

VÄRMEFORSK

STIFTELSEN FÖR VÄRMETEKNISK FORSKNING

ARKIVEXEMPLAR

Dimensionerade rökgashastigheter i skorstenar

Kurt Fransson

STIFTELSEN FÖR VÄRMETEKNISK FORSKNING
BOX 6405 · 113 82 STOCKHOLM · TEL. 08/ 34 09 80

December 1983
ISSN 0348-758X

ENGLISH SUMMARY

DESIGN VELOCITIES FOR FLUE GAS IN STACK, WHEN USING SOLID FUEL

Based on the regulations concerning the design parameters for flue gas velocity in the stack in oil-boiling burners, this study is supposed to convert these regulations for solid fuels.

The study shows that the choice of maximum and minimum velocity for the flue gas, when calculating the stack diameter, is based on experience and not calculation, which makes it impossible to recalculate in order to fit into the particle properties special for solid fuels.

To be able to change the rules of today or make sure they fit to solid fuel, it is necessary to make extensive data sampling under different particle load at different flue gas velocities.

The main reasons for minimum velocity is the settling velocity as well as the adhesiveness of the particle. The maximum velocity is set because of noise.



STIFTELSEN FÖR VÄRMETEKNISK FORSKNING
C28 Dimensionerande rökgashastigheter
i skorstenar vid fastbränsleeldning

Inledning/Sammanfattning/Innehåll

SAMMANFATTNING

För Stiftelsen för Värmeteknisk Forskning har AF-EnergiKonsult utrett de teorier som ligger bakom gällande bestämmelser för dimensionering av rökrör vid oljeeldning.

Utredningen har visat att det inte är några beräkningar som ligger till grund för riktvärdena. Detta gör att några omräkningar för att passa fastbränsle inte går att göra.

För fastbränsle måste erfarenhetsdata samlas genom mätningar vid olika stoftbelastningar och olika rökgashastigheter.

Begränsande för lägsta hastighet är förutom fallhastigheten även vidhäftningsförmåga (främst för olja) och för högsta hastighet främst buller.

AF-ENERGIKONSULT
Avd Energiteknik, Stockholm

Kurt Fransson
Kurt Fransson

ARENDET

C28. Dimensionerande rökgashastigheter i skorstenar vid fastbränsleeldning

BAKGRUND

Stiftelsen för Värmeteknisk Forskning har givit oss i uppdrag att utreda lämplig minsta dimensionerande rökgashastighet i skorsten vid eldning med respektive kol, torv och skogsbränsle. I uppdraget ingår vidare en teknisk-ekonomisk bedömning av det ökande fläktarbetet som en höjning av skorstenshastigheten medför.

Gällande riktlinjer och bestämmelser.

I SNV:s publikation 1973:8 "Riktlinjer för luftvård" stycke 3.17 gällande "Tjockoljeeldad anläggning för värme- eller ångalstring med bränsleeffekt större än 50 MW samt tjockoljeeldad enhet inom förprövnings- och anmälningsskyldig anläggning" anges bl a att: Varje pannenhet i en anläggning med varierande belastning skall förses med separata rökrör och rökgashastigheten bör inte understiga 25 m/s vid fullast och 8 m/s vid låglast.

Statens Planverk anger i SBN 1980, 44:132 rubricerat, Rökkanal för forcerat drag, följande:

"En rökkanal för forcerat drag skall dimensioneras så att upplagring av stoft på kanalens innerytor i möjlig grad förhindras. Som dimensionerande rökgashastighet vid högsta belastning godtas 25 m/s. Vid låglast godtas en rökgashastighet av 8 m/s." För kommentarer se bilaga 2.

Tidigare (år 1971) angav SNV rökgashastigheterna till min 20 respektive 7 m/s för fullast respektive låglast. Statens Planverk angav i SBN 1975 dimensionerande rökgashastigheten till 20 m/s vid fullast och i SBN 67 anges att lägsta lämpliga rökgashastighet är 6-7 m/s.

