

RAPPORT

Karl-Olof Widell

Stoftavskiljare för snickeri- industrins pannanläggningar

En handledning vid valet

Träteknik

Karl-Olof Widell

STOFTAVSKILJARE FÖR SNICKERIINDUSTRINS PANNANLÄGGNINGAR
– En handledning vid valet

Träteknik, Rapport P 9302014

ISSN 1102 – 1071

ISRN TRÄTEK – R – – 93/014 – – SE

Nyckelord

*burners
combustion equipment
dust separators
forest industries
residues*

Jönköping februari 1993

Rapporter från Träteck — Institutet för träteknisk forskning — är kompletta sammanställningar av forskningsresultat eller översikter, utvecklingar och studier. Publicerade rapporter betecknas med I eller P och numreras tillsammans med alla utgåvor från Träteck i löpande följd.

Citat tillåtes om källan anges.

Reports issued by the Swedish Institute for Wood Technology Research comprise complete accounts for research results, or summaries, surveys and studies. Published reports bear the designation I or P and are numbered in consecutive order together with all the other publications from the Institute.

Extracts from the text may be reproduced provided the source is acknowledged.

Träteck — Institutet för träteknisk forskning — betjänar de fem industrigrenarna sågverk, trämanufaktur (snickeri-, trähus-, möbel- och övrig träförädlingsindustri), träfiberskivor, spånskivor och plywood. Ett avtal om forskning och utveckling mellan industrin och Nutek utgör grunden för verksamheten som utförs med egna, samverkande och externa resurser. Träteck har forskningsenheter i Stockholm, Jönköping och Skellefteå.

The Swedish Institute for Wood Technology Research serves the five branches of the industry: sawmills, manufacturing (joinery, wooden houses, furniture and other woodworking plants), fibre board, particle board and plywood. A research and development agreement between the industry and the Swedish National Board for Industrial and Technical Development forms the basis for the Institute's activities. The Institute utilises its own resources as well as those of its collaborators and other outside bodies. Our research units are located in Stockholm, Jönköping and Skellefteå.

	1
INNEHÅLL	
	Sid
INLEDNING	3
BAKGRUND	3
BRÄNSLEN OCH DERAS EGENSKAPER	4
PANNOR OCH ELDNING	6
Förbränningen och dess kemi	6
Eldningsanordningar	8
Pantryper	11
FÖRBRÄNNINGSRESTER	12
Aska	12
Kondenserande beståndsdelar	12
Gasformiga rester	13
ALLMÄNT OM STOFTAVSKILJNING	13
Stoftets egenskaper	13
Avskiljningsgrad	15
Emissionskrav	17
STOFTAVSKILJARE	18
Grundtyper och deras egenskaper	18
Dynamiska avskiljare	18
Textilfilter	19
Våtavskiljare	20
Elektrofilter	21
Tekniska tillämpningar	22
Multicykloner	22
Slangfilter	24
Kaskadskrubber	26
Venturiskrubber	26
Dyskammaravskiljare	27

Våtbäddavskiljare	28
Elfilter	29
Användningsområden	31
Multicykloner	32
Slangfilter	33
Elfilter	35
Tillämpningar med värmeåtervinning	36
Driftgenskaper och underhåll	37
Dynamiska avskiljare	37
Textilfilter	38
Våtavskiljare	40
Elfilter	41
SYSTEM FÖR ASKHANTERING	42
ANLÄGGNINGSKOSTNADER	44
KOSTNADER FÖR DRIFT OCH UNDERHÅLL	46
DRIFTSÄKERHET	48
Multicykloner	49
Slangfilter	49
Elfilter	50
VAL AV AVSKILJARE	51
Multicyklon	51
Slangfilter	52
Våtavskiljare	53
Elfilter	54
REFERENSER	55
BILAGOR	
1. Basuppgifter för förfrågan	56
2.1 Checklista multicyklon	57
2.2 Checklista slangfilter	58
2.3 Checklista våtavskiljare	59
2.4 Checklista elfilter	60
3. Leverantörslista	61

INLEDNING

I denna rapport beskrivs olika typer av stoftavskiljare som är användbara för att minska stoftutsläppen från träindustrins pannanläggningar. Materialet är framtaget inom projektet "Trä och den yttre miljön" vilket är ett samarbetsprojekt där omkring 25 träindustriföretag har deltagit i arbetet kring de idag för träindustrin aktuella miljöfrågorna. Information och dokumentation har spridits till deltagarna inom projektet. Information som är av allmänt intresse för träindustrin har även givits ut som Trätekrapporter. Materialet i denna rapport är sammanställt och skrivet av Ebbe Danielsson, Ångpanneföreningen (ÅF) i Malmö, och har slutredigerats vid Träteck i Jönköping.

BAKGRUND

Att elda trä för att hålla huset varmt och för att slippa frysa är naturligt i vårt kalla klimat. De tider då inget annat bränsle fanns för många, är inte alltför avlägsna. Sedan gick det många år och bränslemarknaden förändrades med tiden. Idag är våra skogar i första hand en industriell tillgång. Skogen utnyttjas rationellt och blir virke och papper. Dessvärre får man mycket avfall från trädets avverkning till den förädlade produkten. Skogsavfall blir bränsle. Sågverksavfall blir bränsle och spånprodukter. Träbearbetning ger avfall som bränns och just där skall vi knyta an med denna handledning.

Man får idag inte längre elda träbränslen på annat sätt än i spisar utan att rena förbränningsgaserna. Naturvårdsverket har gett ut anvisningar om hur mycket fasta partiklar (kallas stoft eller flygaska) man får släppa ut efter förbränning. Anvisningarna tillämpas av myndigheter med uppgift att pröva om eldning kan tillåtas och att fastlägga villkor för det tillstånd som krävs. I en del fall fordras inte tillstånd utan det räcker om man anmäler sin avsikt, varefter myndigheterna utfärdar "råd" för verksamheten.

Antingen man har fått tillstånd eller råd för sin förbränningsanläggning behöver man undantagslöst en stoftavskiljare. Den process man kallar förbränning är bara i teorin bestämd så att rökgasens sammansättning är någorlunda väldefinierad. När man skall välja stoftavskiljare till sin förbränningsanläggning måste man ta hänsyn till en mängd faktorer förknippade med förbränningsprocessen. Det räcker inte att känna till olika stoftavskiljare och välja någon man anser ha goda avskiljningsegenskaper. Det är mycket väsentligt att stoftavskiljaren anpassas till de speciella krav som gäller för den just aktuella anläggningen. Därför innehåller denna handledning avsnitt av grundläggande karaktär så att läsaren själv kan bilda sig en uppfattning om vilka egenskaper i den egna anläggningen som får betydelse vid valet av stoftavskiljare.

BRÄNSLEN OCH DERAS EGENSKAPER

Bränsle från snickeriindustrier, som använder sig av torkat virke, skivor eller board har i regel sitt ursprung i landet. Trädslagen är gran, fur, björk m fl lövträslag.

Importerat lövträ (bok, etc) är inte ovanligt. Väsentliga skillnader mellan trädslagen från kemisk/strukturell synpunkt finns egentligen inte eftersom bränslena härrör från stamveden.

Inverkan av bark (näver), barr, rotdelar m m kan man bortse från.

För de tre vanligaste trädslagen (gran, tall och björk) kan man ange följande s k elementaranalys:

Kol	(C)	50	viktsprocent
Väte	(H)	6,2	"
Syre	(O)	43	"
Kväve	(N)	0,4	"
Aska		0,4	"

Andelarna gäller för helt torrt prov. Askhalten i det träavfall som används som bränsle kan vara större om främmande ämnen förekommer i industriprocessen (hartser, plaster, färger, impregneringsmedel) och om bränslet vid hanteringen blir "förorenat".

Bränslets värmevärde, som är ett mått på den värmeenergi man kan tillgodogöra sig ur bränslet, är också i stort sett lika för de aktuella träprodukterna. Givetvis måste värmevärdet då mätas per kilogram bränsle. Vanlig enhet är MJ/kg. Det **effektiva värmevärdet**, H_u , är den värme som frigörs vid förbränning reducerat med den värme som bortgår med vattenångan i rökgasen. H_u varierar med bränslets vattenhalt (fukthalt, F). Typiska värden är:

F (% vikt)	H_u (MJ/kg)
0	19,0
5	17,9
10	16,8
20	14,7
40	10,4

Träbränsle mäts ofta i kubikmeter, m^3 . Värmevärdet bestäms på laboratorium för en given viktsmängd. Om man önskar räkna om värmevärdet till volymmått, m^3 , måste man känna densiteten, vikten av $1 m^3$. Varje bränsleslag har sin densitet, varje fraktion har sin, hårt packat bränsle har sin osv.

Var och en kan i sin anläggning erfarenhetsmässigt lägga fast ett ungefärligt värde på densiteten på sin bränsleblandning och räkna med detta värde. Jämförelser med andra bränslen med annat utseende, kanske annan fukthalt etc bör man vara försiktig med.

Träbränsle kan bestå av flera fraktioner samtidigt i mer eller mindre fullständig blandning. Bränslet kan innehålla slispån, sågspån, kutterspån, flisade virkesrester, klossar osv. Mängderna av de olika fraktionerna påverkar eldningen, bestämmer valet av eldningsutrustning och inverkar också på valet av stoftavskiljare och t ex på mängden (halten) stoft i rökgasen. Detta innebär att valet av stoftavskiljare för en träbränsleeldad anläggning många gånger börjar med frågor kring det bränsle man har eller kommer att elda med.

Torrt trä tänds lätt och brinner häftigt i synnerhet om styckena är små. Slipdamm brinner nästan som en kondenserad gas, sågspån brinner svävande i en gasström medan något större stycken pyr under gasutveckling. Gasen i sin tur brinner med det syre som står till förfogande. Dessa träets olika sätt att brinna får till följd att valet av utrustning för förbränning och panna mycket ofta blir kompromisser, mer eller mindre lyckade.

Fuktigt trä skall torka innan det börjar förgasas och brinner. Detta tar tid varför förbränningen förlöper långsammare, ibland så att bränsledelar inte brinner fullständigt. Följden blir att askan i eldstaden och stoftet i rökgasen innehåller mer oförbrända partiklar än normalt. Genom att ge eldstaden en utformning som väl överensstämmer med bränslets fysikaliska tillstånd kan man dock ändå åstadkomma en nära nog fullständig förbränning.

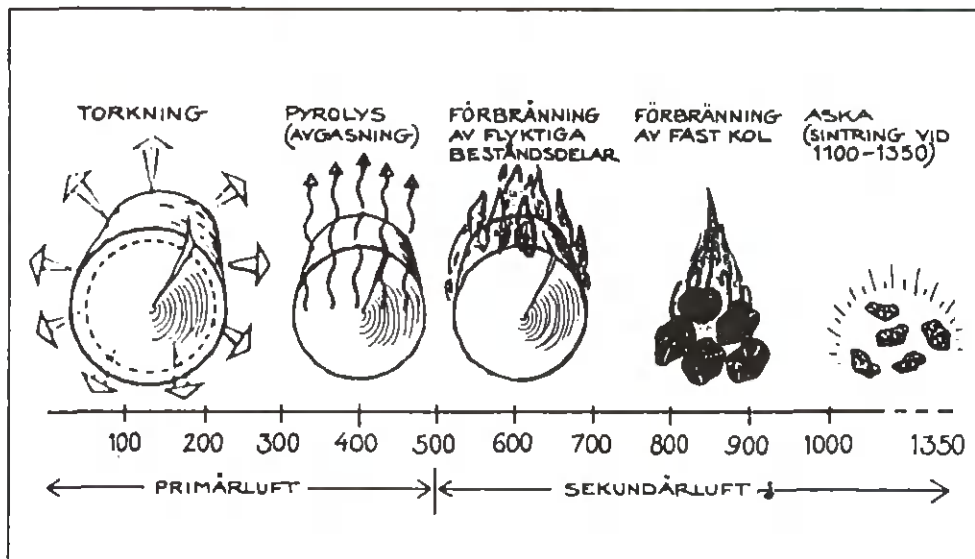
PANNOR OCH ELDNING

Förbränningen och dess kemi

Alla typer av träbränslen genomgår vid förbränningen i eldstaden i princip fyra faser innan de avgår som förbränningsprodukter i form av rökgaser och aska, nämligen:

- torkning
- förgasning (pyrolys)
- gasförbränning
- slutförbränning av kol

Principen framgår av figur 1.



Figur 1. Förbränningsfaser för fasta bränslen.

Betydelsen av de olika faserna varierar med bränslet och torkning behövs givetvis endast om bränslet är fuktigt. Man brukar säga att den egentliga förbränningen kan äga rum först när fukthalten sänkts till ca 10%.

Som tidigare nämnts är ett träbränsle sällan homogent utan består av olika fraktioner och blandningar. Detta betyder i praktiken att man får förskjutningar i den teoretiska uppdelningen av förbränningsfaserna oavsett om bränslet tillförs satsvis eller kontinuerligt.

