål. Ett vanligt utförande är med en
isolering på 25mm. Isoleregenskaperna är
inte så goda.

7.2 Fristående industriskorstenar av tegel.

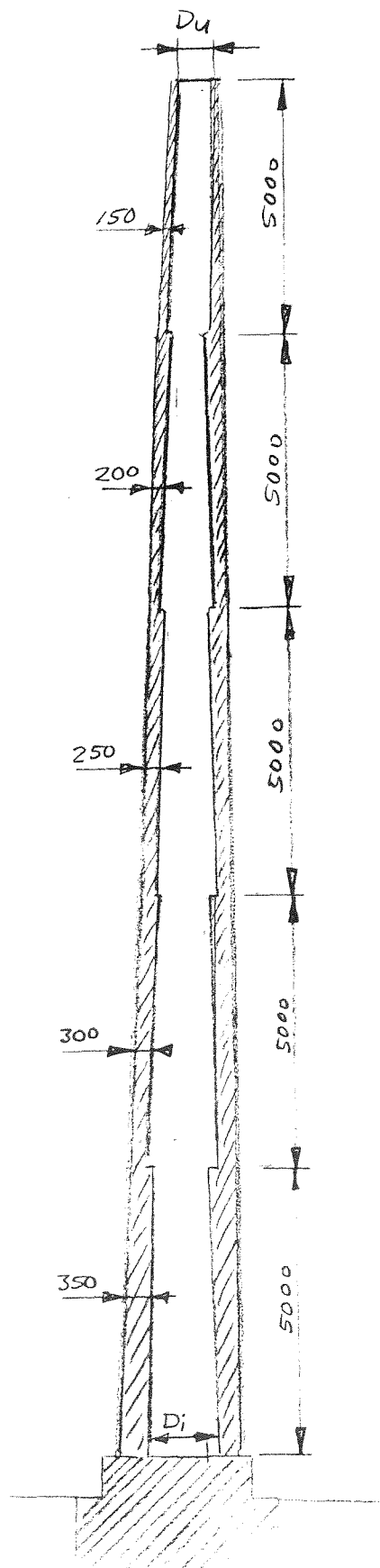


Bild 7.A
Tvärsnitt på
fristående
tegelskorsten

Hos framförallt lite äldre industrier kan man ofta se höga runda tegelskorstenar. Dessa tegelskorstenar har ofta en alltför stor tvärsnittsarea mot vad som skulle vara lämpligt för gasledning. Det finns risk för att kondens kan inträffa. Orsaken till överdimensioneringen kan vara två:

1. Skorstenen byggdes från början för fastbränsleledning. Fastbränsleledning kräver en större tvärsnittsarea relativt olja o gas vid samma effekt.
2. Energi- och effektbehovet har ofta minskat med tiden hos industrin genom förändrade tillverkningsprocesser.

Skorstenens konstruktion är sådan att den avsmalnar mot toppen (bild 7.A). Bilden visar att skorstenen byggs i terasser. De angivna måtten kan användas som vägledning.

Nedanstående tabell visar skillnaden mellan inndiameter i botten och i toppen av tegelskorstenen.

Höjd m	$D_i - D_u$ m	Medelvägg- tjocklek mm
15	0,225	200
20	0,275	230
25	0,320	250
30	0,360	280
35	0,580	300
40	0,660	330
45	0,950	350
50	1,040	380
60	1,240	430

Exempel:

Antag att det du kan få veta om en befintlig rund tegelskorsten är följande.

Höjd 30 m
Rotdiameter 2,0 m
Vägg tjocklek i botten 400 mm

Innerdiameter i botten
 $D_i = 2000 - 2 \cdot 400 = 1200 \text{ mm}$

Innerdiameter i toppen. Ur tabellen ovan framgår att skillnaden $D_i - D_u$ ska vara 0,360m. Således
 $D_u = 1200 - 360 = 840 \text{ mm}$

Ur tabellen får man även fram att medelvägg tjockleken är 280mm.

7.3 Sotarintyg

Enligt brandmyndigheten (Räddningstjänsten) åligger det ortens skorstensfejarmästare att ha kontroll på avgas(rökgas)kanaler. Kontrollen avser brandsäkerhet och täthetskontroll. Detta gäller ej vid eldning med naturgas.

Vid konvertering t ex från olja till naturgas bör skorstensfejarmästaren besiktiga skorstenens kanal. Besiktningen består av ett täthetsprov samt en okulärbesiktning av brandsäkerhet i pannrum och rökkanal. Detta görs normalt innan konverteringen påbörjas. Resultatet av besiktningen redovisas i form av ett sotarintyg.