Dagsläget är således att via dimensionering av rökrör läggs låglasten vid 8 m/s och fullast vid 25 m/s, vilket ger utrymme för reglering 1 till 3. Tillåts hastigheten 30 m/s som ur bullersynpunkt betraktas som en maxhastighet klaras reglerområdet 1 till 3,75, dvs ned till 27 % last. Större lastområden kräver sommarlastpipa om inte lägre rökgashastigheter tillåts.

UNDERSÖKNING

Det har visat sig vara mycket svårt att få fram något underlag till hur de dimensionerande rökgashastigheterna vid oljeeldning vid full- respektive dellast har tagits fram.

Förfrågningar på Naturvårdsverket gav inget svar på frågan hur de dimensionerande rökgashastigheterna bestämts. Man trodde att de grundade sig på erfarenhetsdata.

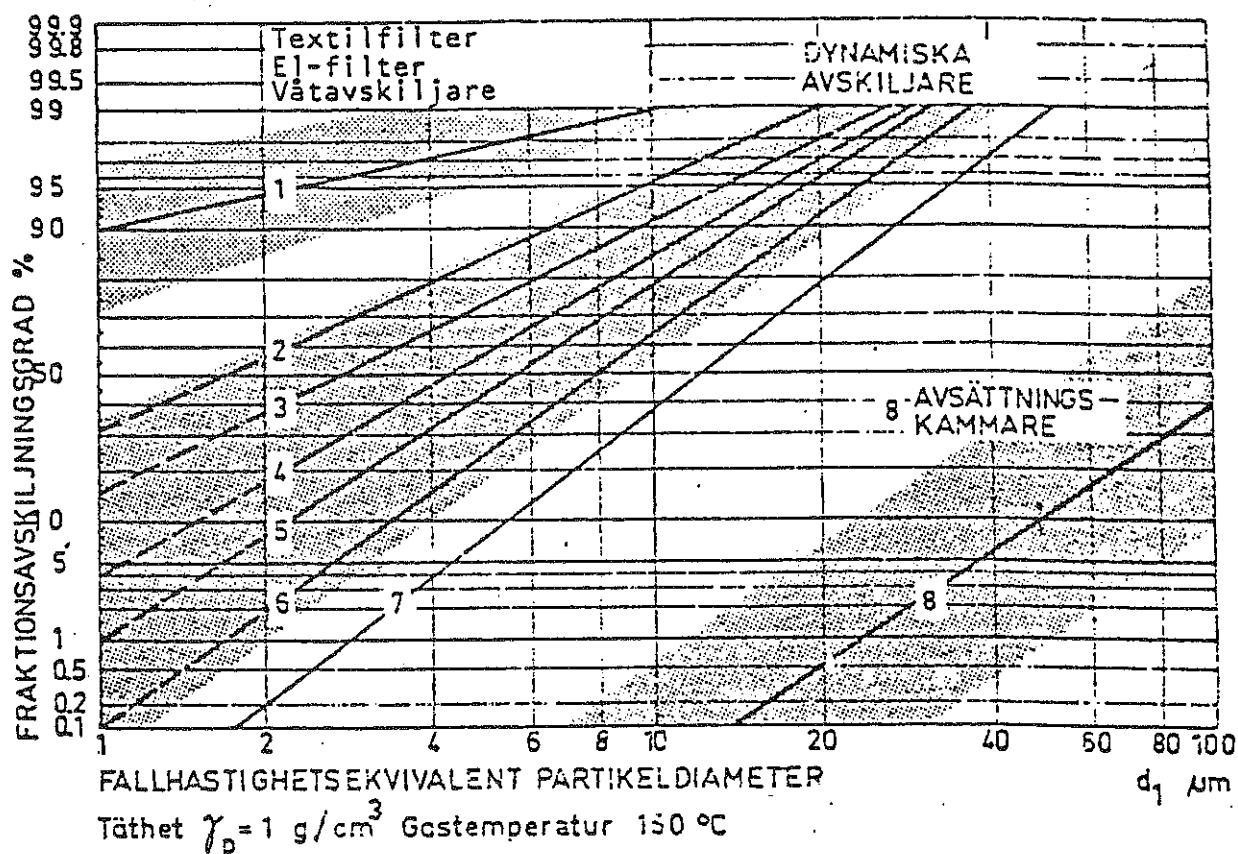
Statens Planverk anges som främsta orsak till vidtagen ändring i SBN 1980 gällande dimensionerad rökgashastighet, att en samskrivning med SNV:s villkor var önskvärd. I samband med ändringen hade även "plymlyftet" och problemet med "stack downwash" diskuterats.