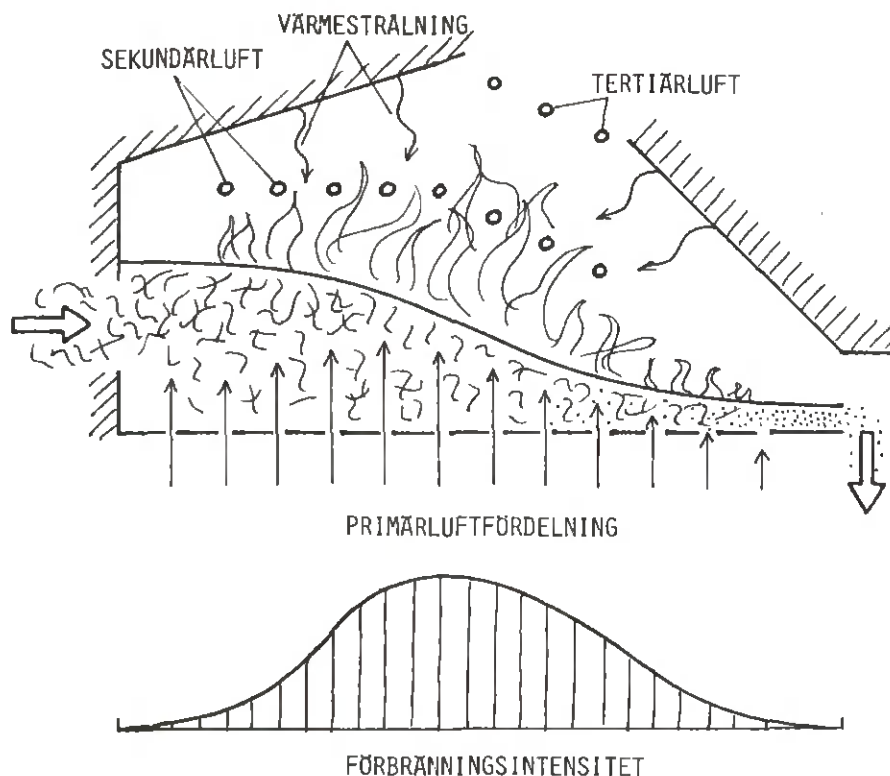
Förbränning är en oxidationsprocess där värme frigörs. Den brännbara substansen i bränslet utgörs av kol (C) och väte (H), som vid reaktion med luftens syre övergår till koldioxid (CO_2) och vattenånga (H_2O). En förutsättning för att förbränning skall komma tillstånd är således att luft kan tillföras på lämpligt sätt.

Med kännedom om bränslets kemiska sammansättning kan luftbehovet beräknas. Idealfallet vore om man kunde tillföra exakt teoretisk mängd luft för att uppnå ovan angivna reaktionssamband (sk stökiometrisk förbränning). Tyvärr är detta i praktiken omöjligt p g a att bränslet inte är homogent och att luften inte kan fördelas med tillräcklig precision.

Förbränningen måste därför alltid ske med ett visst luftöverskott för att den skall bli fullständig, dvs att allt kol omvandlas till koldioxid och allt väte till vattenånga.

Luft innehåller ca 21% syre. Resten är i huvudsak kväve. Allt kväve och det extra syret utgör en onödig barlast som inte deltar i förbränningen utan istället "stjäl" värme från pannan. Luftöverskottets storlek kan sägas vara ett mått på förbränningens kvalitet. Förbränningsluften måste tillföras på rätta ställen och

fördelas till bränsle och eldstad. Man talar om primärluft och sekundärluft, ibland även om tertiärluft.



Figur 2. Principen för lufttillförsel.

Med primärluften reglerar man bränslets torkning, förgasning och en del av kolförbränningen. Sekundärluften tar hand om gasförbränningen och slutförbränningen av det fasta kolet. Om man inte kan uppnå en effektiv omblandning av gas och sekundärluft tvingas man i vissa fall tillsätta tertiärluft högre upp i eldstaden.

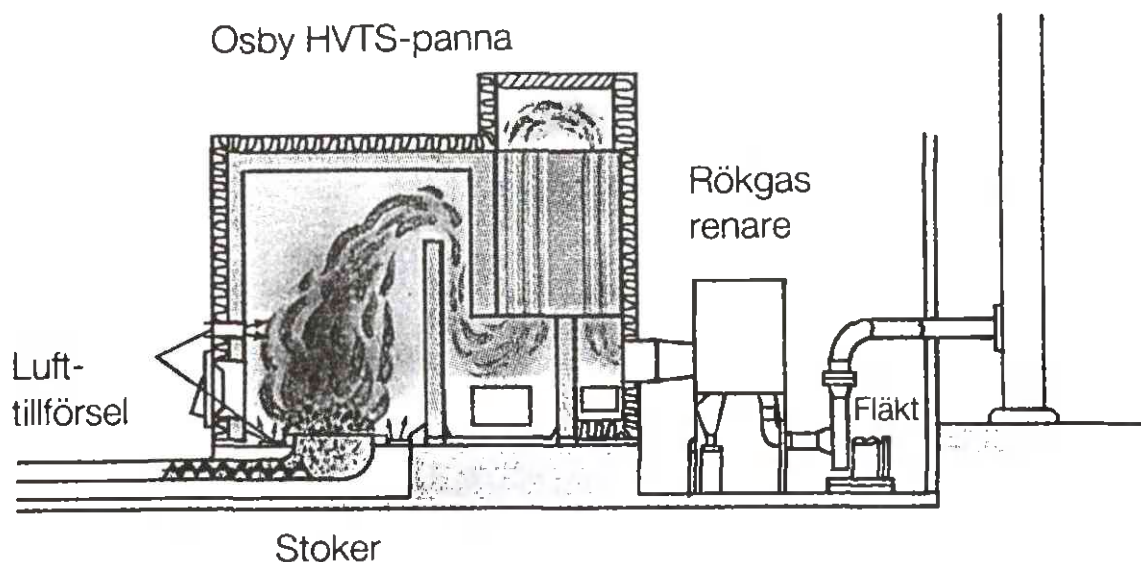
Enligt föregående bildas koldioxid (CO_2) vid förbränningen. Vid en fullständig förbränning utan luftöverskott är CO_2 -halten för träbränsle ca 20 volymprocent av den torra rökgasen. Vid stigande luftöverskott sjunker CO_2 -halten och denna kan användas som ett mått på förbränningens effektivitet. Alternativt kan man även mäta syrehalten (O_2) i rökgaserna och låta mätvärdet styra förbränningen.

Om man inte lyckas uppnå fullständig förbränning, vilket kan ske om man snålar med lufttillförseln eller om blandningen är mindre god, bildas även koldioxid (CO). Detta innebär slöseri med bränsle. 1% CO i rökgaserna motsvarar ca 5% oförbränt bränsle. Halterna av CO_2 och CO i den torra rökgasen används som ett mått vid beräkning av rökgasförlusten.

Eldningsanordningar

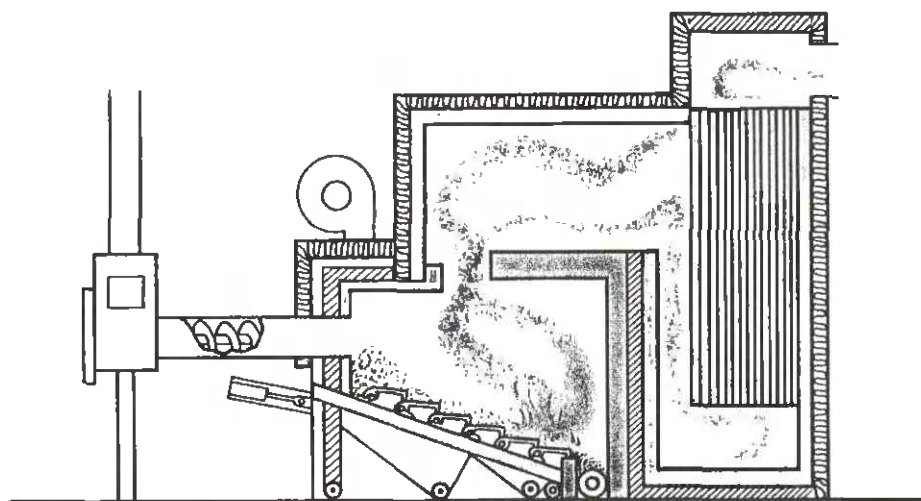
Avgörande för valet av eldningsanläggning är bränslets sammansättning och fukthalt. I det effektområde som här avses, 0,5–10 MW, kan utrustningen vara ganska enkel men utformningen måste anpassas till bränslet. Olika principer gäller för eldstaden vid torrt respektive fuktigt bränsle.

I det enklaste fallet med torrt bränsle kan man elda direkt i pannan. Pannans eldstad får en låg temperatur på grund av de vattenkylda väggarna, men detta är enbart till fördel då bl a asksmältningsproblem annars skulle kunna uppstå.



Figur 3. Eldstad för torrt bränsle.

Försöker man elda fuktigt bränsle på detta sätt blir däremot förbränningstemperaturen för låg på grund av kyleffekten från pannväggarna. Därför måste eldstaden muras in och förbränningsluften dessutom förvärmas vid höga fukthalter.



Figur 4. Eldstad för fuktigt bränsle.

Om man vill uppnå ett optimalt förbränningsresultat med ett minimum av aska och stoft är rätt dimensionering och utformning av eldstaden liksom en riklig tillförsel av förbränningsluft enligt de principer som tidigare angivits av avgörande betydelse. Kriterier som måste beaktas är exempelvis rostbelastning samt eldstadens volym- och ytbelastning. Eftersom strävan skall vara att all förbränning är slutförd innan rökgaserna lämnar eldstaden är dess form väsentlig. Vidare måste eldstaden vara så stor att rökgastemperaturen snabbt blir lägre än askans mjuknings- respektive smälttemperatur, eftersom det annars finns risk för igensättning av pannans eldytor.

De eldningsutrustningar som är aktuella för snickeriavfall är **fasta eller rörliga rostar**. En försvårande faktor är att bränslet inte är homogent. Bränslebädden får därför olika täthet och vissa partier brinner snabbare. Resultatet kan bli partiellt hög rosttemperatur och genomblåsning av primärluft med medryckning av partiklar ut ur eldstaden som följd. En homogenisering av bränslet eller en förädling till exempelvis briketter skulle väsentligt förbättra eldningsresultatet till fördel för såväl panna som efterföljande stoftavskiljare.

Den enklaste och vanligaste eldningsanordningen för mindre anläggningar är **den undermatade planrosten**. Bränslet matas in med skruv, ibland kallad stokerskruv, och pressas upp i en "gryta", s k retort, samt väller ut på en planrost. Utrustningen härstammar från gamla tiders koleldning där rosttypen benämndes stoker. Principen framgår av figur 3.

En nackdel med denna typ är att bottenaskan måste rakas ut manuellt. Vid "rena" bränslen och små anläggningar torde dock detta kunna accepteras. En förbättring kan åstadkommas genom placering av en askutmatningsskruv vid sidan av eldstaden. Till skruven rakas askan manuellt.

Om uraskning måste ske under drift störs förbränningsförloppet genom den luft som strömmar in genom askluckorna. Detta kan tillfälligt öka stoftbelastningen. En viss självverkan kan erhållas genom lutning av rosten så att askan trycks bakåt för att slutligen falla ned i ett askfack där askutmatningsskruv kan placeras.

Vid de mindre anläggningarna styrs panneffekten ofta genom en enkel s k on/offreglering. Detta ger totalt sett ett ganska dåligt förbränningsförlopp med momentant ökad stoftmängd samt rökutveckling.

För något större anläggningar där särskild vikt läggs vid automatisering och betjäningsfrihet kan även **en helmekanisk trapprost** väljas. Rosten består då av luftkylda rörliga roststavar som successivt matar fram bränslet. Denna rosttyp är dock främst för fuktiga och askrika bränslen. Till fördelarna hör att man bättre kan anpassa eldningen till effektbehovet och att askutmatningen kan automatiseras. Den rörliga rosten är även användbar vid eldning med briketter. De större anläggningarna medger som regel en mer utvecklad reglerutrustning för optimering och övervakning av förbränningen. Ett exempel på en rörlig rost visas i figur 4.

Panntyper

Efter fabrikenes värmebehov kan en panna väljas för varmvatten, hetvatten eller ånga. Det förhållandet att torrt bränsle kan eldas direkt i botten av pannan förenklar och förbilligar anläggningen totalt sett.

Förekommande panntyper kan indelas på flera sätt efter t ex vatteninnehåll, tillverkningsätt eller cirkulationsprincip.

Konstruktionsmässigt kan man särskilja följande panntyper:

- gjutna pannor
- svetsade (smidda) pannor
- rökrörspannor
- eldrörspannor
- vattenrörspannor

Vissa kombinationer av dessa kan även förekomma.