SOTARINTYG
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
XXXXXXXXXXXX
~~~~~
iiiiiiiiiiiiiiiiiii
XXXXXXXXXXXX

Eldning med naturgas får normalt ej starta förrän ett godkänt sotarintyg har inlämnats till gasdistributören.

Sotarintyget gäller endast kontrollen av avgassystemet ur brandteknisk synpunkt. Eventuell risk för kondens kan inte avgöras enbart genom att känna till data på avgas-rökgaskanalen. Det krävs att även data på panna och brännare är kända för att kondensrisken ska kunna fastställas.

Ansvar för systemanpassningen, brännare-panna-kanal, så att ej kondens inträffar, vilar på installatören.

Skorstensfejarna bör kontrollera att installatören har gjort installationen av avgas(rökgas)kanal på riktigt sätt.

En gasanläggning behöver ej sotas vid normal drift. En felställd gasbrännare kan dock ge sotbildning varför det ska finnas möjlighet att sota kanalerna vid behov.

Eftersom sotning/inspektion sker med långa intervaller är det ej nödvändigt med plattform i skorstentoppen. Enligt överenskommelse med riksförbundet för skorstensfejarysändet kan en skylift inhyras vid dessa tillfällen. Inspektion av kanalen kan ofta ske tillfredställande från sotluckor vilket innebär att det inte alltid är nödvändigt att komma till skorstenstoppen.

8. Nybyggnad av avgassystem, material och utförande.

8.1 Från Nybyggnadsreglerna (BFS 1989:18).

8.1.1 Nybyggnadsregler avsnitt 3:446 "Material"

§ "En rökkanals väggar skall vara utförd av  
§ obrännbart material som har erforderlig  
§ hållfasthet mot inverkan av belastningar,  
§ temperaturvariationer, klimatfaktorer,  
§ korrosiva rökgaser samt mot slag och nötning  
§ av sotningsredskap od.

§  
§ Vid värmeisolering av en rökkanal skall  
§ isoleringen utföras med ett obrännbart  
§ material som kan motstå soteld. En sådan  
§ isolering skall förses med en tät skyddande  
§ kringklädnad av obrännbart material, om  
§ rökkanalen inte är innesluten i ett schakt"

8.1.2 Nybyggnadsregler avsnitt 3:447 "Rensning och inspektion".

§ "Eldstad och rökkanal skall kunna sotas med  
§ gängse sotningsredskap. Om så fordras för  
§ rensningen, skall tättslutande,  
§ värmeisolerande rensluckor anbringas på  
§ lämpliga ställen i rökkanalen."

§  
§ "Rensluckor får inte finnas inom utrymmen där  
§ människor stadigvarande vistas, med undantag  
§ av sådana utrymmen där en till rökkanalen  
§ ansluten eldstad är uppställd. Rensluckor får  
§ inte heller finnas i garage."

§  
§ "Utsidan av en kanalvägg, som inte utgör  
§ skiljevägg mellan kanaler, skall i hela sin  
§ utsträckning vara åtkomlig för inspektion,  
§ när täthetsprovning utförs som  
§ röktrycksprovning."

Godtagbart utförande enligt Nybyggnadsreglerna 3:447

"Rensluckor bör vara utförda av ett  
material med hög smältpunkt, t ex gjutjärn."

"Rensluckor bör placeras dels vid sådana  
brytpunkter på en rökkanal där  
riktningsändringen överstiger 45°, dels med  
högst 3 m mellanrum på sådana kanaldelar  
som avviker mer än 40° från lodlinjen."

8.1.3 Nybyggnadsregler avsnitt 4:448 "Schakt"

§ "Rökkanaler av stål eller gjutjärn skall  
§ omges med schakt. Detta gäller dock inte för  
§ oisolerade kanaler i industri- eller  
§ hantverkslokaler."

§  
§ "Schaktet skall anordnas så att rökgaser inte  
§ sprids till angränsande utrymmen. Det skall  
§ vara avskilt med en konstruktion av obränn-  
§ bartmaterial från det utrymme i vilket eld-  
§ staden ställs upp."

8.1.4 Nybyggnadsreglerna kapitel 3:45 "Avgaskanaler".

§ "En eldstad för gas skall anslutas till en  
§ separat avgaskanal. En gasapparat behöver  
§ dock inte anslutas till en avgaskanal, om den  
§ tillförda värmeeffekten inte överstiger 12 kW  
§ och gasapparaten installeras i ett utrymme  
§ med större volym än 7m³, såvida inte  
§ apparaten är försedd med en anordning för  
§ sådan anslutning. En hushållsspis för gas  
§ behöver inte anslutas till avgaskanal."

§ "En eldstad för gas får inte anslutas till en  
§ rökkanal eller en avgaskanal från någon annan  
§ eldstad på ett sådant sätt att de båda  
§ eldstäderna kan vara i drift samtidigt, och  
§ inte heller i de fall olägenheter på grund  
§ av kondens, minskad dragverkan mm kan befaras  
§ uppkomma. En gasapparat, försedd med  
§ tändsäkring¹⁾, får dock anslutas, under  
§ förutsättning att olägenheter på grund av  
§ minskad dragverkan eller olägenheter i  
§ samband med sotnig inte uppkommer."

Kommentar: numera får således två pannor  
inte ha gemensam avgas(rökgas)kanal. Detta  
gäller ej vid konverteringar.

§ "En eller flera gasapparater får anslutas till  
§ en separat frånluftskanal från det utrymme  
§ där de ställs upp, under förutsättning att  
§ kanalen är utförd enligt bestämmelserna för  
§ avgaskanaler och att anslutningen sker efter  
§ frånluftsdonet."

§ "Beträffande en avgaskanals höjd gäller  
§ reglerna i avsnitt 3:441."

§ "En avgaskanal med förbindelsekanal till  
§ eldstaden skall anordnas så att avgaser inte  
§ kan tränga igenom i en sådan mängd att  
§ brandfara, risk för förgiftning eller annan  
§ sanitär olägenhet uppkommer. Beträffande  
§ brandskydd i övrigt gäller reglerna i avsnitt  
§ 3:444."

§ "En avgaskanal av murverk eller ett schakt av  
§ murverk eller betong skall placeras på ett  
§ underlag med erforderlig bärförmåga och vara  
§ utfört i brandteknisk klass A60."