Övrig av oss påträffad litteratur gällande skorstensdimensionering behandlar över huvud taget inte problem med upplagring av stoft utan belyser parametrar som tryckförlust, rökgasnedkylning med avseende på daggpunkt och korrosionsskador, materialval och hållfasthet samt i någon mån spridnings- och utspädningsfaktorer. Utsläpp av upplagrat stoft har dock förekommit, särskilt vid äldre tjockoljeeldade anläggningar där flera enheter anslutits till gemensam rökgaskanal och skorsten, varför orsaken till myndigheternas riktlinjer och bestämmelser är helt klara medan bakgrunden till nivåerna som ovan nämnts är oklara.

STOFTEMISSION FASTBRÄNSLEELDNING

Statens Naturvårdsverks förslag till nya emissionsgränser för fastbränsleeldade anläggningar medför att i varje fall anläggningar med en bränsleeffekt större än 10 MW måste utrustas med elektrofilter, textilfilter eller annan stoftavskiljare med likartad prestanda. Avskiljningsförmågan hos textilfilter och elektrofilter är mycket hög, som regel över 99 %.

Av nedanstående diagram framgår att avskiljningsgraden är hög även för små partiklar, 99 % för fallhastighetsekvivalenta partikeldiametrar på ungefär 10 μm . Partiklar med större ekvivalent diameter än ungefär 50 μm passerar knappast dessa typer av avskiljare.



1. Textilfilter, elfilter, våtavskiljare
 2. Högeffektcykloner 3. Småcykloner med sekundärkrets
 4. Mindre battericykloner 5. Småcykloner utan sekundärkrets
 6. Större battericykloner 7. Enkla galler eller gitteravskiljare.

DIMENSIONERANDE RÖKGASHASTIGHET I SKORSTEN

Rökgashastigheten i skorstenen måste vara tillräcklig för att;

- Stoftet i rökgaserna skall lyftas ut även vid lägsta last och får ej klibba fast på väggarna.
- Rökgaserna inte kyls under sin daggpunkt.
- Problemen med "stack downwash" inte blir större än som kan accepteras (se högre skorsten).

Stoftet i rökgaserna efter en fastbränslepanna med modern avskiljarutrustning beräknas ha en max. ekvivalent partikeldiameter av $50 \text{ } \mu\text{m}$ och stoftkoncentrationen kommer att vara relativt låg ($35 - 50 \text{ mg/Nm}^3$ som mest).

Den relativa fallhastigheten, W_f , för partiklar mindre än $50 \text{ } \mu\text{m}$ ligger inom det laminära området varför Stokés ekvation

$$W_f = \frac{d^2}{18} \cdot \frac{Sp - \rho_0}{\eta_0} \text{ gäller.}$$

Ur diagram, bilaga 1, framgår att en partikel med ekvivalent diameter på $50\text{ }\mu\text{m}$ har en relativt fallhastighet av endast ungefär $0,07\text{ m/s}$ i luft (760 mm Hg , 20°C).

I en skorsten har rökgaserna emellertid en utvecklad turbulent strömning, vilket innebär att medförda stoftpartiklar oberäkneligt byter rörelseriktning.