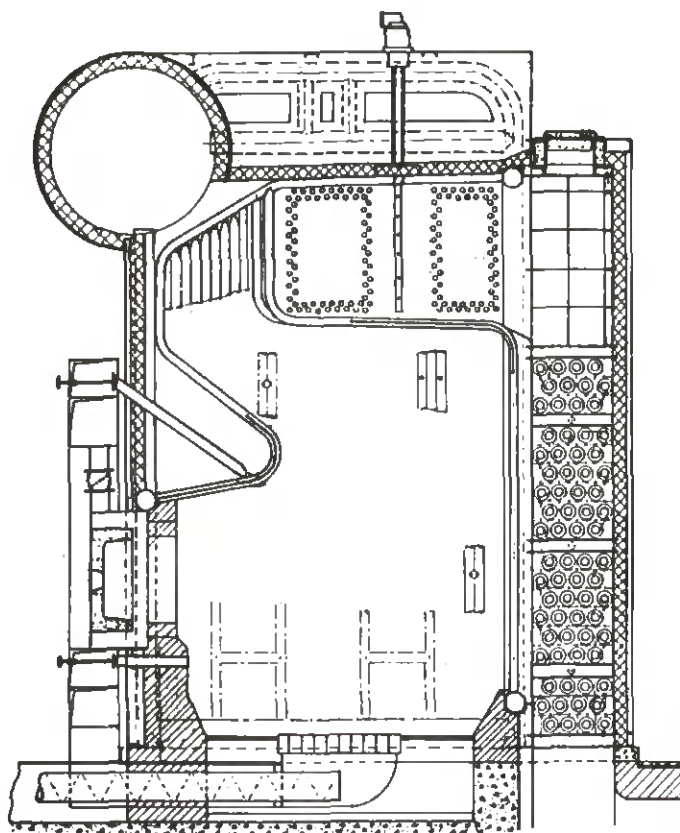
För varm- och hetvatten i kombination med träbränsle dominerar gjutna och svetsade pannor i effektområden upp till ca 2 500 respektive 7 000 kW. I det högre effektregistret förekommer ofta vattenrörspannor.

För ångproduktion används eldrör- och vattenrörspannor eller kombinationer vattenrör- och rökrörspannor.

Ett exempel på en svetsad varmvatten- hetvattenpanna (kallas ibland lådpanna) med vertikala rökrör visas i figur 4 medan figur 5 visar en vattenrörångpanna för snickeriavfall.

Av bilderna framgår att eldstaden kan vara separat, s k förugn, eller en del av pannan. Vad som väljs i det enskilda fallet beror på bränsleslag, eldningsutrustning och panntyp.

Vikten av en riktig eldstadsutformning har tidigare framhållits men även pannans uppbyggnad är av betydelse. Gasvägarna och värmeytorna skall t ex vara så arrangerade att stoftanhopningar i görligaste mån undviks samt att pannan kan hållas ren under drift, vilket är till fördel för rökgasreningen.



Figur 5. Vattenrörångpanna.

FÖRBRÄNNINGSRESTER

Aska

Den naturliga askandelen är låg i träbränslen men kan öka med främmande ämnen. Askan är i sig själv obrännbar men är uppblandad med större eller mindre andelar oförbränt bränsle, beroende på hur effektiv förbränningen varit.

När bränslet förbränns i eldstaden faller askan ut som bottenaska eller flygaska. Fördelningen beror på bränsleslag och eldningsprincip. Som namnet säger faller bottenaskan ut på eldstadens botten medan flygaskan följer med rökgasen. Under flygaskans väg genom pannan fastnar en del på de värmeupptagande ytorna. Då värmeupptagningsförmågan därvid försämras stiger rökgastemperaturen och beläggningen måste i görligaste mån avlägsnas. Detta kan under drift göras med speciella sotningsutrustningar. Om sådana saknas måste anläggningen ställas av och rensas manuellt med jämna intervaller.

Askans fysikaliska egenskaper beror bl a på dess sammansättning och kan till viss del testas i laboratorieskala. De kemiska egenskaperna kan ibland vålla problem och en kemisk analys kan då ofta vara till vägledning.

Kondenserande beståndsdelar

Som framgått av avsnittet om förbränning bildas alltid vattenånga när ett bränsle brinner. En faktor som i vissa fall måste beaktas är rökgasernas vattendaggpunkt och risken för korrosion i en pannas kallare delar.

Vattendaggpunkten i rökgaser är i allmänhet låg men höjs om bränslet innehåller mer svavel eller salter än normalt. I sådana fall undviker man nedkylning av rökgasen för att förhindra att vatten fälls ut på pannans värmeytor.

Ett träbränsle är normalt fritt från skadliga ämnen, varför man i princip kan kyla rökgaserna så att det bundna värmets i vattenångan kan tas till vara. För att detta skall vara lönsamt måste dock bränslet ha en hög vattenhalt.

Om förbränningen i en eldstad sker vid för låg temperatur brinner inte alla ämnen som bildas vid bränslets förgasning. Det finns tjärämnen som på grund av sin höga kokpunkt kondenserar både på pannans eldytor och senare i rökgasrenaren. Verkan av sådana ämnen kan vara förödande och det är helt nödvändigt att hålla så hög gastemperatur i eldstaden att de brinner bort fullständigt.

Gasformiga rester

Rökgaserna vid förbränning av träbränsle består av koldioxid (CO_2), vattenånga (H_2O) och kväve (N_2). Vid ofullständig förbränning tillkommer dessutom koloxid (CO) och vissa kolväten. Genom medverkan av i huvudsak luftens kväve bildas även vid all förbränning kväveoxider.

Med kännedom om bränsleanalys och luftöverskott kan rökgasmängden och respektive gaskomponent beräknas. Om vattendelen medräknas talar man om fuktig gas. Ofta räknar man dock om till torr rökgas, dvs med vattnet frånräknat, beroende på att man vid en rökgasanalys erhåller värden relaterade till den torra gasen.

ALLMÄNT OM STOFTAVSKILJNING

Stoftets egenskaper

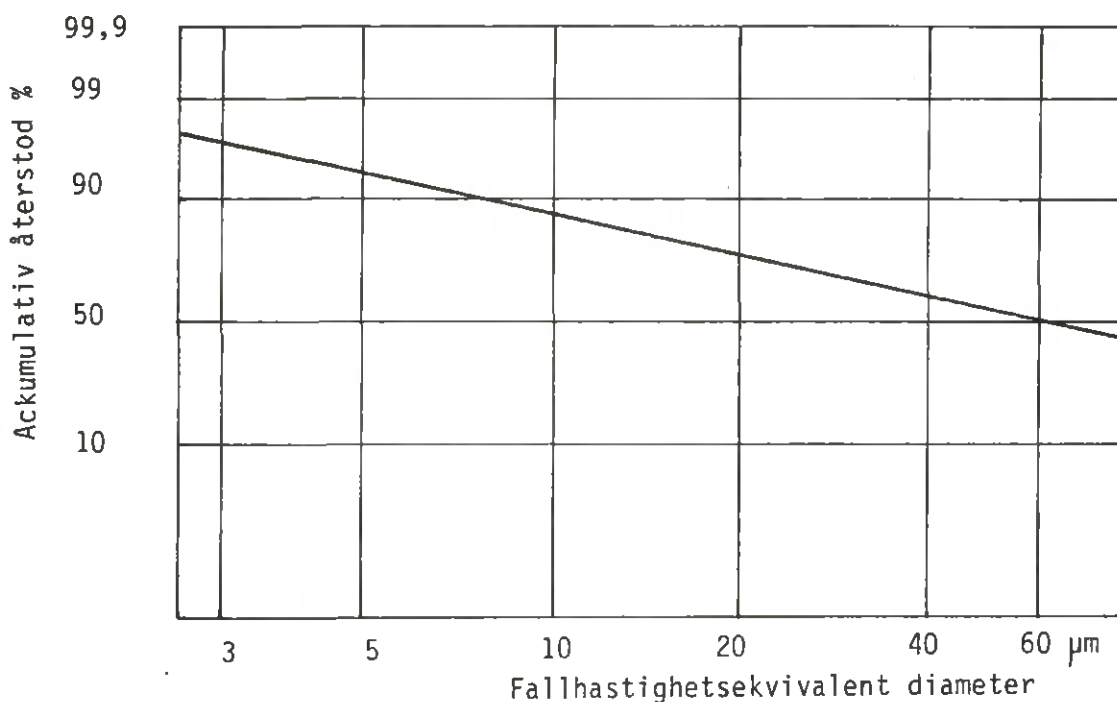
Stoftet från förbränningen består av:

- oxider från de mineraliska beståndsdelarna i vedstrukturen,
- sand, jord, mineraler från färger och plaster m fl "föroreningar" och
- oförbrända men brännbara delar.

Små mängder sot (mikroskopiska kolpartiklar) finns också i stoftet. De oförbrända bränsledeparerna är oftast små träkolpartiklar, dvs träpartiklarna har "föregasats" men sedan fått för litet syre och/eller inte varit tillräckligt varma för att brinna. Ibland är den helt övervägande delen av stoftet oförbränd och om glödande partiklar följer med kan flygaskan börja brinna (eller glöda). I värsta fall uppstår brand.

I allra bästa fall, vid en riktig och fullständig förbränning, utgörs flygaskan av ett grått finkornigt pulver. Sådant stoft är svårt att avskilja. Små partiklar är alltid svårare att fånga upp än stora oberoende av vilken typ av avskiljare man betraktar. Finkornigt stoft från en pannanläggning förekommer som regel i mindre mängd än grovkornigt.

För att beskriva hur ett stoft ser ut använder man sig av s k partikel-fördelningsdiagram, ibland kallade återstodskurvor. Namnet återstodskurva kommer från att kurvan kan bestämmas medelst siktning genom trådsiktar med olika maskvidder. Den mängd stoft som inte faller igenom en sikt är en återstod, som vägs och räknas om till procent av hela den siktade stoftmängden. Ett diagram ritas upp med återstodsprocent på y-axeln och partikelstorleken (ibland maskvidden) på x-axeln.



Figur 6. Exempel på partikelfördelning för stoft från träeldning.

Det finns några olika metoder att bestämma partikelstorleken. Oftast talar man om fallhastighetsekvivalent diameter (dvs hur snabbt en partikel av en viss storlek faller), som använts i det valda exemplet enligt figur 6.

Ibland hänvisar tillverkare av stoftavskiljare till en svensk standard (SMS 2027

Referenskurvor för stoft) och knyter sina garantier till någon av standardens referenskurvor. Man bortser då från ändamålet med standarden vilket är formulerat på standardens första sida på följande sätt:

"Standarden är avsedd att användas för beräkning av totalavskiljningsgrader för stoftavskiljare och att utgöra underlag vid jämförelser mellan stoftavskiljare av olika fabrikat".

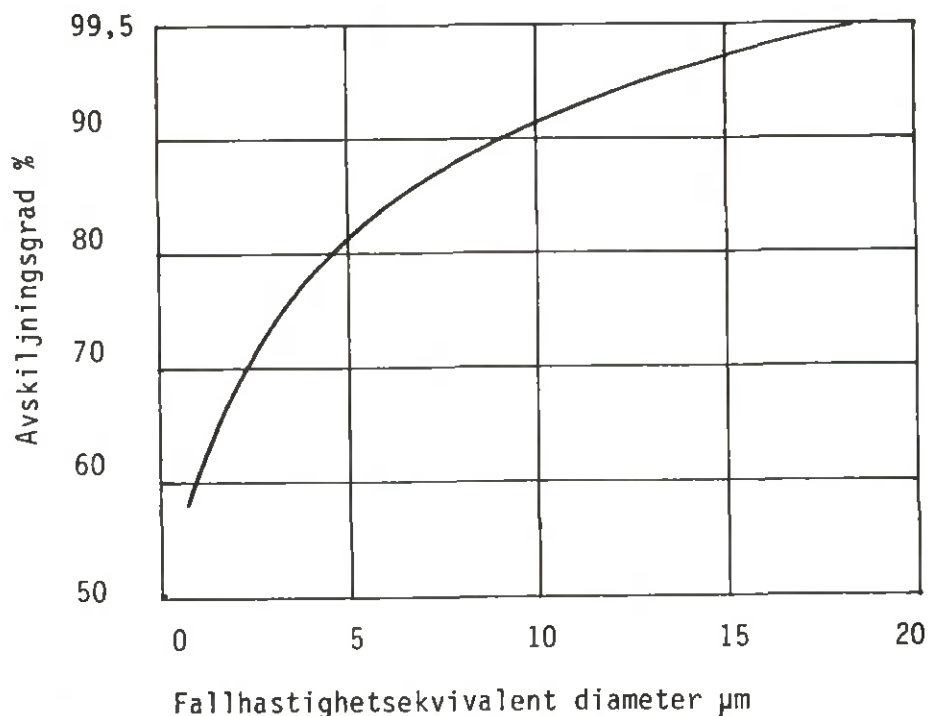
Därmed är man inne på nästa viktiga avsnitt.

Avskiljningsgrad

Avskiljningsgraden hos en stoftavskiljare definieras som kvoten mellan avskilt stoft och total stoftmängd före avskiljaren. Vanligen bestämmer man efter mätningar en stofthalt i rågasen (före avskiljaren) och en stofthalt efter avskiljaren. Avskiljningsgraden blir då

$$h = \frac{\text{stofthalt före} - \text{stofthalt efter}}{\text{stofthalt före}} \cdot 100\%$$

Man kan ange typiska avskiljningsgrader för alla slag av avskiljare eller man kan nämna intervall som man vanligen ligger inom. Avskiljningsgraden för en avskiljare kan aldrig anges i förväg och utan mätning om man inte känner det aktuella stoftets partikelfördelning. Olika stora och tunga partiklar har olika benägenhet att kvarhållas i avskiljaren. Man talar om fraktionsavskiljningsgrader, som då gäller inom givna kornstorleksområden eller vid vissa kornstorlekar. Figur 7 visar ett exempel på fraktionsavskiljningsgrader för ett multicyklonaggregat (dynamisk stoftavskiljare). Likartade kurvor kan ritas upp även för andra avskiljartyper. Utseendena skiljer sig dock ganska mycket.