§ "I en byggnad med högst två våningsplan får  
§ en avgaskanal placeras direkt på eldstaden,  
§ om denna har erforderlig bärförmåga."

§ "Beträffande materialet till en avgaskanal  
§ gäller reglerna i avsnitt 3:446."

§ "En avgaskanal skall utföras på sådant sätt  
§ att rensning av kanalen möjliggörs."

¹⁾ Nuvarande nomenklatur anger flamvakt.



## Avgassystem för naturgasförbränning

Kjell Wanselius

§  
§ "Utsidan av en kanalvägg som inte utgör  
§ skiljevägg mellan olika kanaler skall i hela  
§ sin utsträckning var åtkomlig för inspektion  
§ när täthetsprovning utförs som röktrycks-  
§ provning."

Rekommendation: En avgaskanal bör anordnas  
så att kanalväggen vid temperaturändringar  
kan ändra längd utan att själv skadas eller  
skada angränsande byggnadsdelar.

§ "Avgaskanaler från eldstäder som vid drift  
§ med högsta effekt ger högre avgastemperatur  
§ än 250°C skall omges med ett schakt."

§  
§ "Schaktet skall anordnas så att rökgaser inte  
§ sprids till angränsande utrymmen. Det skall  
§ vara avskilt med en konstruktion av obännbart  
§ material från det utrymme i vilket eldstaden  
§ ställs upp."

### 8.2 Stål och cortenskorstenar.

Stål och corten kan användas där risk för kondens ej  
föreligger. Cortenstål klarar regnvatten utan  
korrosionsproblem men ej kondens från naturgas.

Nya fristående skorstenar utförs ofta av en bärande  
yttermantel av stål och med kanalpipor av stål eller  
rostfritt/syrafast stål.

### 8.3 Syrafast/rostfritt stål

Om man ska kunna utnyttja naturgasens fördelar ska  
avgastemperaturen sänkas till så låg temperatur som  
möjligt. Vid minlast på gasbrännaren kan det då vara  
risk för kondens. Har då rostfri insida valts från  
början kan man tillåta kondensutfällningar. Om endast  
gas ska eldas räcker det med SIS 2333. Om olja ska  
användas vid enstaka tillfällen bör syrafast plåt  
användas SIS 2343.

### 8.4 Aluminium

Aluminium kan användas på den avgasberörda ytan vid  
temperaturer under 300°C. Även den kondens som bildas  
från naturgas klarar aluminium.

### 8.5 Plast

Tillsammans med kondensationspannor där  
avgastemperaturen ej överstiger 100°C kan plaströr  
användas som innevägg i en avgaskanal.

Ur brandteknisk synvinkel måste plaströret omgärdas  
med brandhårdigt material.

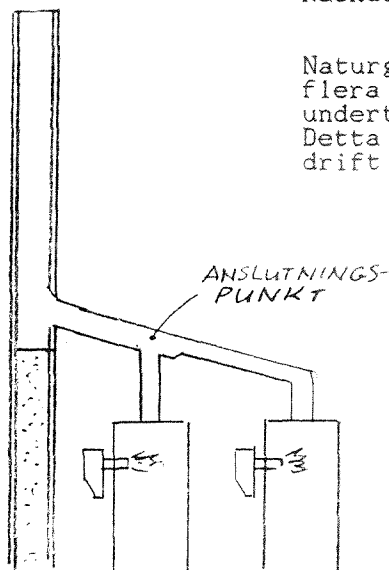
Plaströr konkurrerar med tunnväggiga rör av rostfri-  
och syrafast plåt. Ur föreskriftsynpunkt finns det  
inget hinder att förse en godkänd tegelskorsten med  
plaststrumpa (relining). För närvarande (1989)  
används ej plast i avgassystem.

9. Att välja gemensam kanal eller separata kanaler för flera pannor.

9.1 Fastighets- och industripannor

Fördelen med gemensam kanal kan vara att det är en billigare lösning än att bygga separata kanaler. Nackdelen är att kondens lätt kan uppstå.

Naturgasdistributionsnormen har som krav för att flera pannor ska få anslutas till gemensam kanal att undertryck alltid måste råda vid anslutningspunkten. Detta för att förhindra att avgaser från en panna i drift letar sig in i en avstängd panna.



Temperaturen i anslutningspunkten får inte överstiga 400°C enligt Naturgasdistributionsnormen. Orsaken är att eventuell utläckande gas inte ska kunna antändas av varma avgaser.

Tidigare då undertryckseldade pannor var den vanligaste formen hade avgas-rökgaskanalen även uppgiften att skapa erforderligt drag för eldningen i pannorna. Vid undertryckseldning är nackdelarna inte så stora om flera pannor kopplas ihop till en gemensam kanal. Tryck- eller dragvariationerna blir inte så stora om en eller flera brännare är i drift.

Två pannor anslutna  
till gemensam  
avgas-rökgaskanal

Om den gemensamma kanalen är dimensionerad för forcerat drag kommer motståndet att variera i avgas-rökgaskanalen relativt mycket vid de olika brännarbelastningarna. Detta leder till att förbränningen kan störas. Forcerat drag med undertryck i anslutningspunkten kan ordnas om en gemensam rökgasfläkt används. Detta är ingen vanlig lösning men den är ändå möjlig att använda.

Där gemensam kanal används för flera pannor kan det bli stor skillnad mellan maxlast på alla brännarna och minlasten på minsta brännaren. Alltså samma driftfall som beskrivs i avsnitt 4.3 om brännare med stora reglerområden. Det kan således vara stor risk för kondens i sådana fall.

Tidigare då självdragspannor dominerade var pannor och kanaler ofta otäta vilket ledde till att avgaserna spädades ut med pannrumsluft och daggpunkten sänktes. Därför uppstod ej kondens i dessa fall.

Rekommendation:

I de flesta fall är separata kanaler till varje panna att föredra. Nybyggnadsreglerna tillåter inte gemensamma kanaler enligt citat nedan.

§ "En rökkanal får inte anslutas till  
§ fler än en eldstad. En eldstad för gas får  
§ dock anslutas till en rökkanal för fast eller  
§ flytande bränsle om kraven på avgaskanaler i  
§ avsnitt 3:45 är uppfyllda."

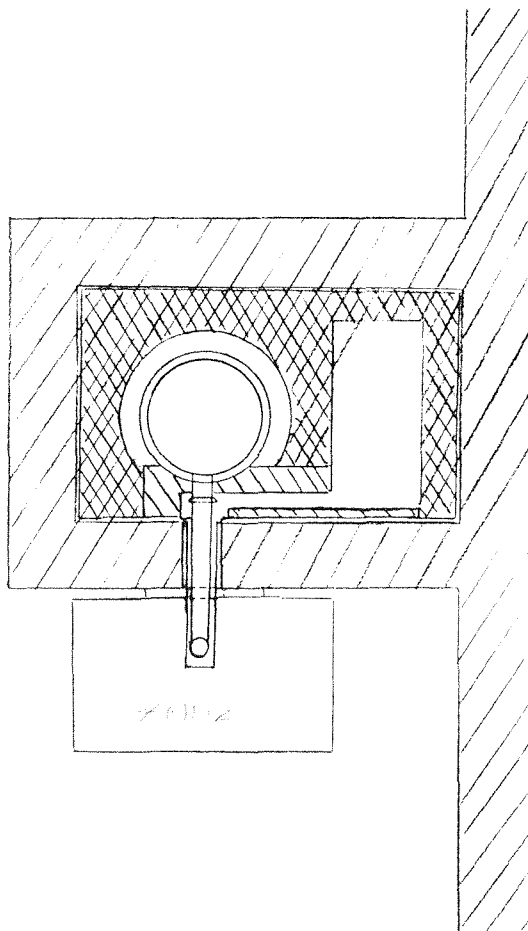
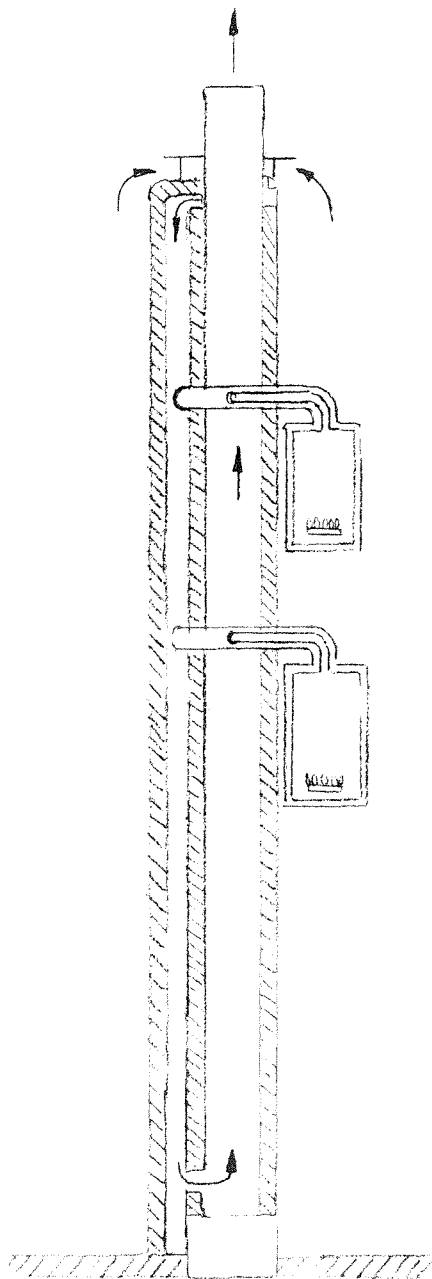
## 9.2 Lägenhetspannor (exempel från utlandet)

I Sverige är inte lägenhetspannor vanliga. De som finns sitter i lägenheter som har moderniserats med hjälp av stadsgaspannor. Dessa lägenheter värmdes tidigare med kakelugnar och vedköksspisar. De befintliga rökkanalerna som fanns i dessa lägenheter kunde alltså utnyttjas för gaspannorna.