Betraktas den turbulenta flödesbilden framgår att flödet är relativt jämnt över hela ytan utom närmast skorstensväggen där hastigheten kraftigt minskar för att över ett tunt laminärt gränsskikt gå till noll närmast väggen. Gränsskiktets tjocklek minskar med högre Re , alltså högre rökgashastighet. Ojämnheten i skorstensväggen kan störa eller bryta den laminära strömningen.

Stoftpartiklar som transporteras i det laminära skiktet kan givetvis komma i kontakt med väggen och fastna. Vidare kan åtminstone de större partiklarna i den turbulenta gasströmmen vid ändring av rörelseriktningen genom sin "tröghet" bryta igenom det laminära skiktet och fastna på väggen. Partiklar mindre än $1\text{ }\mu\text{m}$ kan genom "Brownska rörelsen" bringas i kontakt med väggen. Effekten av elektrostatiska krafter (elfilter) på partiklarna kan eventuellt medföra att de dras ut till och fastnar på skorstensväggen.

Av ovanstående framgår att oavsett hur hög rökgashastighet som väljs kommer sannolikt stoft att fastna på skorstensväggen. Tjockleken på det stoftskikt som kan byggas upp är dock förutom partiklarnas vidhäftningsförmåga beroende av rökgashastigheten i skorstenen, då ju det laminära skiktet minskar vid ökande hastighet.

Stoftpartiklar som vid låg hastighet fastnar på skorstensväggen kan således slitas loss och följa med rökgasen då hastigheten ökas vid lastökning. Hur stora mängder som kan fastna är svårberäknat, likaså är det svårt att förutsäga om stoftet då det lossnar ger otillåtet stort utsläpp.

Vad ovan sagts gäller endast vid drifttemperaturer över rökgasens aktuella daggpunkt. Vid en eventuell sänkning av rökgashastigheten i skorstenen måste temperaturfallet således beaktas.

De nya riktlinjerna från SNV kan för mindre anläggningar för flis och torv tillåta multicykloner som enda avskiljare. Detta innebär stoftutsläpp upp till 350 mg/Nm^3 och partiklar något större än $50\text{ }\mu\text{m}$. Fallhastigheten är trots detta avsevärt lägre än tänkbara flödeshastigheter i rökröret. Ovanstående betraktelse gäller alltså även anläggningar med större stoftutsläpp.

Exempel:

Skorstenshöjd	m	100	100
Rökrörsdiameter	m	1	0,5
Isolering, mineralullsmatta	mm	80	80
Ingående rökgastemperatur	°C	150	150
Rökgashastighet	m/s	8 alt 6	8 alt 6
Temperatursänkning	°C	5 alt 7,5	10 alt 15
Utgående rökgastemperatur	°C	145 alt 142,5	140 alt 135

Exemplet visar sambandet mellan rökgasnedkylning och värmeflödet vid given temperatur.

Beroende av eldad bränslekvalitet (S) och ingående rökgastemperatur till skorstenen kan det vid en minskning av rökgashastigheten erfordras att rökrörets isolering förstärks alternativt att ingående rökgastemperatur höjs.

För fasta bränslen kan rökgastemperaturen sänkas ned mot 120°C utan problem för syradaggpunkten. De konsekvenser detta får är mindre rökgasvolym (verklig) och mindre termisk lyfteffekt. Tas hänsyn till detta vid dimensionering av skorstenen kan alla obehag p g a detta undvikas. De inhemska bränslenas höga fukthalt behöver inte ge några ytterligare agglomereringseffekter om kondensation undviks.

Statens Naturvårdsverk har i "Remissutgåva februari 1982" angivit allmänna råd för bestämning av erforderlig skorstenshöjd vid normala förbränningsanläggningar med en kapacitet mindre än 300 MW. Förslaget till nya riktlinjer gäller även trä- och torveldade anläggningar, för vilka tidigare inga riktlinjer funnits. I jämförelse med gällande riktlinjer enligt SNV 1973:8 omfattar förslaget för övrigt i huvudsak följande ändringar.