Figur 7. Exempel på fraktionsavskiljningsgradens variation med partikeldiametern för multicykloner.

En avskiljare med måttligt hög avskiljningsgrad kan i en anläggning med stor koncentration av ganska stora partiklar ge en för avskiljartypen mycket hög totalverkningsgrad, låt säga 95 %. Ändå kan det visa sig att utsläppet blir större än det garanterade därför att koncentrationen är stor. Låt oss konstruera ett par tillämpningsexempel.

Fall A:

I en anläggning tog man efter förbränning i pannan ut ett stoftprov som analyserades med avseende på kornstorleksfördelningen. Man hade tidigare mätt upp stoftkoncentrationen i rågasen till 5 g/m³(n) torr gas. Totalavskiljningsgraden beräknades ur kornstorleksfördelning och kurva över fraktionsavskiljningsgraden till 92 %. Emissionskravet var 350 mg/m³(n) torr gas.

$$h = \frac{\text{Konc. före} - \text{Konc. efter}}{\text{Konc. före}} \cdot 100 \%$$

$$92 = \frac{5000 - C_e}{5000} \cdot 100$$

$$C_e = 5000 - \frac{92 \cdot 5000}{100} = 400$$

$$C_e = 400 \text{ mg/m}^3(\text{n}) \text{ torr gas}$$

Denna koncentration är större än den tillåtna $350 \text{ mg/m}^3(\text{n})$ torr gas.

Fall B:

På samma sätt hade man i en annan anläggning funnit att stoftkoncentrationen före avskiljaren var 2 g/m^3 torr gas. Totalavskiljningsgraden beräknades till 85 %. Som förut får man

$$85 = \frac{2000 - C_e}{100} \cdot 100$$

$$C_e = 2000 - \frac{85 \cdot 2000}{100} = 300$$

$$C_e = 300 \text{ mg/m}^3(\text{n}) \text{ torr gas}$$

Denna koncentration ligger under emissionskravet trots att totalavskiljningsgraden är betydligt lägre.

Dessa enkla exempel belyser att man inte helt kan förlita sig till resultat som uppnåtts i en annan anläggning än den egna. Viktigt är också att notera att avskiljningsgraden för en stoftavskiljare på flera sätt är kopplad till karaktär och sammansättning hos stoftet.

Emissionskrav

I vårt land har man valt att inte uttrycka absoluta krav på utsläppens storlek. Statens naturvårdsverk har till uppgift att styra utvecklingen. Länsstyrelserna och de kommunala miljö- och hälsoskyddsnämndena står för tillsynen. Allt detta är stadgat och reglerat i Miljöskyddslagen (ML) och Miljöskyddsförordningen.

Statens naturvårdsverks "Allmänna råd 87:2" behandlar stoftutsläpp, skorstenhöjder och hantering av restprodukter. Från denna skrift citeras ur avsnittet "Begränsning av stoftutsläpp" följande:

"Utsläppet av stoft bör vid besiktning inte överstiga nedanstående utsläppsvärden. Med besiktning avses dels förstagångsbesiktning, dels återkommande besiktning. I de fall utsläppsgränsen överskrids skall besiktningen inte avslutas förrän anläggningen justerats så att tillåtet utsläppsvärde uppnås. De åtgärder som skall vidtas vid överskridande är således intrimning av reningsanläggningen, eventuell ombyggnad av denna eller installation av ny reningsanläggning om den befintliga utrustningen trots vidtagna åtgärder inte kan klara uppställda värden."

Det är betecknande att man i den inledande meningen använder ordet "bör" för att markera att inget absolut krav föreligger. I fortsättningen skärps tonen och "skall" används för att betona allvaret. Det viktigaste i detta sammanhang är att utsläppet av stoft tänkes bli bestämt vid besiktning, dvs vid ett tillfälle.

Stoftutsläppets storlek kan sedan bestämmas vid ytterligare tillfällen.

Emissionskraven är uttryckta som högsta tillåtna stofthalter i rökgasen vid mättillfället. Följden blir att utsläppet kan ligga på rätt sida om det tillåtna värdet vid en tidpunkt men på fel sida vid en annan.

Det bör noteras att länsstyrelsen beslutar om tillåten mängd stoftutsläpp i varje enskilt fall. De riktvärden som naturvårdsverket har lämnat om 350 mg stoft/m³ utom tätort och 100 mg stoft/m³ inom tätort är på inget sätt bindande för länsstyrelsen. Krav på utsläppsmängder under 100 mg stoft/m³ har förekommit.

Ibland talar man om månadsmedelvärden för emissionen. Det man då menar är den under en månad (30 dagar) totalt utsläppta stoftmängden dividerad med den under en månad utsläppta totala gasmängden. Månadsmedelvärden används numera inte så ofta eftersom sådana är svåra eller omöjliga att beräkna.

STOFTAVSKILJARE

Grundtyper och deras egenskaper

Stoftavskiljare kan indelas på olika vis. Här har följande indelning valts:

- Dynamiska avskiljare
- Textilfilter
- Våtavskiljare
- Elektrofilter

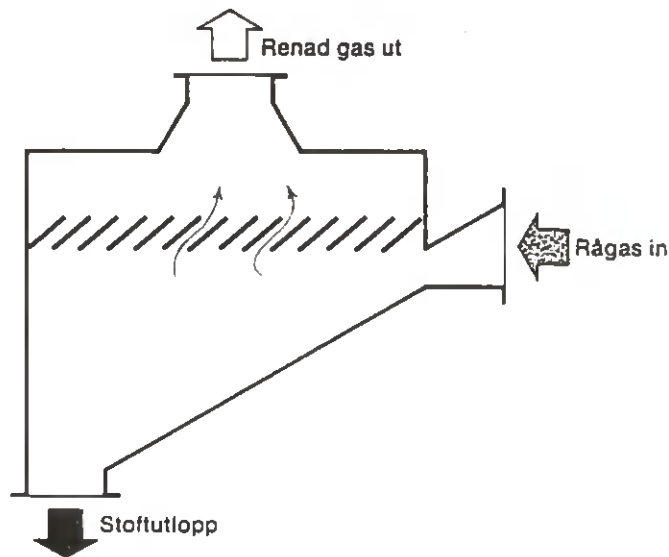
Dessa grundtyper skall beskrivas kort medan de tekniska tillämpningarna skall beskrivas mer ingående.

Dynamiska avskiljare

Benämningen kommer från att man tekniskt utnyttjar de krafter en stoftpartikel påverkas av då den är i rörelse. Krafterna är proportionella mot massan och hastighetens kvadrat men påverkas också av partikelns storlek, form och yta. Om en partikel har stor massa, hög hastighet, stor densitet och liten yta, är den lätt att avskilja i en dynamisk avskiljare. Ändrar sig dessa storheter åt motsatt håll försvåras avskiljningen.

Den vanligaste funktionsprincipen är följande. Gashastigheten ökas till 15 m/s eller mer. Gasströmmen omlänkas snabbt eller ges en rotationsrörelse i spiral. Partiklar anhopas pga masskrafterna och tvingas av gasströmmens riktning till botten av en tratt eller uppsamlingsficka. Cyklonen, ofta flera ihopbyggda till aggregat, är den vanligaste dynamiska avskiljaren. Fallkammaren är den

enklaste och i den utnyttjas bara tyngdkraften på partiklarna för att få dem att falla. I en gitteravskiljare som i figur 8 drar man nytta av både masskrafterna och tyngdkraften.



Figur 8. Gitteravskiljare.

Textilfilter

Alla textilfilter bygger på silverkan genom en duk som är vävd och/eller filtad av fibermaterial. Fibrerna kan vara naturfibrer som bomull och ull men vanligast är plaster av olika slag. Mycket temperaturlåga dukar görs av teflon och glasfiber, ibland kombinerade.

Filterduken formas till slangar eller sk kassetter, som sätts fast med löstagbara anordningar eller ramar. Gasen går som regel i riktning utifrån och in, dvs stoftet samlas på "utsidan". Denna är behandlad eller belagd så att stoftet i huvudsak fäster på dukens yta. En del fint stoft tränger ändå in i duken. Filtermaterial måste väljas med hänsyn till stoftets karaktär, gasens temperatur, fuktighet m m.

Filtermediet måste rensas regelbundet med ett antal minuters mellanrum. Rensningen är antingen tidsbestämd eller tryckfallsstyrd. Tid eller tryckfall ställs in efter erfarenhet eller provdrift.

Det finns flera rensningsmetoder. De vanliga är:

- skakning
- returspolning och
- pulsrensning

Dagens högeffektiva och ganska hårt flödesbelastade filter är nästan genomgående pulsrensade. Metoden innebär att en kort tryckluftpuls från

rengassidan påverkar filtermediet så att stoftkakan på rågassidan slås bort genom en hastig rörelse i filtermediet.

För rökgaser från träeldning kommer enbart pulsrensade slangfilter ifråga. Det har förekommit kommersiella försök med kassetfilter under gångna år men försöken har inte slagit väl ut. Inget seriöst svenskt företag erbjuder numera kassetfilter för stoft från träeldning.

Våtavskiljare

Så kallade våtavskiljare finns av många slag. De har naturligtvis alla gemensamt att vatten används i själva avskiljningsmomentet. Principen för våtavskiljarna är att vattnet bringas i intim kontakt med stoftpartiklarna i gasen under sådana betingelser att partiklarna häftar vid en våt yta. Den våta ytan kan vara en vattendimpartikel (mycket liten), en vattendroppe, vatten i rörelse eller våta kroppar (s k fyllkroppar). Typiska våtavskiljare är:

- dyskammare
- "dynamiska" våtavskiljare
- fyllkroppstorn
- kolonnavskiljare
- svävkroppsavskiljare

De effektivaste våtavskiljarna är de som har den största energiomsättningen. Med hjälp av ett stort energiflöde kan vatten och stoftpartiklar ges god möjlighet för kontakt. En sådan avskiljare är den s k venturiskrubbern, som är mycket effektiv men effektkrävande. En annan tämligen effektiv avskiljare är kaskadskrubbern. Övriga våtavskiljare är av lågenergityp.

Våtavskiljare har inte använts mycket på senare år eftersom man ansåg att konstruktionen överförde ett stoftemissionsproblem till ett vattenföroreningsproblem. Det fanns och finns kanske en större rädsla för oren vatten än för oren luft.

På senare tid har intresset för våtavskiljare ökat, främst av två skäl. För det första vill man kyla ner rökgaserna till närheten av deras vattendaggpunkt och på så sätt få ut mer värme ur rökgaserna. För det andra är det lika lätt att deponera ett urvattnat slam som det är att ta hand om från början torr aska, som måste befuktas för att inte damma vid hanteringen på deponeringsplatsen. Dessutom betyder de små vattenmängder som måste ledas till avlopp från en våtavskiljare inte nämnvärt mycket så länge det rör sig om mindre anläggningar för träbränslen.

Elektrofilter

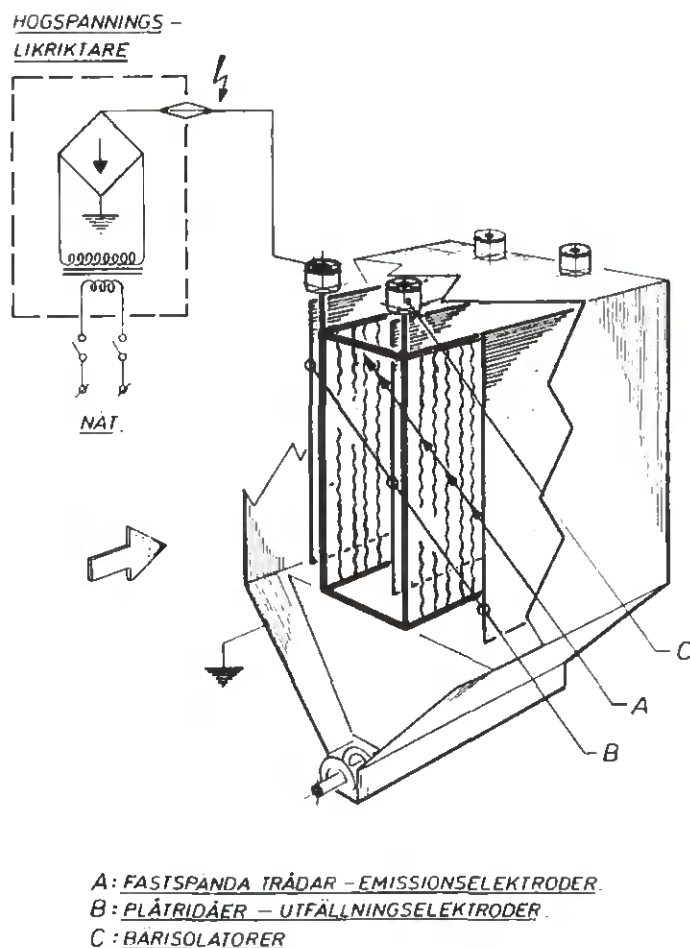
Elektrostatiska filter bygger på att elektriskt laddade, joniserade, partiklar, som befinner sig i ett elektriskt spänningsfält, vandrar mot en av elektroderna. Den

ena elektroden, emissionselektroden, är tråd- eller stavformad och oftast negativt laddad. Den andra elektroden, utfällningselektroden, utgörs av en närmast plan plåt, som normalt är positivt laddad och tillsammans med filterhöljet jordad. Elfiltrets principiella uppbyggnad visas förenklat i figur 9.