I utlandet är lägenhetspannor vanliga även i nybyggda hus. Lägenhetsinnehavaren betalar då själv sin värme och varmvattenförbrukning. Vi har inte denna tradition i Sverige.

Lägenhetspannorna kan kopplas på olika sätt till avgas-rökgaskanalerna. Det förekommer separata kanaler till varje panna, gemensam kanal och även en variant där friskluften tas in i en gemensam kanal och avgaserna leds ut till en gemensam kanal.

Det som visas här är ej en rekommendation utan är till för att informera om en möjlig lösning.



Lägenhetspannor med  
gemensam kanal för  
förbränningsluft och  
gemensam avgas-rökgaskanal

## 10. Insatsrör i befintligt avgas-rökgaskanal.

### 10.0 Allmänt

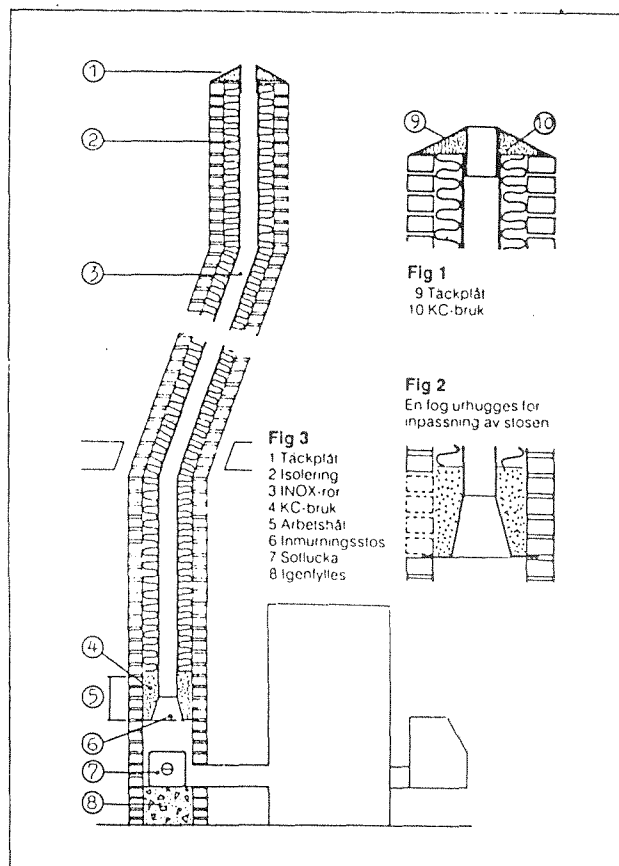
Risken för kondens vid konvertering till gas är stor framför allt där tegelskorstenar används. Orsaken till den ökade kondensrisken är en följd av önskan att uppnå höga årsverkningsgrader i värmeanläggningen. Mer om bakgrunden finns i kap 4.

### 10.1 Enbart för att förhindra kondens.

Även om en avgas(rökgas)kanal är godkänd av skorstensfejarmästaren ur brandsynpunkt kan det uppstå kondensproblem då ny panna/brännare kopplas in.

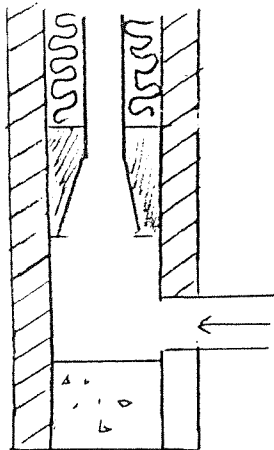
Ett insatsrör som enbart är till för att ta hand om eller förhindra kondens behöver inte uppfylla kraven för avgas(rökgas)kanals utförande. Detta innebär att tunnare material kan användas vilket kan förbilliga installationen. Orsaken till det lägre kravet på insatsröret är att täthet och brandsäkerhet säkerställs av den befintliga kanalen.

### 10.2 För att laga en otät avgas-rökgaskanal.

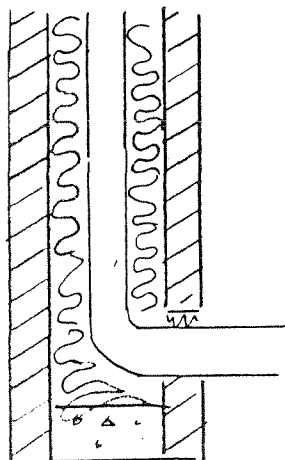


Ett insatsrör som är avsett att reparera en kanal ska utföras enligt de allmänna bestämmelserna för avgas-rökgaskanals utförande.

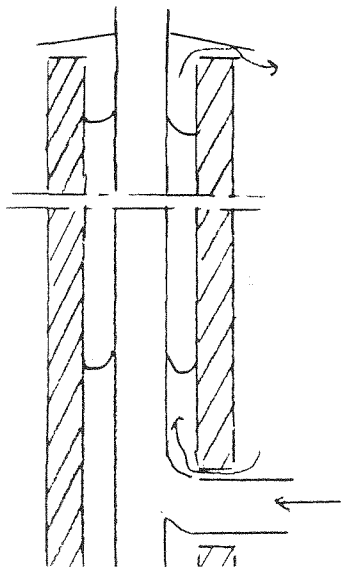
Vissa fabrikat av böjliga slangar som är avsedda för reparation av avgas-rökgaskanaler har testats och fått typgodkännande av Statens Provningsanstalt.



Om avsikten enbart är att reparera en kanal då kan utförandet göras på traditionellt sätt dvs att insatsrörets nedre del slutar i en krage sk inmurningsstos.



Om avsikten är att insatsröret ska förhindra kondens. Då bör insatsröret dras ut till förbindelsekanalen för att förhindra att en köldficka bildas.



Om insatsröret är avsett att ta hand om kondens ska utförandet ordnas så att inga fickor bildas där kondensatet kan bli stående. Bildat kondensat ska kunna avledas på ett kontrollerat sätt.

Vid övertryckseldning måste ett vattenlås anordnas så att ej avgaserna kommer ut i pannrummet.

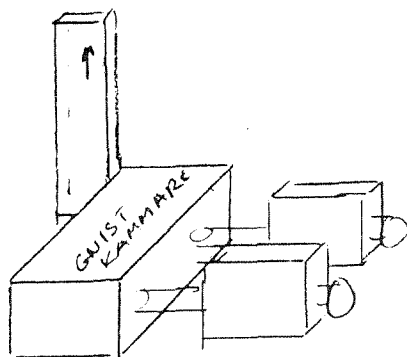
Utrymmet mellan insatsrör och gamla kanalen behöver ej isoleras men då måste röret ha distansbitar som håller det på plats. Det är lämpligt att utrymmet mellan kanalväggarna ventileras.

11. Gamla gnisterkammare.

Gnistkammare är en uppsamlingskanal för avgaser och rökgaser från flera pannor. De har normalt större tvärsnittsarea än den vertikala röckanalen i skorstenen. Gnistkammare är en förbindelsekanal.

De befintliga gnistkammrarna är, som ovan sagts, ofta mycket stora. De är normalt gjorda av tegel. Verkligheten visar att avgaserna kyls kraftigt i dessa gnisterkammare och medverkar därför till att kondensproblem kan uppstå senare i avgas-rökgaskanalen.

Vid gaseldning har gnistkammaren ingen funktion. Vid en konvertering är det lämpligt att ta bort gnistkammaren och ersätta denna med välisolerade stålrör. Om gnistkammaren är stor kan ibland de nya rören installeras innuti gnistkammaren.



## 12. Avgassystemhöjder.

### 12.1 Bakgrund.

I detta kapitel visas på vilken plats, vilket ofta anges som höjd, utsläpp av avgaser kan ske utan att orsaka hälsostörningar. Nödvändig höjd för att erhålla självdrag för eldningsanläggningen behandlas i kap 3.

Grunden för det hela är tillåtna gränsvärden i utomhusluften för olika föroreningar. Vid naturgaseldning är den dimensionerande föroreningen kväveoxid. Andra bränslen har förutom kväveoxider även andra föroreningar att ta hänsyn till som svaveloxider, stoft och kolväteföreningar.

En enskild källa får inte ta i anspråk hela föroreningsutrymmet. Man måste ta hänsyn till andra källor i omgivningen. Det en enskild källa får bidra med kallas för markkoncentrationsbidraget eller föroreningsbidraget.

Statens Naturvårdsverk har föreslagit värden för godtagbara halter av kväveoxid i utomhusluft. (se referenslista).

Naturvårdsverket anger att dessa värden för godtagbara halter bör uppfyllas där människor normalt vistas. Värdena bör således i detta fall uppfyllas på egna och angränsande villatomter, balkonger, uteplatser och angränsande gator och vägar.

Kväveoxiderna vid naturgasförbränning kommer från luftens kväve och ej från naturgasen. Kväveoxidbildningen kan påverkas genom brännarutformning etc. Det är därför önskvärt att beräkningen av avgassystemhöjden får påverkas av mängden föroreningsutsläpp. På så sätt ges ekonomisk stimulans för miljövänliga lösningar utan att närmiljön försämrats. Både den regionala och globala miljön förbättras genom en sådan åtgärd.

I följande avsnitt 12.2 redovisas en del uppgifter om kväveoxider.

## 12.2 Kväveoxider.

### 12.2.1 De viktigaste kväveoxidföreningarna.

I dagligt tal benäms kväveoxider för NO_x. x-et står för en okänd variabel därför att olika kväveföreningar bildas. Tabellen nedan visar de viktigaste kväveföreningarna vid naturgaseldning.