- regler vid utsläpp av kväveoxider och stoft
- omarbetade regler för skorstenshöjd för anläggningar med variabel last under året
- omarbetade regler för beräkning av skorstenstillägg.

Av ändringarna är det beräkningen av skorstenstillägg som berör rökgashastigheten i skorstenen. I remissutgåvan behandlas således även rökgasernas nedsug i lä av skorstenen, s k "stack downwash" och tekniken för beräkning av kompensande skorstenstillägg beskrivs. Av remissutgåvan framgår att vid normala förbränningsanläggningar med en rökgastemperatur av 150°C och en lägsta rökgashastighet mindre än 8 m/s blir skorstenstillägget på grund av "stack downwash" så litet att det kan försummas. Begränsade avvikelser i rökgashastigheter ger måttliga skorstenstillägg.

Exempel:

Konventionell fjärrvärmeanläggning

Installerad effekt	100 MW
Bränsleeffekt	110 MW
Bränsle; kol med en svavelhalt av max	0,8 %
Utsläpp av kväveoxider	0,28 gram NO _x /MJ bränsle
Rökgastemperatur i skorstenstopp	150 °C
Rökgashastighet vid fullast	25 m/s
Skorstensdiameter	Di = 1,8 m
Dimensionerande utetemperatur	-20 °C
Tillåtet markkoncentrationsbidrag	0,25 mg SO ₂ /m ³
" "	0,15 mg/NO _x /m ³

Skorstenens referenshöjd, Href, blir i ovanstående exempel enligt remissutgåvan ca 50 m. Skorstenstillägget på grund av "stack downwash", HSD, kan enligt utgåvan försummas om rökgashastigheten är högre än 8 m/s vid lägsta last. Sänks lägsta last så att en rökgashastighet av 6 m/s erhålls blir HSD enligt utgåvan ca 4 m och vid en lägsta rökgashastighet av 4 m/s blir HSD ca 7 m.

För anläggningar med skorstenshöjder under 50 m och med hög bebyggelse i närområdet kan en sänkning av rökgashastigheten i befintlig skorsten ge alltför stor "stack downwash" effekt. Med andra ord måste skorstenen höjas om lägre effekter skall köras. Vid större anläggningar vars skorstenshöjd bestäms med hjälp av spridningsberäkningar är skorstenen överdimensionerad (hög nog) vid låg last, varför "stack downwash" kan försummas vid sänkning av effekten och därmed rökgashastigheten.

Fläktarbete - skorsten

Vid förbränningsanläggningar är fläktarbetet för övervinnande av friktionsmotståndet i skorstenen närmast försumbart. Tryckfall som rökgasfläkten måste kompensera för alstras främst i pannaggregat, rökgaskanaler och stoftavskiljare.