Utfällningselektroderna är i verkligheten flera plåtar i rader och mellan raderna sitter emissionselektroden som är många till antalet. Den samlade ytan på utfällningselektroderna är ett mått på filtrets flödeskapacitet.

Det avskilda stoftet fastnar på utfällningselektroderna. Små mängder stoft fastnar också på emissionselektroderna. Elektroden bankas efter behov (tidsstyrt) med hjälp av fallhammare. Stoftet faller ner i fickor under filtret och bortforslas med t ex en skruvtransportör.

Elfilter, som är den vanligaste benämningen, kan göras för mycket hög avskiljningsgrad. De blir i regel dyrare än andra stoftavskiljare.



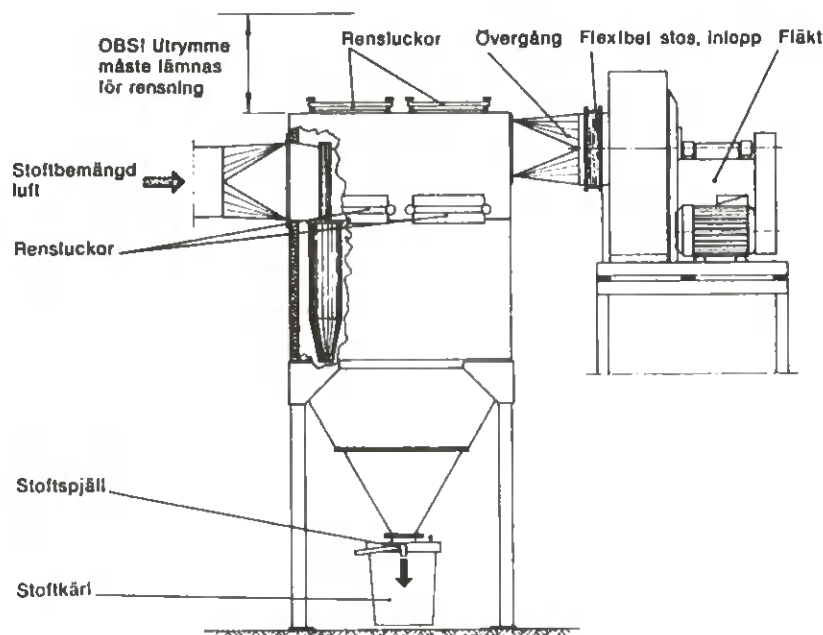
Figur 9. Elfiltrets uppbyggnad och huvuddelar.

Tekniska tillämpningar

Beskrivningar i detta avsnitt behandlar avskiljare med utgångspunkt från användning för rökgaser från eldning med torrt träbränsle. Det mesta som sägs är dock ändå generellt.

Multicykloner

Ett multicyklonaggregat består av ett antal små dynamiska avskiljare av cyklontyp sammankopplade parallellt. Diametern på de enskilda småcyklonerna varierar mellan 125 och 250 mm. Väl utförda cykloner har högre avskiljningsgrad för små partiklar ju mindre diametern är. Småcyklonerna är inbyggda i plåthöljen, som för det mesta har en stofficka i botten. Antalet cyklonenheter kan variera från kanske fyra till mellan 150 och 200.



Figur 10. Multicyklon med fläkt för en panna på ungefär 5 MW.

Eftersom dynamiska avskiljare för sin funktion är beroende av gasens hastighetsenergi kommer avskiljningsförloppet att variera med gasflödet i en och samma avskiljare. Om flödet sjunker under ca 60% av det nominella kan det bli aktuellt att sätta in åtgärder mot försämrade avskiljningsgrad. Det finns i första hand tre metoder nämligen:

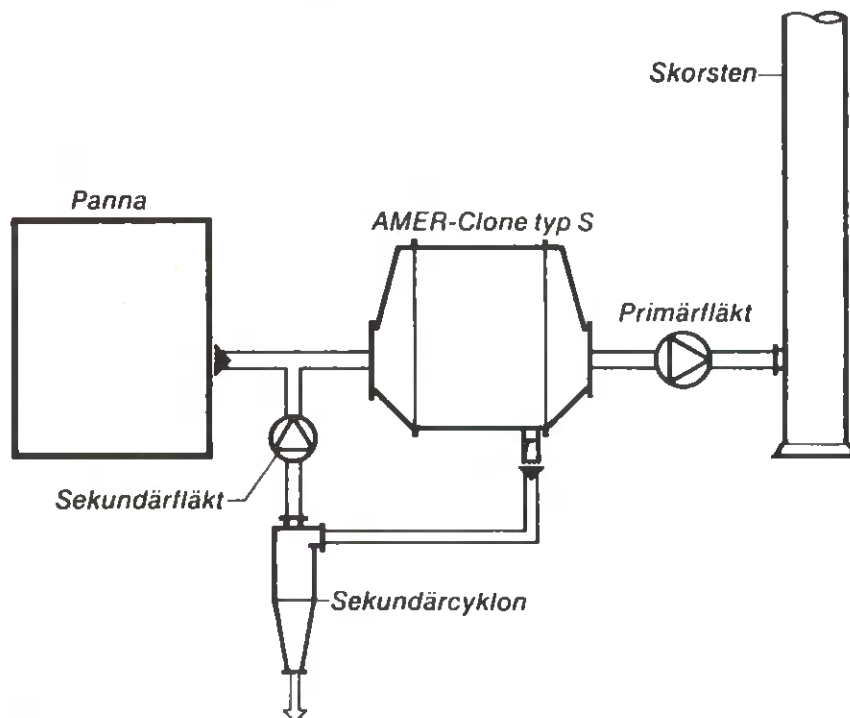
- fullflödesreglering
- delavstängning och
- kapacitetsreglering

Vid fullflödesreglering låter man ett rengasflöde strömma tillbaka från aggregatets utloppssida till dess inloppssida. Trycket som fordras för

gasåterföringen tas från gasfläkten som oftast är placerad efter multicyclonaggregatet. Gasflödet genom avskiljaren kan på detta sätt och vid rätt dimensionering hållas så stort att avskiljningsgraden kan maximeras i varje driftfall. Enda egentliga nackdelen är den ökade åtgången av drivenergi för rökgasfläkten.

Delavstängning innebär att en del av aggregatets småcykloner blockeras så att det normala flödet genom dem fördelas på de övriga, som bibehåller en god avskiljningsgrad på grund av högre hastigheter. Vid delavstängning krävs att man öppnar aggregatet och blindproppar en del av gasvägarna. Ingreppet är inte särskilt stort men ändå av den arten att man inte gärna tar till delavstängning mer än någon gång om året. Det blir då oftast fråga om en säsongsanpassning av anläggningens kapacitet vår och höst. Ett annat inte så ovanligt fall är att man önskar anpassa ett multicyclonaggregat till en mindre panneffekt än det är gjort för. Då passar delavstängning men man bör också tänka på att rökgasfläktens varvtal bör ändras i samma proportion.

Medelstora och större multicyclonaggregat förses med en sekundärcyklon. Dess uppgift är att ta hand om det avskilda stoftet. En mindre del, ca 10%, av huvudgasflödet används för transport av stoftet till sekundärcyklonen. Där skiljs stoftet från gasen. Transportgasen återförs i systemet och stoftet matas ut från sekundärcyklonens utloppsträtt. Av figur 11 framgår hur enheterna ansluts mellan panna och skorsten. Denna typ av multicyclonaggregat kan förses med en anordning för styrning av kapaciteten så att en god avskiljningsgrad bibehålls över ett stort kapacitetsområde. Om en anläggning under långa tider drivs med låg effekt samtidigt som man vill ha möjligheten att snabbt ställa om för hög effekt kommer denna form av kapacitetsstyrning väl till pass.



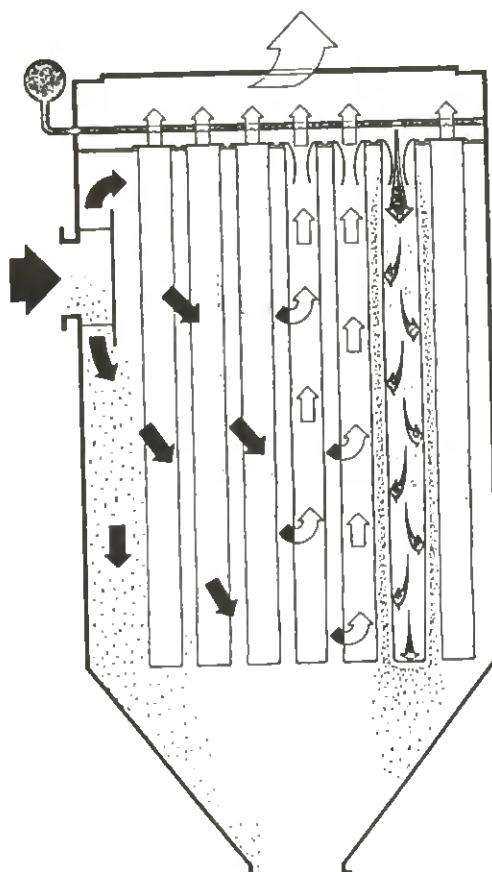
Figur 11. Multicyklon med sekundärcyklon. Man ser här hur enheterna ansluts mellan panna och skorsten.

Slangfilter

Slangfiltret är den vanligaste formen av textila spärrfilter (textilfilter) och namnet kommer sig av att filterduken är sydd så att formen liknar en slang. Namnen påsfilter och strumpfilter förekommer också. Slangarna är uppträdda på ståltrådkorgar och hänger oftast i en mellanbotten av plåt i vilken slangarna fästs med någon spännanordning. Horisontellt infästa slangar kan förekomma.

Gasen strömmar i den vanligaste tillämpningen utifrån mot slangens mitt varvid flygaskan fäster på slangarnas utsida i form av en "stoftkaka". Det anses ganska allmänt att det är stoftkakan som utgör filterytan och att slangarna bara är en bärare för stoftkakan. Detta är fullt riktigt då en stoftkaka väl har bildats, men innan detta skett efter en rensningscykel fungerar naturligtvis filtermaterialet en kort tid som en sil med en "maskvidd".

Slangfilter för rökgaser är idag genomgående pulsrensade med tryckluft. Rensningsluften blåses in i övre änden av varje slang med hjälp av munstycken sittande på rör instuckna genom en av filtrets väggar. Utanför väggen sitter ventiler som hastigt öppnas i en vald följd och med valda tidsintervaller.



Figur 12. Strömning och rensning i pulsrensat slangfilter.

Vid tryckluftmunstyckena sätter man gärna en venturidysa för att snabbt omsätta hastighetsenergin i tryckluftstrålen till tryckenergi. Det är den tryckvåg

man på så sätt får som utnyttjas för att åstadkomma en hastig "uppblåsning" av slangen så att stoftkakan släpper då slangen blir sträckt.

Vanligast är att rensning av slangarna sker successivt under drift. Det förekommer dock att man förser ett slangfilter med flera kammare och växelvis rensar en av kamrarna sedan den bortkopplats. Inkoppling sker inte förrän stoftet som lösgjorts fått tid att sedimentera. Med detta förfarande vinner man en bättre avskiljningsgrad och mindre risk för igensättning av slangarnas fiberstruktur. Givetvis blir filtret dyrare eftersom den totala filterytan ökar och en hel del utrustning tillkommer.

Under filtrets slangar utformas filterhuset med en eller flera trattar. I trattarnas botten fästs utmatningsutrustning. Trattarna förses ibland med uppvärmningsutrustning eftersom stoftet kan bli hängande på trattarnas ytor om rökgasens vattenånga får tillfälle att kondensera.

Kaskadskrubber

Kaskadskrubbern hör till gruppen våtavskiljare och för en något undanskymd tillvaro. Den har sitt berättigande i de fall rökgasen kan innehålla en förorening som lätt löses eller blandas med vatten med eller utan tillsatsmedel.

Principen är enkel och skrubbern består av en delvis vattenfylld behållare undertill avslutad med en tratt. Man utnyttjar tryck- och hastighetsenergi i rökgasen, som blåses ner i vattenbadet, blandas med vatten och lyfter med sig vatten över vattenytan i en ständig "kaskad". Kaskadskrubbern är en blandform mellan dynamisk avskiljare och våtavskiljare eftersom avskiljningsförloppet är synnerligen "dynamiskt". Avskiljningsgraden är inte särdeles stor och varierar med både gasflöde och partikelstorlek. Små partiklar med liten rörelseenergi och massa avskiljs dåligt.