Oxid	Mol- vikt	Färg, lukt	Hygien. gränsvärden (ppm) vid exponering under tiden	
			8tim	24 tim
Kvävemono oxid- NO	30	Färglös Luktlös	-	-
Kvävedioxid NO ₂	46	Brun stickande lukt	5	0,5
Dikväve oxid N ₂ O	44	Färglös Luktlös	-	-

Vid naturgaseldning bildas ca 90-95% NO och 5-10% NO₂ i värmepannan. I atmosfären oxideras sedan NO till NO₂. Solen bryter ner en viss del till NO igen.

Om man betraktar en panncentrals skorstenstopp så dröjer det flera kilometer innan det mesta av NO har blivit NO₂.

### 12.2.2 Hur bildas NO_x, tre huvudgrupper.

- 1) Kemisk NO_x
- 2) Termisk NO_x
- 3) Prompt NO_x

#### Kemisk NO_x

bildas från det i bränslet bundna kvävet. Kemiskt bundet kväve finns i kol och olja men inte i naturgas.

#### Termisk NO_x

bildas av att luften kväve och syre förenar sig vid höga temperaturer. Detta är den helt dominerande kväveoxidbildningen vid naturgaseldning. Termisk NO_x ökas av följande faktorer:

- ökande temperatur
- längre tid som molekylerna befinner sig i den heta zonen
- ökad syrehalt i flamman dvs ökande luftöverskott



### Prompt NOx

Prompt NOx bildas vid bränslerika blandningar vilket man kan räkna alltid uppstår någon gång under förbränningsfasen.

Prompt NOx bildas genom att kolväten reagerar med kvävemolekyler och ger upphov till kväveföreningar. Dessa i sin tur reagerar med luftsyret och ger upphov till NO.

## 12.2.3 Metoder att minska kväveoxidutsläppen.

### 1) Rena förbränningsgaserna.

Katalysator efter pannan ungefär som katalysatorn till bilmotorn. Problemet är att avgastemperaturen efter en normal värmepanna är för låg för att katalysatorn ska fungera.

Spruta in något i avgaserna som förenar sig med kväveoxiderna t ex ammoniak.

### 2) Sänka flamtemperaturen.

Blanda in avgaser i förbränningszonen.

Tvästegsförbränning där en del värme leds bort efter första steget.

Blanda in vatten i bränslet eller spruta vatten in i eldstaden.

Strålningsbrännare.

Katalytisk förbränning.

### 3) Minska uppehållstiden

Exempel: en stor fjärrvärme/kraftverkspanna bildar flera gånger mer NOx per energienhet än en villapanna p g a den längre uppehållstiden i eldstaden.

Kyla flamman snabbt genom att spruta vattendimma mot flamman

### 4) Minska syrehalten i flamzonen

Blanda in avgaser i förbränningsluften.

O₂ reglering av brännaren så att förbränningen kan ske med mycket lågt luftöverskott

### 5) Minska kvävehalten i flamzonen

Ta bort luftkvävet så att man eldar med ren syrgas.

#### 12.2.4 Verkligt uppmätta värden.

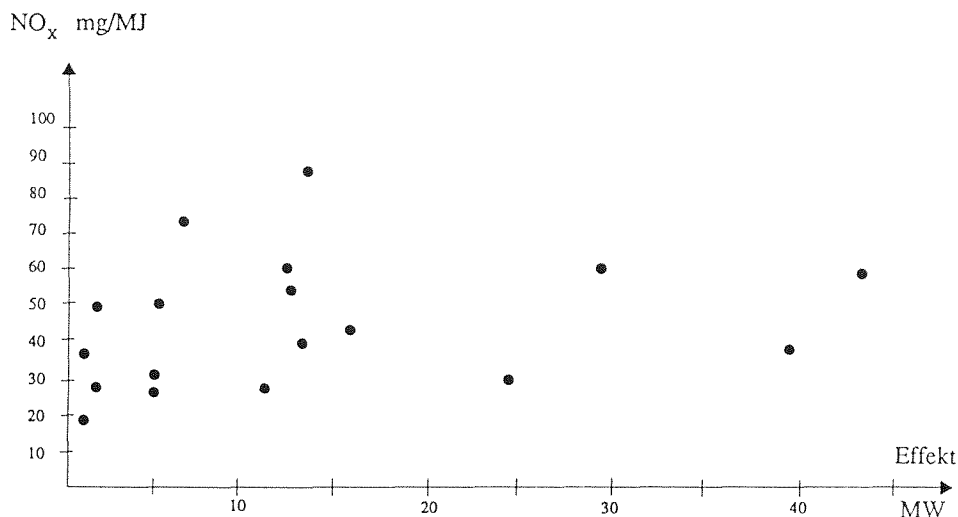


Bild.

NO_x-emissioner uppmätta på naturgaseldade pannanläggningar i Malmöhus län 1985/86. Källa: Länsstyrelsen i Malmöhus län.

#### 12.3 Nybyggnadsregler.

I Nybyggnadsreglerna kap 4:441 "Rökkanals höjd" finns följande föreskrift:

§ "En rökkanal skall utformas med hänsyn till eldstad, eldningsapparat och bränsleslag så att god funktion erhålls. Den skall ha sådan höjd, att de erforderliga tryckförhållandena i förbränningskammaren säkerställs och att brandfara inte uppstår samt att olägenheter för omgivande bebyggelse undviks."

Denna föreskrift gäller även för avgaskanaler enligt Kap 3:45 i Nybyggnadsreglerna.

I Nybyggnadsreglerna visas i avsnitt 3:4411, 3:4412 och 3:4413 metoder att beräkna rökkanalers höjd så att föreskriftens krav uppfylls.

I denna handbok kommer förutom de metoder Nybyggnadsreglerna redovisar även andra metoder att beskrivas.

12.4 Metoder att bestämma utsläppsplats/höjd.

12.4.1 Sammanställning av alla metoder.

Effekt område	Benämning	Kommentar
0 - 60 kW	1 m metoden	Nybyggnadsreglerna
5 - ca 30kW	Terminalmodellen	Utsläpp vid vägg eller tak
60 - 500 kW	Vinkelmetoden	Nybyggnadsreglerna
500 - 10 000kW	Referenshöjdsmetoden	Nybyggnadsreglerna
0-ca 30 000 kW	Konstanta NOx metoden	Modeller godkända för olja belastas med större effekter då gas används.
1 - ca 50 MW	SMHI modellen	Modell för skorstenar med max 20 m höjd
0,5 - ca 200 MW	Nomogrammetoden	Modell från Naturvårdsverket
> 10 MW	Singelmodellen	SMHI's stora program.

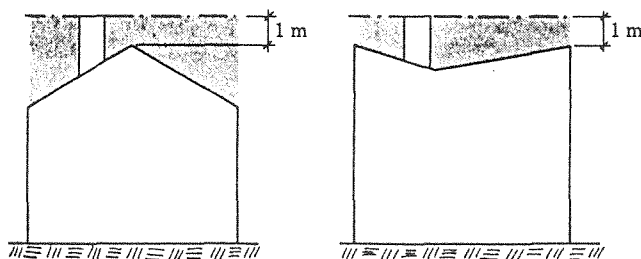
Där de olika metoderna överlappar varandra eller gränisar till varandra får den metod användas som genererar den lägsta skorstenshöjden.

12.4.2 < 60 kW. "1 m metoden"

Metoden finns beskriven i Nybyggnadsreglerna Kap 3:4411 "Eldstad med tillförd värmeeffekt av högst 60 kW".

"En rökkanal till en eldstad med en tillförd värmeeffekt av högst 60 kW utförs med den höjd som anges i följande figur, om inte särskilda skäl motiverar en större höjd."

"För en byggnad med tak på olika nivåer beräknas rökkanalens höjd med utgångspunkt från det högst belägna taket. Även vid tillbyggnad beräknas höjden på detta sätt."



#### 12.4.3 < 30 kW "Terminalmodellen"

En arbetsgrupp har under nov 1989 tillsats för att ta fram ett förslag till utformning av en "terminalmodell". Därmed utgår det förslag som tidigare fanns med i denna handledningsskrift.

Arbetsgruppen består av representanter från Byggnadsnämnder i Malmö, Lund och Helsingborg samt Gasföreningen och leverantörer av terminalpannor.

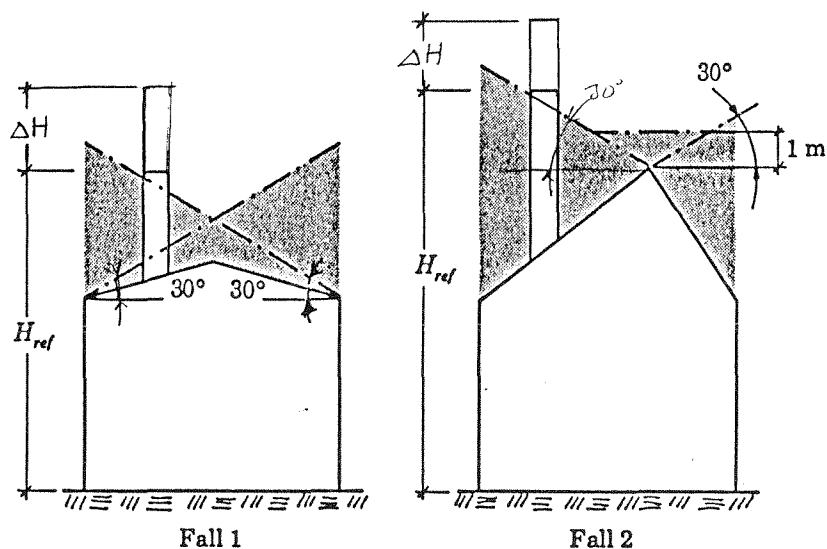
Arbetsgruppen har som mål att bli färdiga våren 1990.

12.4.4 60 - 500 kW "Vinkelmetoden"

Metoden finns i Nybyggnadsreglerna kap 3:4412  
"Eldstad med en tillförd värmeeffekt över 60 kW men  