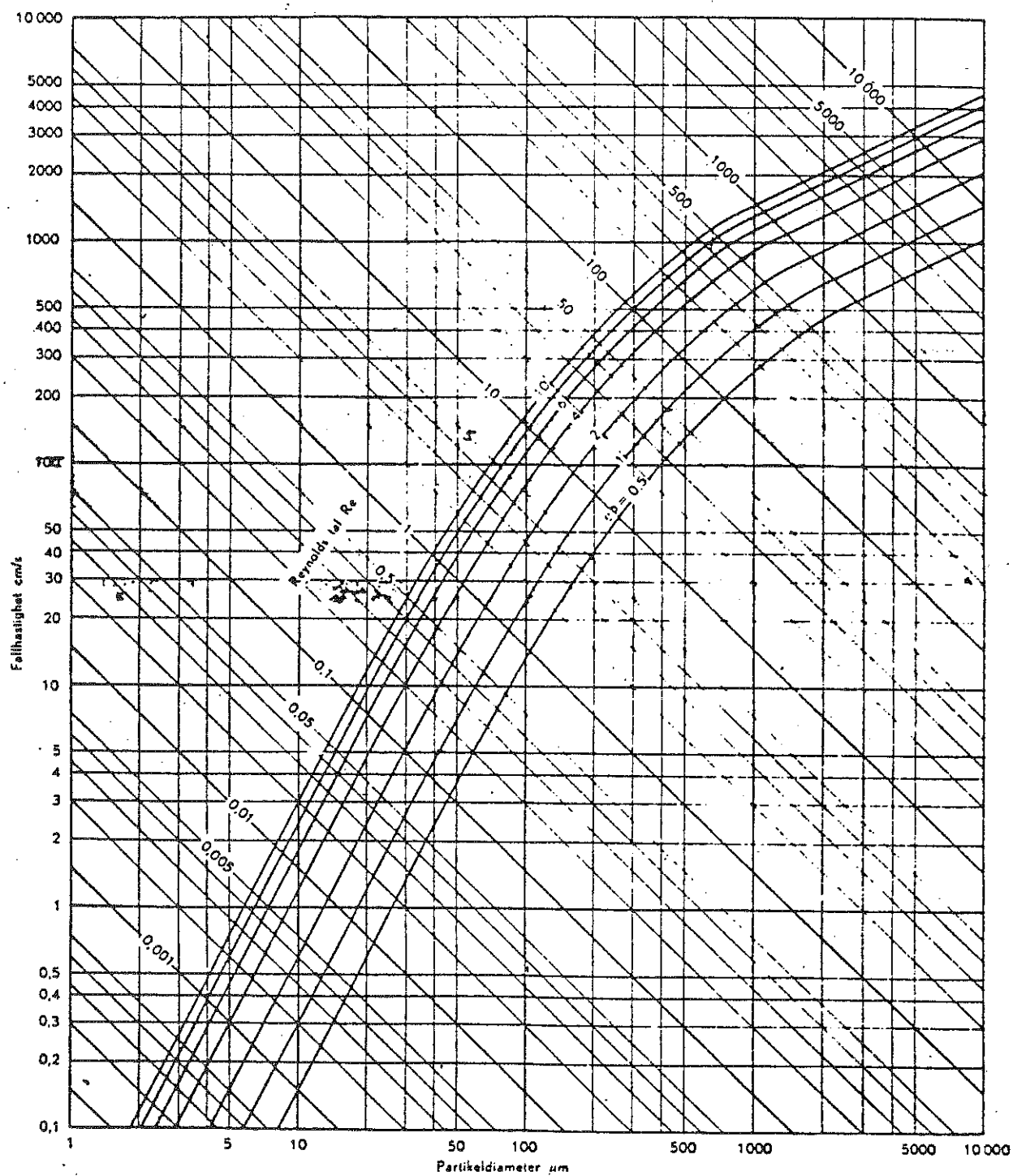
Exempel:

En koleldad förbrännings anläggning

Bränsleeffekt	MW	55
Rökgastemperatur	°C	150
CO ₂ -halt	%	14
Rökgashastighet i skorsten max	m/s	25
Skorstenshöjd	m	50
Friktionsförlust, ca	Pa	120



Ökas max. rökgashastighet till 30 m/s blir friktionsförlusten cirka 175 Pa i skorstenen. De redovisade friktionsförlusterna i skorstenen är i storleksordningen 5 - 10 % av tryckfallet över ett rensotat pannaggregat inklusive ekonomiser men exklusive kanaler och stoftavskiljare. Tryckfallsökningen över aggregatet mellan sotningsperioderna är större än den som erhålls i skorsten genom ökad rökgashastighet. Är pannaggregatet försett med textilt spärrfilter blir friktionsförlusterna vid en max rökgashastighet av 30 m/s i skorstenen mindre än 5 % av de totala tryckfallen. Friktionsförlusterna orsakade av ökad rökgashastighet från 25 till 30 m/s är mindre än 1,5 % av det totala tryckfallet.