Venturiskrubber

En venturiskrubber har som mest utmärkande egenskap att gashastigheten ökas i ett s k venturirör till höga värden i rörets minsta sektion. Där gashastigheten är störst pressas vatten in under tryck. När vatten och gas möts omsätts så mycket energi att så gott som alla och även de minsta partiklarna kommer i kontakt med vatten. En stor del av hastighetsenergin överförs till tryckenergi, dvs den återvinns i den efter gashalsen följande diffusom. Trots tryckåtervinsten är en venturiskrubber mycket energikrävande.

Energien som måste omsättas i gashalsen kan i större eller mindre grad tas från vattnet eller gasen. Detta innebär att om gashastigheten är hög kan vattentrycket vara förhållandevis lågt och omvänt. Om det alltså är en fördel att hålla tryckuppsättningen på gasen relativt låg kan man välja ett högre vattentryck. Den totala energiåtgången blir ungefär densamma för ett och samma driftfall.

En venturiavskiljare kräver givetvis liksom andra våtavskiljare en del sekundär utrustning för att fungera, t ex:

- vattenbassäng
- cirkulationspump
- vatten- och avloppssystem
- sedimentskrapor
- avvattningsfilter

Venturiskrubbern har som andra äldre typer av våtavskiljare råkat i vanrykte. De material som tidigare användes korroderade och underhållskostnaden blev stor. Man nöjer sig med avskiljare med lägre avskiljningsgrad. Idag har avskiljningskraven ökat så att den avskiljningsgrad venturiskrubbern når upp till har samma nivå som de högsta kraven.

Dyskammaravskiljare

Denna typ av avskiljare kan anta många skepnader. Grundtypen utgörs av en kammare som genomströmmas av gasen. I kammaren sitter ett antal dysor för insprutning av vatten som sönderdelas till små droppar och i bästa fall bildar en dimma. Kontaktytan är dropparnas sammanlagda yta plus våta fasta ytor. De fasta ytorna kan ökas med olika slag av insatser. I kammarens utloppsände eller i en kanal efter kammaren sätts en droppavskiljare. Hela systemet dräneras till en vattenbehållare och vattnet cirkuleras.

En av nackdelarna med denna enkla avskiljare är att dysorna lätt sätts igen av den i vattnet uppslammade flygaskan. Om inte dysorna fungerar på rätt sätt sjunker avskiljningsgraden drastiskt.

Eftersom avskiljningen helt hänger på att många och små vattendroppar bildas har man på senare år gjort försök med ultraljudalstrande dysor. Tryckluft används för ljudalstringen och de höga frekvenserna och den koncentrerade energin bidrar till att finfördela vattnet.

För att effektivt blanda gas och vatten krävs ofrånkomligen energi. Detta gäller utan undantag alla våtavskiljare. Därför har man sökt sig fram många vägar för att uppnå god omblandning. Ett enkelt sätt är att placera dysor i gasströmmen före en rökgasfläkt, ibland särskilt utformad för att fungera som både "blandare", fläkt och vattenavskiljare. I ett annat fall tillförs blandningsenergin genom att man låter en fläkt arbeta med omvänd rotationsriktning. Därigenom bildas kraftiga virvlar i fläkten eftersom gasströmmen inte som normalt följer skovlar och fläkthus med små förluster.

Dyskammaravskiljaren utgjordes ursprungligen av en regelrätt kammare eftersom vattendimman kräver utrymme om man skall uppnå stor kontaktyta. Man fick också därigenom en uppehållstid med gas och dimma i kontakt. Denna kontakttid ger också möjlighet för värmeöverföring från gas till vatten samtidigt som gasen mätas med vatten vid en temperatur som ligger vid

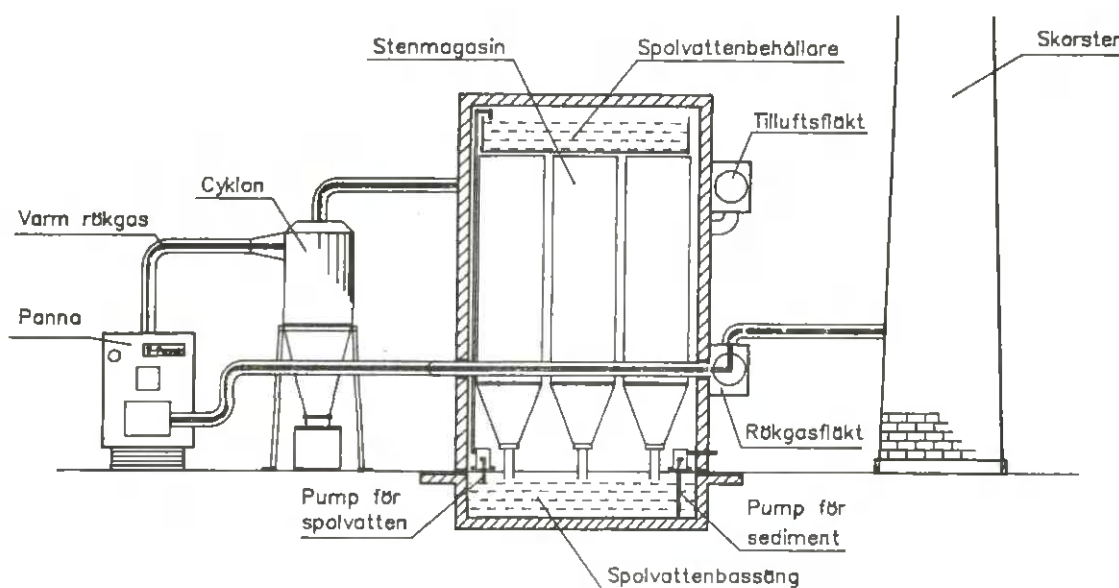
omkring 60°C. Ur det cirkulerande vattnet och ur den våta gasen kan värme återvinnas genom en temperatursänkning. Förutsättningen är då att man har tillgång till ett medium, vanligtvis värmevatten, med en temperatur ett stycke under 60°C, låt säga ca 40°C. Om gasen kyls under sin vattendaggpunkt kondenseras vattenånga i gasen och ångbildningsvärme motsvarande kondensatmängden blir tillgänglig. Man kan på detta sätt nyttiggöra en hel del värme ur gasen. Dyskammaren har tack vare denna möjlighet åter kommit till heders. Systemen på marknaden liknar varandra men det ena är mer sofistikerat än det andra.

Våtbäddavskiljare

Benämningen "våtbäddavskiljare" har valts som ett samlande namn på en grupp avskiljare med likartad uppbyggnad. Principen är att med hjälp av fyllkroppar av något slag och vatten åstadkomma en stor våt yta i nära kontakt med den genomströmmande gasen.

Också i en våtbäddavskiljare är det energiomsättningen som i hög grad avgör resultatet. Om bädden utgörs av små fyllkroppar med oregelbunden form, väl packade och med trånga, slingrande gasvägar får man en stor yta, många hastighetsomlänknings och många kontaktmöjligheter mellan stoftpartiklar och våta ytor. En sådan bädd ger upphov till ett stort tryckfall som i längden blir energikrävande men ger då också en bra avskiljning av stoftpartiklar. I motsatta fallet, dvs med stora fyllkroppar av regelbunden form råder även i övrigt motsatta förhållanden. Mellan ytterligheterna söker man fram den lösning som ger en tillräcklig avskiljningsgrad till en kostnad som gör produkten konkurrenskraftig på marknaden.

Även med en våtbäddavskiljare ges möjlighet till värmeåtervinning. En sådan avskiljare tillverkas under namnet INVERTEX, se bilaga 3 och figur 13. Bädden kan utnyttjas som regenerativ värmeväxlare och växelvis värmas och kylas. Man är närmast hänvisad till att värma förbränningsluft med bäddens ackumulerade värme. Dessvärre passar inte förvärmning av förbränningsluft för det fall att man eldar med ett torrt träbränsle. Förbränningen kan bli för intensiv och temperaturen i eldstaden så hög att delar av den blir överhettade och skadade. Därför är värmeåtervinning med denna metod inte alltid av värde, dvs återvunnen värme kan inte alltid bidra till återbetalning av anläggningen. Exempel på installation med värmeåtervinning finns inom träindustrin. Det åtgår ca 10 ton sten per MW panneffekt.



Figur 13. Våtbäddavskiljare med stenmagasin.

Elfilter

I högre grad än för andra stoftavskiljare gäller för elfilter att stoftets och gasens fysikaliska och kemiska egenskaper påverkar avskiljningsgrad, storlek och kostnad för avskiljaren. Stoftet från träbränsle har en sammansättning, som gör stoftet förhållandevis svårt att avskilja. Detta medför i sin tur att filtret blir stort och dyrt. Att bränslet är ganska torrt är också en försvårande omständighet.

Om man bortser från den höga anläggningskostnaden och utrymmesbehovet är elfiltret överlägset alla andra konstruktioner. Med bara ett blygsamt underhåll är livstiden "obegränsad". Tryckfallet och driftkostnaden är låga, avskiljningsgraden kan väljas så hög man önskar och tillgängligheten närmar sig 100%. Med ett elfilter kan man köpa sig fri från många bekymmer. Om man vid köp av ett elfilter beaktar utbyggnadsbehov, planer på nya pannor och andra faktorer som på sikt påverkar kostnaderna är elfilter alltid en god investering. Hur bra den är kan bara köparen avgöra.

Denna elfiltrets originella särställning gör jämförelser med andra konstruktioner svåra. Jämförelser blir knutna till tekniska och ekonomiska argument som vart och ett måste provas. Några exempel skall ges som förklaring.

- Om återbetalningskraven sätts lika hårda på en panncentral som på en investering i produktionen (låt säga 2-3 år) kan man inte välja elfilter.
- Om avskiljningskravet är en stofthalt på 350 mg/m³ norm efter filter är ett elfilter alldeles för bra.

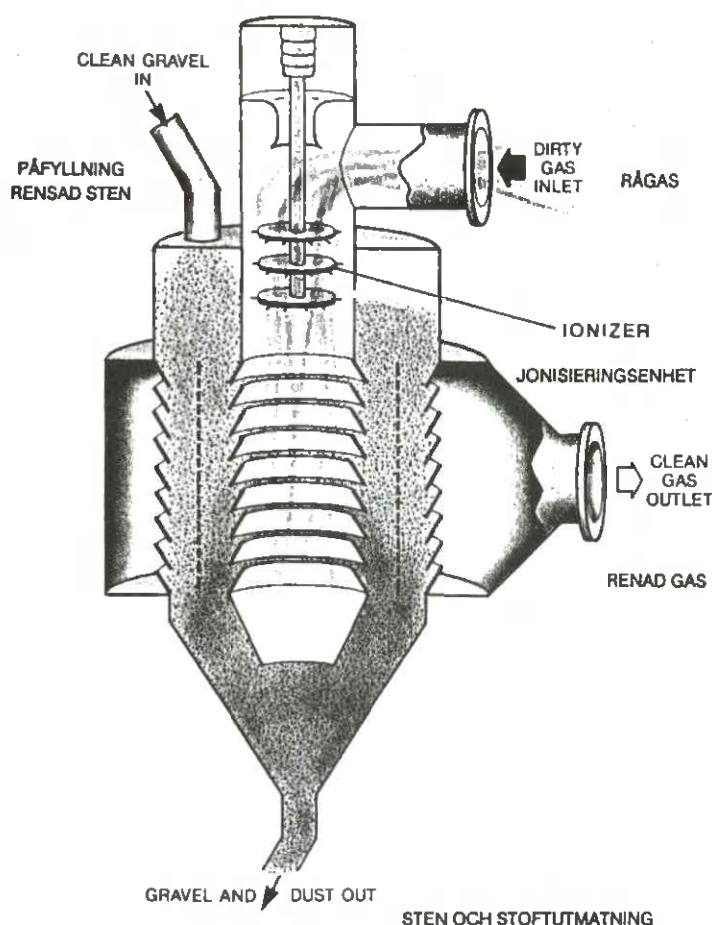
- Om man vid investeringstidpunkten disponerar ett kapital som täcker kostnaden för ett elfilter och som inte behöver ge avkastning förrän efter flera år kan elfilter vara lösningen. Men, då måste den höga avskiljningsgraden komma till nytta och alternativet vara ett annat lika effektivt filter.

Ett elfilters uppbyggnad är sådan att det inte är ekonomiskt med små enheter. Det kan anses givet att ett elfilter knappast blir aktuellt förrän anläggningseffekten närmar sig 10 MW eller helst är större.

Elfiltrets driftmässiga fördelar är många:

- Filtret är okänsligt för hög gastemperatur.
- Avskiljningsgraden ökar med sjunkande flödesbelastning.
- Det låga tryckfallet ger låg fläkeeffekt.
- Tillgängligheten är den största tänkbara.
- Underhålls- och skötselkostnaderna är låga.
- Filtret kan överbelastas utan svåra följder.
- Livstiden påverkas inte av felaktig eldning.