under 500 kW".

"En rökkanals till en eldstad med en tillförd  
värmeeffekt över 60 kW men under 500 kW  
utförs med en höjd som utgör summan av en  
referenshöjd  $H_{ref}$  och ett beräknat  
höjdtillägg  $\Delta H$ ."

"Referenshöjden  $H_{ref}$  beräknas med  
utgångspunkt från takets utformning enligt  
följande figur."



Kommentar: man bör vara noga med  
placeringen av skorstenen så att den inte  
blir onödigt hög.

"Vid en takkonstruktion med högst 30° lutning  
(fall 1) dras nivålinjerna genom en punkt vid  
takfoten med 30° lutning mot  
horisontalplanet. Referenshöjden förutsätts  
dock vara minst 1m över taknocken."

"Vid en takkonstruktion med mer än 30°  
lutning (fall 2) dras nivålinjer från en  
punkt vid taknocken med 30° lutning mot  
horisontalplanet. Vidare dras en horisontell  
nivålinje 1m ovan taknocken. Referenshöjden  
förutsätts vara minst i nivå med den högst  
belägna av dessa nivåer."

"Vid låga byggnader med stor utsträckning och  
där byggnadskroppens tvärmått avsevärt  
överstiger dess höjdmått får, vid användning  
av tunnolja, referenshöjden  $H_{ref}$  väljas  
lägre än vad som framgår av figuren. Under  
förutsättning att byggnadens höjd inte  
överstiger 6m accepteras i sådana fall att  
referenshöjdens avstånd över taket uppgår  
till lägst 0,8 gånger byggnadens höjd."

Kommentar: det som i sista stycket sägs  
gälla för tunnolja gäller även för gas.

Tvärmåttet är det minsta måttet av en  
byggnads längd och bredd.

"Höjdtillägget  $\Delta H$  beräknas enligt följande  
formler.

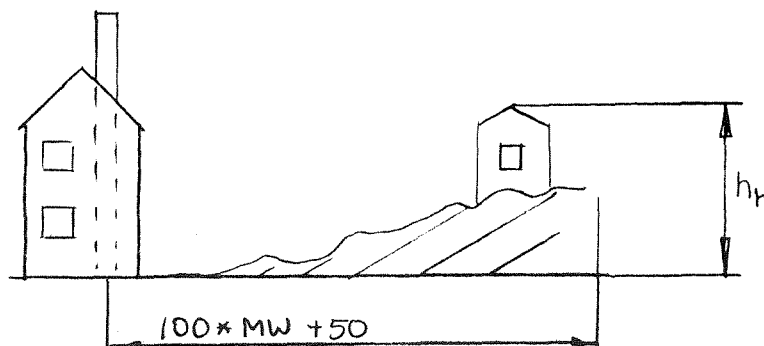
$$\Delta H = 0,5h_n \text{ om } h_n \leq H_{ref} \text{ eller}$$

$$\Delta H = h_n - 5 \text{ om } h_n > H_{ref}$$

där  $h_n$  = höjden över skorstensfoten för  
högsta byggnad eller terrängpunkt inom  
avståndet  $100 \times (\text{bränsleeffekten i MW}) + 50$  m  
från skorstenen räknat."

Kommentar: totala skorstenshöjden räknat från marken  
blir  $= H_{ref} + \Delta H$

I Nybyggnadsreglerna anges under detta avsnitt att om  
referenshöjdmétoden skulle ge lägre skorstenshöjd än  
vinkelmetoden får man välja den lägre höjden med  
referenshöjdmétoden.



Exempel:

En värmecentral med total bränsleeffekt 300 kW,

$$100 * 0,3 + 50 = 80 \text{ m}$$

12.4.5 500 - 10 000 kW "Referenshöjdmotoden"

Metoden finns i Nybyggnadsreglerna kap 3:4413  
"Eldstad med en tillförd värmeeffekt över 500 kW men  
under 10 MW".

"En rökkanal till en eldstad med en tillförd  
värmeeffekt över 500 kW men under 10 MW  
utförs med en höjd som utgör summan av en  
referenshöjd  $H_{ref}$  och beräknade höjdtillägg  
 $\Delta H_{tb}$  och  $\Delta H_{bd}$ . Det förutsätts dock att  
rökkanalen mynnar minst 1 m ovan takets  
högsta punkt."

$$H_{tot} = H_{ref} + \Delta H_{tb} + \Delta H_{bd}$$

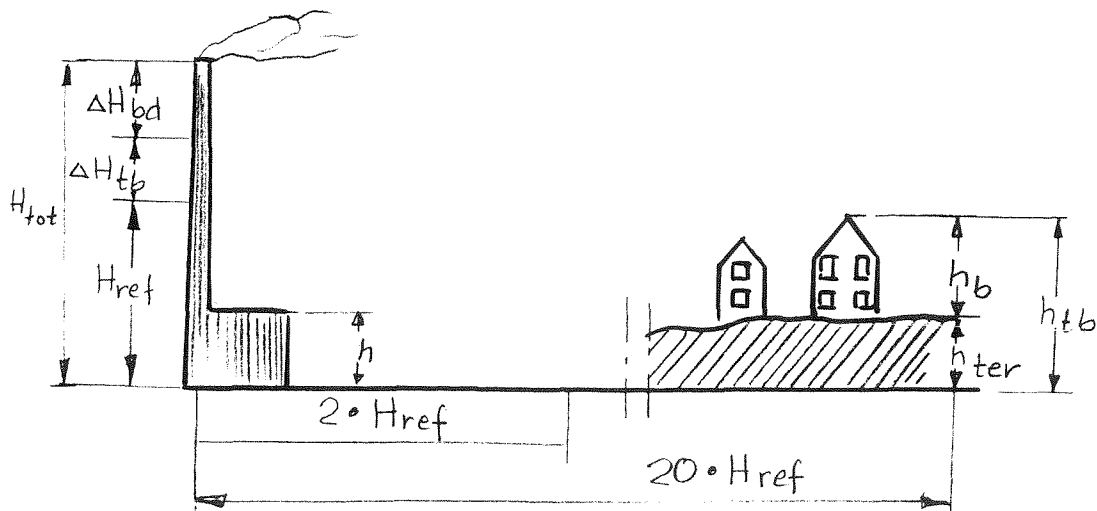
"Referenshöjden  $H_{ref}$  bestäms enligt  
följande tabell."

Tillförd effekt P (MW)	Referenshöjd $H_{ref}$ m
$0,5 < P \leq 2,5$	10
$2,5 < P \leq 5$	15
$5 < P \leq 10$	20

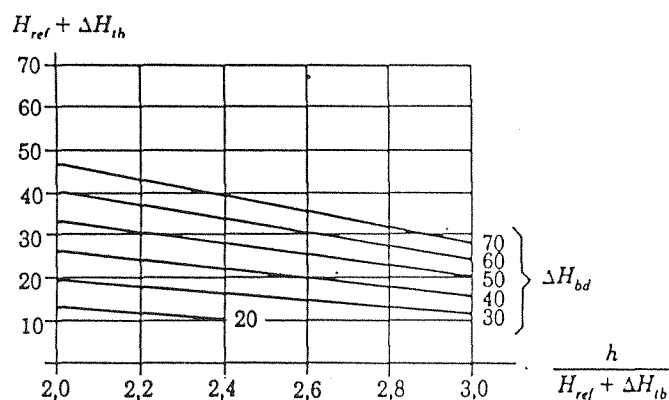
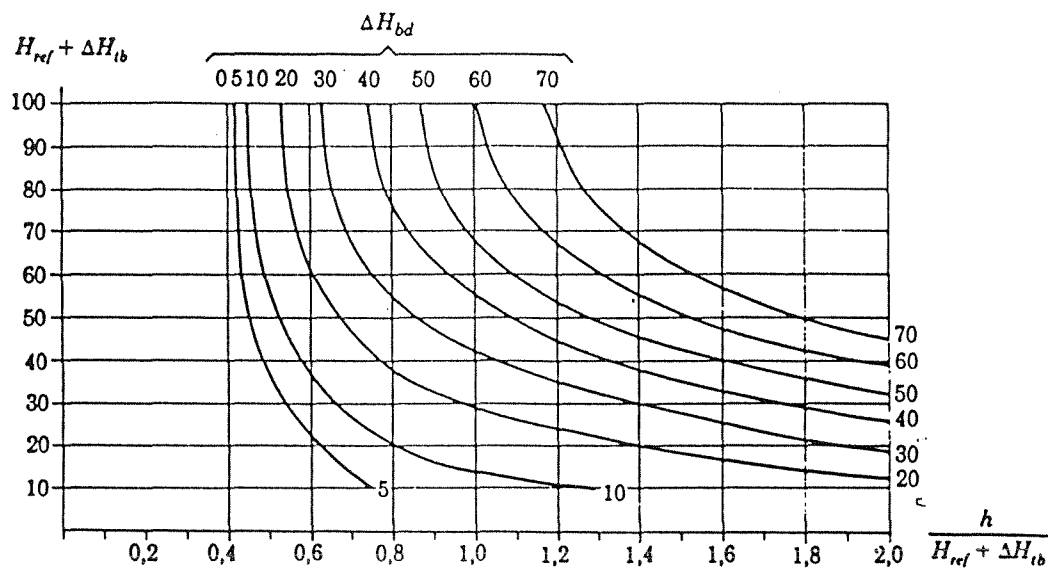
"Höjdtillägget  $\Delta H_{tb}$  för omgivande byggnader  
och terräng beräknas enligt följande formel.

$$\Delta H_{tb} = h_{tb} - 0,3 \cdot H_{ref}; \Delta H_{tb} \geq 0$$

där  $h_{tb}$  = höjd över skorstensfoten för  
högsta byggnad eller terrängpunkt inom  
avståndet 2 till 20 gånger referenshöjden  
från skorstenen räknat, för anläggningar med  
en tillförd värmeeffekt av högst 1 MW, dock  
endast inom avståndet 20 till 150 m."



"Höjdtillägget  $H_{bd}$  på grund av nedsug vid närliggande byggnad beräknas enligt följande diagram."



"Om den högsta byggnadens (i regel pannhusbyggnadens) höjd  $h$  inom ett avstånd av två gånger referenshöjden  $H_{ref}$  underskrider  $0,4 \cdot (H_{ref} + \Delta H_{ib})$  sätts  $\Delta H_{bd} = 0$ ."



12.4.6 0 - ca 30 000 kW "Konstanta NOx metoden".

Metoden bygger på att de metoder som finns beskrivna i Nybyggnadsreglerna används som utgångsvärde. De utsläppshöjder som dessa beräkningar ger gäller för bränslen som tunnolja, tjockolja, kol och inhemska fasta bränslen.

Där naturgas eldas undviks svavel, sot och tungmetaller. Kväveoxidutsläppen försvinner inte men de blir lägre jämfört med övriga bränslen.

"Konstanta NOx-metoden" bygger på att endast kväveoxidutsläppen jämförs. Ingen hänsyn tas till de övriga miljöförbättringarna. Jämförelsen görs endast med olja.

Först beräknas en utsläppshöjd som om olja skulle eldas. Därefter räknas ut hur mycket naturgas som kan eldas för att samma utsläpp ska erhållas vad gäller kväveoxidutsläppen. Innan rätt värde erhållits blir det fråga om passningsberäkning.

"Konstanta NOx-metoden" premierar den som installerar lågNOxbrännare.

Närmiljön blir lika som oljeeldning vad gäller NOx.

Fjärrmiljön blir bättre än med oljeeldning.

Denna metod måste förankras i den lokala byggnadsnämnden innan den tillämpas.

Konstanta NOx-metoden är framtagen av Göteborgs kommun.

Vid beräkningarna används tunnolja som referensbränsle för "l m metoden" och "Vinkelmetoden". För "Referenshöjdsmetoden" används tjockolja som referensbränsle.

Följande NOx värden används:

Tunnolja	100 mg/MJ
Tjockolja	150 mg/MJ
Naturgas	50 mg/MJ
LågNOxbrännare varierar	10-40 mg/MJ