Figur 2

Röckkanaler och avgaskanaler

:1 K RÖCKKANALER

:111 K Funktion

Den nya föreskriften i SBN 44:111 om att en röckkanal skall dimensioneras och anordnas så, att en god funktion kan erhållas förutsätter att kanalen anpassas väl till eldstaden och till denna förekommande eldningsapparat samt till bränsleslaget.

En sådan anpassning är nödvändig för att man skall få goda driftförhållanden och en god bränsleekonomi. En dålig anpassning kan medföra allvarliga skorstensproblem exempelvis utfällning av kondensat vid oljeeldning och avsättningar av tjärprodukter vid fastbränsleeldning. För liten tvärsnittsytta kan medföra störningar vid förbränningen – dålig värmeisolering medför försämrat drag och risk för ökade avsättningar i kanalen.

:112 K Säkerhet

Föreskriften i SBN 44:112 innebär inga hinder att anordna en skorsten med flera röckkanaler genom att placera flera foder inom en gemensam mantel eller flera röckkanaler i ett gemensamt schakt.

För ett fläktventilationssystem till vilken röckkanal från en öppen spis skall anslutas i ett flerbostadshus har planverket i ett utlåtande uttalat att särskilda krav inte behöver ställas på frånluftsaggregatets temperaturbeständighet. Från brandteknisk synpunkt anses inte risken för skada till följd av brand i kanalen och därav förorsakat fläktstopp vara så stor att särskilda krav är motiverade. Det har härvid förutsatts att röken späds ut i en sådan grad att brandrisk eller sanitär olägenhet inte uppstår vid normalt utförande av frånluftsaggregatet. I småhus är det dock inte lämpligt att ansluta en röckkanal till ett frånluftsaggregat, eftersom tillräcklig utspädning inte kan påräknas i ett sådant hus.

:113 K Krisförhållanden

En röckkanal som dimensioneras och utförs för oljeeldning under normala förhållanden kan i regel direkt användas även för eldning med inhemskt fast bränsle. Rökgasmängden per tidsenhet blir visserligen större vid användning av fasta bränslen om samma effekt skall avges, vilket skulle kunna motivera en större tvärsnittsarea på röckkanalen. Emellertid godtas en effektreduktion till lägst 60 % av en pannas märkeffekt vid s k kriseldning och för mycket stora pannanläggningar en reduktion till lägst 50 % (se SBN 45:82). Med hänsyn till att en lägre värmeproduktionsförmåga sålunda godtas under krisförhållanden blir rökgasflödet vid eldning med fasta bränslen av ungefär samma storleksordning som under normala förhållanden vid eldning med olja. En röckkanalsarea som dimensionerats för oljeeldning har därför bedömts vara godtagbar även för eldning med fast bränsle. Det är angeläget att en röckkanal inte ges för stor area i förhållande till det bränsle som normalt

skall användas. Problem med kondensbildning och sämre eldningsekonomi kan annars uppstå.

Om en eldstad anordnas för eldning med gasformiga bränslen kan avgaskanalen under vissa förhållanden utföras på ett enklare sätt än en rökkanal (se SBN 44:21 och :23). Ett sådant enklare utförande av en avgaskanal medger emellertid inte att kanalen kan användas för eldning med ett inhemskt fast bränsle och för övrigt inte heller för oljeeldning. I de fall som omfattas av föreskrifterna i SBN 45:81 förutsätts därför att en anläggning för gaseldning förses med en som rökkanal utförd avgaskanal.

:12 K Rökkanals höjd

Bestämmelserna om rökkanalers höjd har utformats efter samråd med SNV och då det gäller anläggningar för tjockolja har bestämmelserna samordnats med reglerna i SNVs publikation 1973:8 "Riktlinjer för luftvård. Emissionsgränser och anvisningar för emissionsmätning och beräkning av skorstenshöjd vid fasta anläggningar".

:121 K Godtagen höjd på rökkanal till eldstad med en tillförd värmeeffekt av högst 60 kW

Det i SBN figur 44:121 b givna exemplet på godtagen höjd för en rökkanal till en öppen spis eller kamin i ett småhus förutsätter att småhuset huvudsakligen värms upp med någon annan anordning.