Det som hittills sagts om elfilter gäller i första hand den traditionella filterkonstruktionen med utfällningsplåtar och rensning genom bankning. Det finns en annan konstruktion, som utvecklats sedan 1970-talet till en idag färdig och beprövad stoftavskiljare. Denna konstruktion, se figur 14, bygger på jonisering av stoftpartiklarna i gasen med en negativ spänning före gasens inträde i en stenbädd. I stenbädden som sakta rör sig nedåt fångas stoftet upp och bortförs med bäddmaterialet. Utfällningen av stoftet görs effektiv genom att elektroder i stenbädden ges en högspänd positiv laddning, som fördelar sig i bädden. Utfällningsytan blir stor eftersom de ärtstora stenarna i bädden tillsammans utgör en utfällningsyta för de laddade partiklarna. Stenmaterialet i den långsamt sjunkande bädden transporteras med en luftström från en högtrycksfläkt till filterbäddens topp. I samband med transporten skiljs stoftet från stenmaterialet som återförs till bädden. Transportluften renas i ett slangfilter.



Figur 14. Joniserad torr stensbädd (EFB).

Denna typ av filter (EFB, Electrified Filter Bed) lanserades under 1989–90 på de svenska och finska marknaderna. I USA finns en mångfald anläggningar och drifterfarenheter finns från början av 1980-talet. En liknande men principiellt något annorlunda stoftavskiljare har sålts i Sverige men inte rönt någon större framgång. De båda likartade stoftavskiljarna har utvecklats parallellt i USA.

Användningsområden

Ingen typ av stoftavskiljare har sin helt självklara användning. Däremot kan man under vissa omständigheter peka på avskiljare som är lämpliga eller olämpliga. För att i någon mån bidra till bra val av avskiljare skall några exempel ges.

a) Avskiljningskravet är styrande.

Om den tillåtna emissionen är 350 mg/m³(n) torr gas skall man stanna för en dynamisk avskiljare av typ multicyklon. Denna emissionsgräns valdes av Naturvårdsverket en gång just för att motsvara vad ett multicyklonaggregat kan klara.

Är emissionskravet t ex 100 mg/m δ (n) duger inte en dynamisk avskiljare utan en "bättre" avskiljare måste till. Det högre avskiljningskravet innebär egentligen bara att dynamiska avskiljare är uteslutna medan flertalet andra typer kan användas.

b) Eldningsutrustningen är avgörande.

Om förbränningsförloppet på grund av bränslets beskaffenhet eller eldstadens utformning eller kanske bådadera tidvis ger ett "gnistregn" ut ifrån pannan, bör man utesluta slangfilter även om man har en föravskiljare före filtret. Risken finns annars att slangarna blir förstörda eller i värsta fall antänds och brinner.

Slangfilter är mindre lämpliga om man måste räkna med att rök-gastemperaturen mycket och ofta överstiger 200°C.

Av exemplen framgår att valet av avskiljare kan vara något komplicerat. I ett senare avsnitt ges en del rekommendationer. Om man väljer att för avskiljartyperna ange typiska användningsområden får man följande bild.

Multicykloner

Multicyklonen täcker hela det aktuella storleksområdet. Den är lätt att anpassa till ett givet flöde genom att man sätter in fler eller färre cykloneheter. Dessa brukar ha en flödeskapacitet på 500 à 1 000 m δ /h och enhet.

Om emissionsgränsen är större än ca 300 mg/m δ (n) torr gas är multicyklonen nästan självklart den mest användbara och ekonomiskt fördelaktiga avskiljaren. Multicyklonen är okänslig för hög rök-gastemperatur och kräver ringa skötsel och underhåll. För anläggningar med effekter under en eller ett par megawatt vill det till särskilda skäl för att frångå multicyklonen. Den är på sitt sätt överlägsen med sin enkla konstruktion och med få eller inga rörliga delar.

I en del fall då förbränningen förlöper felaktigt så att stoftmängden blir stor och så att stoftet blir svårt att avskilja kan det inträffa att utsläppet kan bli väsentligt högre än 350 mg/m δ (n). Man bör då hellre ge sig i kast med att förbättra eldningen än att välja en "bättre" avskiljare. Sådana förbättringsåtgärder ger också nästan alltid en högre pannverkningsgrad.

Multicyklonen är alltid användbar som föravskiljare till ett textiltfilter. Det kan förefalla exklusivt att ta till multicyklonen för detta ändamål men den ger otvivelaktigt den bästa säkerheten mot brand i textiltfiltret och den bästa slangekonomin. Som föravskiljare skall man naturligtvis överväga enklare cykloverianter eller annan dynamisk avskiljare.

Slangfilter

Ett slangfilter är rätt använt den bästa avskiljaren i gott sällskap med elektrofiltret. Dessvärre blir elektrofilter relativt dyra i de aktuella storlekarna. Om man dock beaktar behovet av föravskiljare före ett slangfilter, den större energiåtgången, slangkostnaden och det större underhållet finns det ändå skäl att komma ihåg elfiltret i många fall.

Slangfilter kommer ifråga då dynamiska avskiljare inte räcker till och då man inte finner skäl att snegla på våtavskiljare. Slangfilter kan byggas för både mycket små och mycket stora kapaciteter utan några egentliga begränsningar. Priset per flödesenhet blir väsentligt högre på små filter än på större så länge man dimensionerar för samma ytbelastning och samma rensningsmetod (i regel pulsrensning med tryckluft). Denna omständighet begränsar dock knappast slangfiltrets användning eftersom de tekniska alternativen belastas med motsvarande kostnadsskillnader.

Det finns en omständighet man måste vara försiktig med om man överväger att välja ett slangfilter. Under ogynnsamma förhållanden kan förbränningen i eldstaden ge uppgov till att oförbrända gaser (koloxid och kolväten) följer med rökgaserna och samlas i kanaler och filter under några ögonblick. En gnista kan tända gasen och en flamfront når lätt filtret där en relativt stor volym gas kan tända. Ett slangfilter kan alltså vara olämpligt om förbränningen inte förlöper på rätt sätt och med tillräckligt luftöverskott. Faran för filterbrand skall dock inte överdrivas. Bränder är sällsynta men kostsamma då de inträffar.

Slangfilter är känsliga för vissa slag av stoft. Så länge man använder "rent" träbränsle får man normalt inga driftproblem, men om bränslet innehåller vissa främmande ämnen eller brinner på fel sätt kan man få problem med rensningen av slangarna. Så t ex kan tjärprodukter och hygroskopiska (vattenuptagande) ämnen i stoftet medföra att rensningen blir ofullständig och att tryckfallet över filtret snabbt ökar och inte kan nedbringas med intensivare rensning. Slangfiltrets användning begränsas alltså ibland av flygaskans sammansättning.

Det finns idag ett stort urval av textilmaterial till filterslangar och det är just senare tiders nya material som medgett en utveckling av slangfiltren och utökat användningsområdet.

Man har numera tillgång till en mångfald grundmaterial för olika ändamål och materialet kan vävas, filtas, värmebehandlas osv, så att slangtextilen får de egenskaper man vill ha.

Att finna ett slangmaterial, som är lämpligt för filtrering av rökgaser är numera möjligt för de flesta driftfall. Av tabell 1 framgår ett urval av material och deras egenskaper.

Tabell 1. Material för filterslangar. Egenskaper.

	Densitet g/cm ³	Fukt- absorption %	Kontinuerlig driftstempera- tur °C	Spets- tempe- raturtur °C
POLYAMID, Nylon, Perlon	1,14	4,5	100	250
POLYESTER, Trevira, Diolen, Terylene	1,38	0,4	135	257
POLYPROPEN, Meraklon	0,91	<0,1	90	160
PVDF POLYVINYLI- DENFLUORID, Kynar	1,78	0,04	130	156
ARAMID, Nomex Sönderfaller	1,38	2,5	200	över 400
ARAMID, Kevlar, Twaron Sönderfaller	1,45	3	180	över 425
IMIDPOLYAMID, Kermel Sönderfaller	1,34	3-5	250	över 400
FENOLFORMALDEHYD, Kynol Förkolnar, flambeständig	1,25	6	150	till 2500
POLYFENYLENSULFID, Ryton	1,37	0,6	180	285
POLYTETRAFLUORETEN, Teflon Sönderfaller	2,1	<0,1	240	400-500

KISELDIOXID, Glas	2,6	<0,1	240	845
ELASTAN, Lycra	1,2	1,5	90	250
KOLFIBER, Besfight	1,8	<0,1	530	Flambe- ständig Sublim. vid 3650°C

Elfilter

Då avskiljningskravet utesluter användning av dynamiska avskiljare "duger" under alla förhållanden ett elfilter. Man kan uppnå mycket höga avskiljningsgrader och i ett konventionellt elfilter kan man nedbringa stofthalten till ca 10 mg/m³(n) och i en EFB till under 50 mg/m³(n).

Elfiltren är alltid användbara vid förbränning av torrt fastbränsle utan andra begränsningar än att gastemperaturen måste ligga högre än vattendaggpunkten. En hög gastemperatur eller glödande partiklar i gasen är alltså inte begränsande.

Det konventionella elfiltret kan göras för godtyckligt gasflöde medan EFB ännu inte finns tillgänglig för gasflöden under 10 000 m³/h, dvs en effekt på 3 à 4 MW. För båda filtertyperna gäller att de är relativt kostsamma och får en svår konkurrenssituation vid anläggningseffekter långt under 10 MW.

Tillämpningar med värmeåtervinning

Det man egentligen kallar värmeåtervinning vid eldning innebär i första hand en sänkning av rökgastemperaturen under normal utloppstemperatur och i andra hand en kylning under rökgasens daggpunktstemperatur så att vattenånga kondenseras.

Sådan värmeutvinning kan bli lönsam om man antingen eldar med ett "dyrköpt" bränsle eller använder ett fuktigt bränsle eller båda delarna. Det krävs att man har tillgång till ett kylande medium med en temperatur som gärna får understiga 45°C. Man skall också ha behov av en tillkommande värmeeffekt, som inte kan tas ut på annat förhållandevis billigt vis. Det räcker inte att bara en av dessa förutsättningar är uppfylld utan det krävs minst två.

Det finns två principellt olika metoder att tillgripa. Den ena innebär att man sätter in en effektiv, torr rökgasrenare (slangfilter eller elfilter) och efter den kyler gasen till under dess daggpunktstemperatur. Är gasen ren kan kyltorna hållas rena och bli effektiva. Den andra metoden går ut på att man använder en

våtavskiljare för gasreningen och utformar den så att gasens vattenånga kondenseras och det cirkulerande vattnet värms därigenom för att sedan kylas i en värmeväxlare ansluten till ett återkylningssystem. Denna senare metod finns tillämpad på ett flertal olika sätt. Våtavskiljaren utgörs ofta av ett tubpaket som samtidigt är en värmeväxlare.

En tredje något avvikande metod står också till buds, nämligen den regenerativa bädden. Rökgasen passerar genom en stenbädd som värms. Gasens fuktighet kondenseras i stenbädden, som blir drypande våt och fångar upp flygaskan. När bädden har nått "rätt" temperatur kopplar spjäll in en annan bädd i gasströmmen medan den första kyls med luft, som används till förbränningen med den högre temperatur luften får vid passage genom den uppvärmda bädden. Förbränningsluften blir både varm och fuktig, medan rökgasen går ut kyld och med reducerat vatteninnehåll. Varm förbränningsluft är i regel till nackdel vid eldning med torrt bränsle, varför man måste pröva noga om denna metod passar då man eldar snickeriavfall. Det går teoretiskt att modifiera processen genom att tillföra vatten till bränslet. Detta är en metod som tillämpats i liknande fall för att göra värmeåtervinningen effektivare.

Rökgassystem för värmeåtervinning är inte utan driftproblem. Dessa är desamma som för våtavskiljare, dvs igensättning och korrosion men här tillkommer medryckning av vatten från värmeväxlare eller avskiljare. Från de våta ytorna närmast skorstenen rycks gärna vatten med gasströmmen. Rökkanaler och skorsten blir våta och kan skadas om de är av olämpligt material. Man brukar värma den utgående gasen med en del av den återvunna värmen eller på annat sätt för att gasen inte skall vara mättad med vatten då den passerar skorstenen eller når atmosfären. Detta räcker inte alltid för att man skall slippa driftproblem. En murad skorsten kan inte användas och inte ens en stålskorsten (Cor-Ten) duger i längden om gasen är våt. Om droppar rycks med eller vatten kondenseras i luften kring skorstenstoppen får man störningar i omgivningen.

Driftgenskaper och underhåll

I detta sammanhang är det lämpligt att återgå till stoftavskiljarnas grundtyper, nämligen:

- dynamiska avskiljare
- textfilter
- våtavskiljare
- elektrofilter

Dynamiska avskiljare

Dynamiska avskiljare är som regel enkla, ger inte upphov till driftsvårigheter och kräver obetydligt eller inget underhåll. Om stoftet inte är slitande och om

man använder avskiljaren rätt och skyddar den mot korrosion (rostning) invändigt och utvändigt får man inga bekymmer och små kostnader för underhåll.