För terminalmodellen jämförs standardgasapparater med lågNOx-gasapparater. Terminalmodellen baseras på gasapparater som avger 50 mg NOx/MJ. De utsläpp lågNOx-apparaterna ger varierar men det finns apparater som avger endast 20 mg/MJ.

Avgassystem vid naturgasförbränning  
Kjell Wanselius

Med "konstanta NOx metoden" erhålls följande  
effektgränser vid användning av Nybyggnadsreglernas  
höjdberäkningsmetoder.

För terminalmodellen används Naturvårdsverkets  
avståndsangivelser vid olika effekter.

Höjdberäk- ningsmetod	Teknik	Effektgräns
lm metoden	Naturgasbrännare	0 - 120 kW
lm metoden	Ex: lågNOx-apparat med 20 mg/MJ	0 - 300 kW
Vinkel- metoden	Naturgasbrännare	120 - 1 000 kW
Vinkel- metoden	Ex: lågNOx-brännare med 20 mg NOx/MJ	300 - 2500 kW
Referenshöjd- metoden	Naturgasbrännare	1 - 30 MW
Terminal- modellen	Ex. lågNOx-apparat med 20 mg NOx/MJ	5-40 kW 40-80 kW 80-120 kW

#### 12.4.7 1 - ca 50 MW "SMHI-modellen"

SMHI har fått i uppdrag av gasbranschen och Värmeforsk att göra en modell utlagd på dataprogram. Ide'n är att få en modell för skorstenshöjder upp till ca 20 m höjd. Vid högre höjder gäller andra modeller för spridning av luftföroreningar. Modellen beräknas vara färdig våren 1990.

De metoder som nu finns för effekter mellan 1 och 50 MW dvs referenshöjdmotoden och nomogrammetoden tar inte hänsyn till de små föroreningsutsläpp som naturgaseldning ger. För höga skorstenshöjder genereras med dessa metoder. SMHI-modellen avser att täcka in ett område där det finns många gasanläggningar.

Avsikten är att en datadiskett med SMHI-modellen ska kunna köpas av intresserade för egna beräkningar.

#### 12.4.8 0,5 - ca 200 MW "Nomogrammetoden"

Med nomogrammetoden menas en beräkningsmetod från Naturvårdsverket "Allmänna Råd för individuell beräkning av skorstenshöjder baserade på immissioner av NO_x och SO_x" 1989-03-22 (bilaga 1).

Metoden är för närvarande (hösten 1989) under omarbetning. Bilaga 1 visar några sidor ur den remissutgåva som gavs ut 1989-03-22. Eventuellt kommer den omarbetade nomogrammetoden att finnas med som bilaga i sin helhet i en senare utgåva av denna handledningsskrift.

Följande karakteristika kan nämnas om nomogrammetoden:

- * hjälpkurvor används. Utsläpp av luftföroreningar finns som variabel.
- * är som mest användbar för effekter upp till 100MW. Vid större effekter genereras för höga utsläppshöjder.
- * är olämplig att använda om flera skorstenar ska sammanräknas.
- * ingen hänsyn är tagen till lokala klimatdata.
- * i anvisningarna till modellen finns de effektuttag som ska räknas på beroende på om det är en anläggning för byggnadsuppvärmning eller om det är en processindustri.
- * hänsyn tas till hur snabbt NO omvandlas till NO₂ i atmosfären.

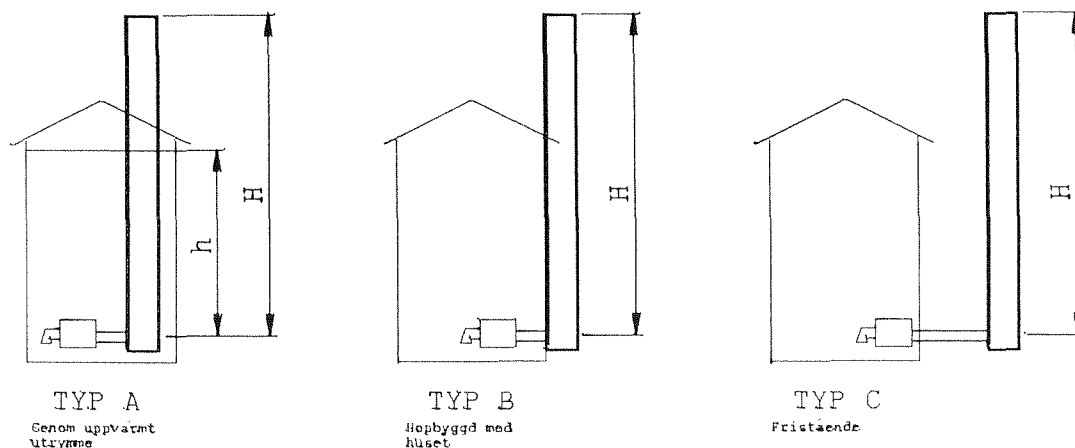
#### 12.4.9 > 10 MW "Singelmodellen"

Detta är SMHIs stora dataprogram som används för de mycket stora och komplicerade utsläppskällor. Beräkningen utförs av SMHI.

13. Uppgifter som bör samlas in i samband med en konvertering.  
(papper att fylla i data.)

Blankett bild 13A är praktiskt att använda i samband med planeringen av en konvertering. Med dessa data kan risken för kondens beräknas och även kanalens motstånd vid de effekter som framkommer då panna/brännare studeras.

## DATAINSAMLING VID INLEDANDE KONVERTERINGSSTUDIE



14. Kombinationsbrännare för gas/olja.

Där kombinationsbrännare gas/olja ska användas kan ej avgaskanaler utnyttjas. Avgassystemet för bortledning av avgaser och rökgaser ska utföras enligt bestämmelser för rökkanal.

Om oljan avses att användas mer än som reservbränsle ska hänsyn tas till att lägsta tillåtna rökgashastighet vid minlast är 8 m/s (se avsnitt 6.2). Detta gäller endast vid bränningen av oljan, vid gasdriften får minhastigheten underskridas.

Om rökkanalen beräknas bli utsatt för kondens måste kanalens insida tåla det sura kondensat som bildas vid oljeeldning. Lämpligt material är syrafast stål (SIS 2343) eller keramik/glas. Kondensatet ska avledas till ett neutraliseringskärl innan det får släppas ut i avloppsnätet.

Där oljepanna och gaspanna ansluts till gemensam rökkanal gäller samma regler som för två eller flera gaspannor kopplade till gemensam kanal (se avsnitt 9.1)

Skorstenshöjdberäkning kan inte alltid ske på samma sätt som visas i kapitel 12 eftersom där avses enbart naturgaseldade anläggningar.

Avgassystem vid naturgaseldning  
Kjell Wanselius

REFERENSLISTA.

- Nybyggnadsregler (BFS 1988:18)                      Statens Boverk
- Angående gaseldade väggpannor.                      Brev från Statens  
Naturvårdsverk 1985-06-14.
- VVS-handboken                                              Förlags AB VVS.
- Handbuch der Schornsteintechnik                      Gerhard Hausladen.  
R. Oldenbourg Verlag München Wien 1988
- Naturgasmanualen.                                          Svenska Gasföreningen.
- Naturgasdistributionsnormen, remissutgåva.  
Svenska Gasföreningen.
- Kondensproblem i skorstenar vid naturgaseldning (1986-04-15).  
Kjell Wanselius.
- Risker med korrosionsskador i villapannor vid omväxlande olja/el  
drift (1988-03-07)                                          Kjell Wanselius.
- Förslag till riktvärden för luftkvalitet i tätorter - allmänna råd.  
Remiss ex dat 1989-08-08.                                  Statens Naturvårdsverk

BILAGA 1

Några sidor ur "nomogrammetoden", remissutgåva.

ARBETSHANDLING

STATENS NATURVÅRDSVERK

1989-03-22