I avsnittet angivna höjder godtas om inte särskilda skäl motiverar en högre höjd. Motivet härför kan t ex vara en byggnads utformning, tät bebyggelse eller terrängförhållanden.

Avsikten med tillägget i SBN 1980 om godtagen höjd på en rökkanal vid en tillbyggnad är att en god funktion skall säkerställas samt att riskerna för sanitära olägenheter genom röknedslag skall minskas. Även riskerna för brand genom gnistspridning motiverar tillägget om godtagen höjd vid en tillbyggnad.

:1222 K Höjd vid anläggning för tunnolja

Beräkningen av en rökkanals höjd beräknas med utgångspunkt från byggnadens tvärmått.

:1224 K Höjd vid anläggning för fasta bränslen

Ett nytt avsnitt har införts om godtagen höjd på rökkanaler till eldstäder avsedda för fasta bränslen (se även SBN tabell 44:1221).

:131 K Rökkanal för självdrag

Den erforderliga tvärsnittsarean för en rökkanal avtar med ökande höjd, varför det vid mycket höga kanaler kan vara lämpligt att välja en mindre tvärsnittsarea än vad som anges i SBN tabell 44:1311. Omvänt gäller att den erforderliga tvärsnittsarean ökar vid avtagande höjd, varför det vid mycket låga kanaler kan vara lämpligt att öka tvärsnittsarean något utöver vad tabellen anger.

Med hänsyn till risken för kondensering av rökgas är det dock, särskilt vid eldning med flytande bränslen, angeläget att en röckkanals tvärsnittsarea inte väljs för stor. I röckkanaler från eldstäder där såväl flytande som fasta bränslen normalt kan komma till användning kan kondensproblem befaras uppstå. I sådana fall kan övervägas att anordna två röckkanaler, varav en anpassad för eldning med flytande bränsle och en för eldning med fast bränsle.

:1312 K För en anläggning med en tillförd effekt mellan 60 och 1200 kW kan vid överslagsmässig beräkning av en röckkanals tvärsnittsarea följande formel ge vissa riktvärden. Värdena är dock endast tillämpliga om skorstenshöjden överstiger 10 m.

$$A = k \frac{P}{\sqrt{h}}$$

Beteckningar:

A röckkanalens tvärsnittsarea i cm² vid en sotbeläggning av 5 mm på kanalväggarna

P maximal effekt i kW

h röckkanalens höjd i m

k koefficient. För en röckkanal av tegel eller annat material med rå yta ges koefficienten värdet 17. För en röckkanal med släta innerytor (t ex en kanal av stål eller gjutjärn) och cirkulärt tvärsnitt ges koefficienten värdet 13.

För en röckkanal till en anläggning med en tillförd effekt som är större än 1200 kW är det mindre lämpligt med självdrag.

:132 K **Röckkanal för forcerat drag**

Den godtagna dimensionerande rökgashastigheten vid högsta belastning har höjts från tidigare 20 m/s till 25 m/s.

Vad som sägs om dimensionerande rökgashastighet avser kanaler med släta innerytor, t ex kanaler av stålplåt. För en kanal med ojämna innerytor, t ex en murad kanal, är det i praktiken svårt att åstadkomma en så hög rökgashastighet att en godtagbar självrensning erhålls. För en murad kanal bör därför den dimensionerande hastigheten avgöras från fall till fall.

:14 K **Beständighet och täthet**

:141 K **Material**

Vad i SBN 44:141 föreskrivs innebär bl a att en kanalvägg som vetter mot det fria måste utföras av ett frostresistent material; vidare att en kanalvägg ovan yttertak måste förses med en mot de klimatiska förhållandena och rökgasernas aggressivitet lämplig avtäckning och eventuell beklädnad.

:142 K **Täthet**

Kravet enligt SBN 44:142 på röckkanalers och förbindelsekanalers täthet gäller även anslutningar mellan dessa kanaler.