UTKAST

SNV ALLMÄNNA RÅD XXXX

BERÄKNING AV SKORSTENSHÖJD

REMISS



## FÖRORD

De riktlinjer för bestämning av skorstenshöjd som hittills funnits togs fram i början av 1970-talet och baseras endast på svaveldioxidutsläpp och i princip bara från oljeeldning.

I naturvårdsverkets Allmänna råd 87:2 (1987) för fastbränsleeldade anläggningar 500 kW-10MW redovisades hur skorstenshöjden med en förenklad beräkningsgång kan bestämmas för dessa mindre anläggningar.

Den nu framtagna beräkningsmetoden bygger på rapporter som Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut (SMHI) utarbetat på uppdrag av naturvårdsverket under 1980-1983. En viss överarbetning har skett genom naturvårdsverkets försorg för att anpassa den ursprungliga beräkningsmetoden till den nya spridningsmodell som SMHI tagit i bruk under 1984. Vidare har hänsyn tagits till det förslag till nya riktlinjer för luftkvalité som beräknas ges ut 1989/90.

Solna i mars 1989

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	Sid
1. INLEDNING OCH FÖRUTSÄTTNINGAR	3
2. FÖRTECKNING ÖVER FÖREKOMMANDE PARAMETRAR	5
3. BERÄKNING AV SKORSTENSHÖJD	6
3.1 Skorstenens referenshöjd	7
3.1.1 Fullständig beräkningsgång	7
3.1.2 Förenklad beräkningsgång för fjärrvärmeverk och hetvattencentraler	18
3.2 Skorstenstillägg	24
4. TILLÄMPNINGSEXEMPEL	31
5. REFERENS- OCH LITTERATURLISTA	39
BILAGA: LUFTKVALITET-MARKKONCENTRATIONS BIDRAG FRÅN ENSKILDA ANLÄGGNINGAR	40
1. Svavel- och kväveoxider	40
2. Andra luftföroreningar	45

## 1. INLEDNING OCH FÖRUTSÄTTNINGAR

Jämfört med naturvårdsverkets tidigare riktlinjer har följande förändringar skett,

- bestämning av skorstenshöjd med hänsyn också till utsläpp av kväveoxider.
- ändrad beräkningsgång för pannor med variabel last under året
- ändrade regler för beräkning av skorstenstillägg
- bättre anpassning av beräkningsmodellen då rökgaserna är kalla

Spridningen av luftföroreningar bestäms av en mängd variabla faktorer. Vissa generaliseringar har därför varit nödvändiga att göra vid utarbetande av beräkningsmetoden. Detta medför att beräkningsmetoden inte kan användas för komplicerade situationer, exempelvis då källan är belägen i ett område med starkt kuperad terräng. Rökgasernas utspädning i områden med kuperad terräng är ett komplicerat förlopp. I sådana fall bör man utnyttja information om den lokala meteorologin.

Det förekommer också, speciellt vid industrianläggningar, att man har utsläpp via flera skorstenar. I sådana fall kan man inte bestämma haltbidraget från hela anläggningen enligt föreliggande metod genom addition av haltbidragen från varje källa för sig. I stället bör en särskild utredning utföras.

Kväveoxider som emitteras till atmosfären undergår en successiv oxidation till kvävedioxid. Förloppet påverkas av ett flertal faktorer. Det har vid utarbetandet av denna beräkningsmetod inte varit möjligt att ta hänsyn till alla variabler och beräkningsmetoden är även i övrigt relativt osäker för anläggningar med en värmeeffekt i rökgaserna som är större än 10 MW och/eller där skorstenens referenshöjd ( $H_{ref}$ ) blir större än 60 m. I dessa fall kan resulterande skorstenshöjd bli högre än nödvändigt. I sådana fall rekommenderas en spridningsmeteorologisk studie.

Särskild studie bör också göras i de fall en anläggning är belägen i närheten av trafikleder där riktvärdet för kvävedioxid överskrids.

Sammanfattningsvis bör särskild, kvalificerad, spridningsmeteorologisk utredning göras i följande fall.

- * Anläggning belägen i område med speciellt kuperad terräng eller höga byggnader dvs då skorstenstillägget  $\Delta H_{tb}$  är mycket större än skorstenens referenshöjd,  $H_{ref}$
- * Anläggning med betydande utsläpp via flera skorstenar
- * Då värmeeffekten i rökgaserna överstiger 10 MW eller då skorstenens referenshöjd,  $H_{ref}$  överstiger 60 m
- * Anläggning belägen i närheten av trafikleder där riktvärdet för kvävedioxid är nära att överskridas.

För mindre förbränningsanläggningar (0,5-10MW) redovisas i SNV Allmänna råd (87:2) en starkt förenklad beräkningsgång som normalt bör kunna accepteras för anläggningar i denna storlek. Den mer omfattande beräkningsgången, som redovisas i denna rapport, bör användas när utsläppen avviker från de förutsättningar som anges för den förenklade schabloniserade beräkningsmetoden. Det är särskilt för gaseldade pannor som skorstenshöjden, beräknat enligt ovan nämnda allmänna råd, kan bli högre än nödvändigt.

Den redovisade beräkningsmetodiken för bestämning av skorstenshöjd med avseende på svavel- och kväveoxider kan i vissa fall också användas med avseende på andra luftföroreningar.

En förutsättning är dock att riktvärden, eller bedömningsgrunder av luftföroreningen är angivna som 99 percentiler av timmedelvärden under en månad, då det är dessa förutsättningar som föreliggande beräkningsmetod baserar sig på.

Värmeforsk är ett organ för industrisamverkan inom värmeteknisk Forskning och utveckling. Stiftelsens forskningsprogram är tillämpningsinriktat och fokuseras på energi- och processindustriernas behov och problem. Bakom Värmeforsk står följande huvudmän:

- Elforsk
- Värmeverksföreningen
- Övrig industri

Värmeforsk samarbetar med Närings- och teknikutvecklingsverket (NUTEK).

**STIFTELSEN FÖR VÄRMETEKNISK FORSKNING**

Box 1765 · 111 87 Stockholm  
Tek: 08-7900600 · Fax 08-796 00 37