Har man en anläggning som används dagtid/arbetstid och står avställd nätter och veckoslut bör man vara på sin vakt. Fler anläggningar rostar bort för att de står oanvända än för att de är i drift. Då en nedkyld eldningsanläggning tas i drift kondenserar ofrånkomligen en del av vattenångan i rökgasen. Vattnet, syret i rökgasen och den förhöjda temperaturen ger upphov till korrosion. Varje gång detta sker får man en liten materialförlust som med tiden blir större. Rostangrepp av denna orsak blir som regel störst på vintern då nedkylningen vid stillestånd är störst.

Om stoftutsläppet från bottenratten på t ex en multicyklon mynnar över en vattenyta kan fuktig luft sugas in i bottenratten pga undertrycket i avskiljaren. Sker detta inträffar för det första en våtkorrosion, för det andra att stoftet i rattens botten blir fuktigt och häftar vid ratten. Utmatningen fungerar då inte och situationen förvärras. En del av avskiljarens småcykloner blir igensatta och de resterande blir överbelastade. Till sist följer all flygaska med rökgaserna till skorstenen. Motsvarande fenomen kan inträffa i andra typer av avskiljare.

Hur än utloppet från en cyklon eller multicyklon är utformat är det viktigt att utmatningen från bottenratten sker utan att luft läcker in mer än i ytterst obetydlig mängd. Avskiljningsgraden försämras om läckaget ökar.

Multicyklonen fångar effektivt glödande stoftpartiklar, som i regel är relativt stora och lättavskilda. Så länge mängden glödande stoft är måttlig händer inget med avskiljaren men vid ökande mängd tilltar risken för överhettning av materialet i stofffickan. Tjärprodukter bildas vid den ofullständiga förbränning som äger rum i stofffickan och igensättning blir följden. Problem av detta slag uppstår mest vid överbelastning av anläggningen men kan också ha andra orsaker, t ex för litet luftöverskott eller ett felaktigt bränsle.

Om man eldar på rätt sätt med det bränsle som eldstad och panna är avsedda för och inspekterar avskiljaren regelbundet ger en multicyklon inga störningar i driften och kräver ringa underhåll.

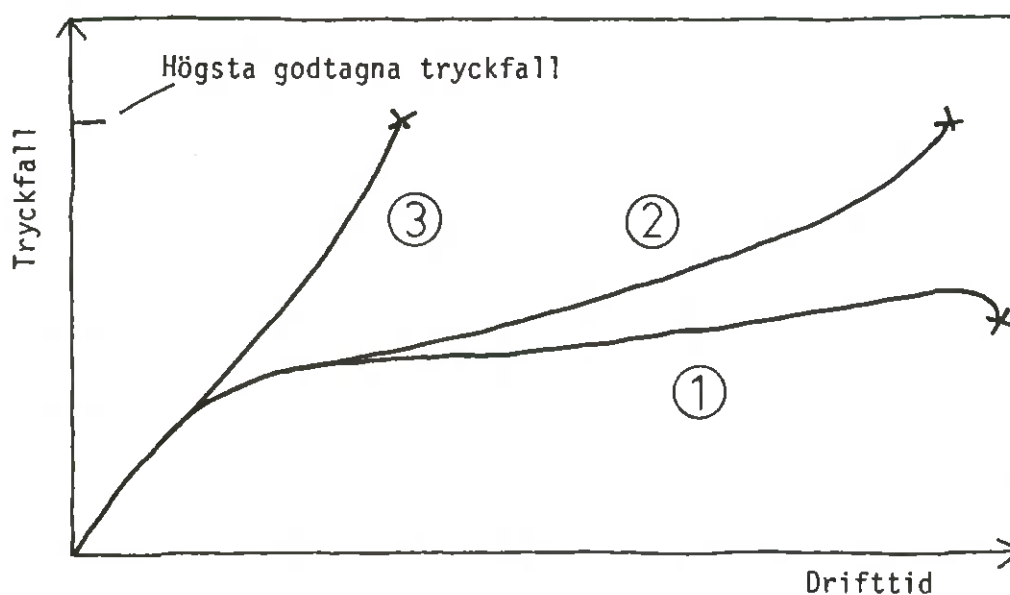
Textilfilter

De textilfilter som används för rökgaser är i regel pulsrensade slangfilter, dvs filtermaterialet är sytt och format till slangar och rensningen sker med tryckluftpulser. Den ingående kunskapen om slangmaterial och val av slangar till ett filter finns hos slangtillverkaren och i stor utsträckning hos filterleverantören. Slangarna måste väljas för varje driftfall och med hänsyn till rådande omständigheter och det finns risk för misstag. Om leverantören träffar fel vid materialvalet kan materialet förstöras eller bli igensatt så att duken inte kan rensas tillräckligt effektivt. Tryckfallet stegras i det senare fallet snabbt och filtrets "kapacitet" sjunker. Filtermediet måste i sådana fall bytas ut och en

merkostnad uppstår, inte bara för nytt material utan också för en högre och dyrare kvalitet.

Då ett slangfilter är helt nytt är avskiljningen inte den bästa. Det behövs en "inkörningsperiod" som varar från någon eller några timmar till flera dagar eller ett par veckor. Under denna inledande drifttid minskar stoftkoncentrationen successivt medan tryckfallet hela tiden ökar. Figur 15 visar vilka driftförlopp man har att räkna med. I fall 1 ökar tryckfallet över filterslangen på ett normalt sätt och slangarna kan användas kanske ett par års tid. I fall 2 ökar tryckfallet alldeles för fort, måhända på grund av en igensättning eller en strukturförändring i filtermaterialet och materialet måste bytas för tidigt. I allra sämsta fall inträffar att tryckfallet stiger mycket snabbt till så högt värde att driften måste avbrytas. Då har det i regel hänt att rensningen inte fungerat utan stoftet har satt igen filtermaterialet. Oftast upptäcker man en tendens under inköringen och försöker göra rensningen effektivare. Går inte det tvingas man byta filterslangarna till en lämpligare kvalitet.

Så länge man fått rätt filterslangar, håller filterslangarna torra och rensar med rätt intermittenstid fungerar slangfilter väl och kräver bara ett begränsat underhåll. Det mest skadliga för filtret är fuktighet som bjuds tillfälle att kondensera i slangarna. Daggpunktstemperaturen kan vara sänkt genom att stoftet är hygroskopiskt, dvs tar upp fuktighet ur gas. Ibland bildas kristaller med bundet vatten på eller i materialstrukturen. Dessa går inte att rensa bort mekaniskt men kan ibland tvättas bort med vatten. Vissa kristaller eller kemiska strukturer rör man inte på med de metoder som står till buds, utan slangarna är förstörda om förloppet har pågått tillräckligt länge. Normal flygaska från trä innehåller inga från kemisk synpunkt besvärande beståndsdelar, men det är ändå viktigt att filtermaterialet inte blir utsatt för fukt regelbundet och ofta.



1. Normal ökning av tryckfallet över filterslangen.
2. Tryckfallet ökar onormalt fort.
3. Trycket ökar så snabbt att driften måste avbrytas.

Figur 15. Typiska filtreringsförlopp i slangfilter.

Slangfilter som ställs av dagligen eller ofta bör hållas varma vid stillestånd. Detta kan göras med termostatstyrda elektriska element, som man brukar placera på stofffickornas utsida under isoleringen. Varmhållning eller uppvärmning kan också ske med cirkulerande luft med hjälp av en fläkt och en luftvärmare.

Kall och fuktig rensningsluft kan under ogynnsamma omständigheter ge upphov till kondensering av vatten i slangmaterialet. Om gasens temperatur är låg och gasen är fuktig bör man se upp med detta fenomen och gardera sig mot kondensering. Risken får bedömas i samråd med leverantören.

Flygaska från träeldning får knappast en form (kornig och vass) som verkar slitande på slangmaterialet. Därför kan man bortse från vad man brukar kalla "blästring", dvs förslitning på slangarna på grund av slitande stoft och lokalt höga gashastigheter.

Ett slangfilter innehåller få rörliga delar. De delar som kräver underhåll är rensningsutrustning och slangar. Rensningen tänks ske med tryckluft. En kompressorutrustning med ventiler, automatik m m är mycket driftsäker och kräver litet underhåll.

Slangar kan brista innan de nått sin livstid. Då byts enstaka slangar. Om man drabbas av en igensättning som kan ordnas genom tvättning åtgärdas hela slangatsen på en gång, samtidigt som försvagade eller förstörda slangar byts.

Det vanliga är, att man efter byte av enstaka slangar under en längre tid, byter hela slangsetsen då man bedömer att livstiden är ute. Det vanligaste kriteriet på uppnådd livstid är att tryckfallet blivit högt. Innan man köper en ny slangsets kan det vara lämpligt att låta undersöka och eventuellt analysera några slangar. En sådan undersökning kan visa att slangarna genomgått förändringar i strukturen eller på annat sätt påverkats så att livstiden förkortats. Det finns ibland anledning att i samband med byte av en slangsets gå över till en annan kvalitet efter diskussion med slangleverantören. Resultatet kan bli t ex bättre slangekonomi och mindre driftstörningar.

Ett slangfilter bör inspekteras regelbundet då tillfälle bjuds och noggrant i samband med byte av slangar. Man bör vara vaksam på rostangrepp, som kan bero på hopsjunket isoleringsmaterial eller läckande fogar. Utmatningsutrustning t ex i form av transportskruvar och cellmatrare bör ges en översyn vad avser förslitning och täthet i samband med slangbyte eller semesteruppehåll.

Våtavskiljare

Drift och underhåll hos våtavskiljare kretsar kring igensättning, förslitning och korrosion. Det är vattnet i första hand och stoftet i andra hand som är orsakerna. Dysor för dimbildning eller vattenbegjutning blir ofta och lätt igensatta eller påverkade så att de inte fungerar som de skall. Nedsatt funktion försämrar avskiljningsgraden. Igensättning drabbar också ledningar, pumpar, bäddar m fl komponenter. Driften betungas alltså av ett krav på ständig vaksamhet.

Hanteringen av slammet, som flygaskan ger, kräver mekanisk utrustning. Det må gälla rör, pumpar, skrapor, avvattnare eller annat. Denna utrustning är särskilt utsatt för förslitning och korrosionsangrepp även om man i stor utsträckning tar till de bästa materialen. Man kan räkna med en god driftsäkerhet om anläggningen sköts väl och man är observant på uppdykande tecken till skador.

Orsaken till att våtavskiljare för 15 à 20 år sedan kom i vanrykte var just korrosion och förslitning. De material man då tog till var inte alltid de bästa. I dag har man ett större urval material till förfogande och materialpriserna är också relativt sett lägre. De tvingande regler och krav vi nu måste räkna med gör också att eldningsanläggningarna kan bära större kostnader. Driftegenskaper och underhållskostnaderna för en våtavskiljare behöver därför inte vara avgörande eller avskräckande.

Elfilter

Ett konventionellt elfilter är mycket driftsäkert och om driften inte störs av yttre omständigheter har det en nästan hundra procentig tillgänglighet. Det är

nästan okänsligt för måttliga flödesökningar och vid minskning av flödet ökar avskiljningsgraden i motsats till dynamiska avskiljare.

Elfiltret bör också hållas varmt och torrt, inte för avskiljningens skull utan med hänsyn till korrosionen och risken för påbakning av stoft. En hög fukthalt hos gasen är gynnsam för avskiljningen och så länge filtret hålls varmt gör fuktigheten ingen skada.

Rensningen av emissions- och utfällningselektrodena sköts av bankningssystem med fallhammare. De kräver normalt ingen skötsel utan bara årlig kontroll av förslitningen. Bankningen av emissionselektrodena kan genom utmattning föranleda brott på en emissionselektrod om den är utförd som en ståltrådsspiral. Elektroden kortsluter ofta spänningsfältet och måste avlägsnas innan filtret kan fungera normalt, men den behöver inte ersättas förrän vid planerat driftstopp eller översyn.

Ett elfilter med två filterkammare kan vid ett fel drivas vidare med en kammare i drift. Om båda kamrarna är anslutna till en gemensam likriktare kan en kammare kopplas bort. Om kamrarna har var sin likriktare kan de användas var för sig. Ett tredje driftfall kan tänkas, nämligen att båda kamrarna kopplas till den enas likriktare, som då måste vara överdimensionerad. Vid dessa tre driftfall blir avskiljningsgraden märkbart försämrad men driften kan ändå fortsätta till dess att filtret kan återställas igen. Genom att dra ner effekten så att gasflödet minskar kan man ta igen en stor del av den förlorade avskiljningsförmågan.

Både driftproblem och underhållsinsatser är små för ett elfilter. Det kan inträffa stofthängning i en stofficka men om fickorna förses med elektrisk uppvärmning i nedre delen är sådana problem avhjälpna. Om korrosion upptäcks på invändiga ytor, särskilt vid filterhusets hörn, beror detta ofta på otillräcklig isolering, som då givetvis skall förbättras. Några svårare driftproblem skall man inte behöva räkna med och underhållskostnaderna blir små.

En EFB (Electrified Filter Bed) skiljer sig från ett vanligt elfilter i hög grad. Dess drifttegenskaper är ännu något okända eftersom konstruktionen är ny i Sverige. Det har funnits en liknande konstruktion på den svenska marknaden under ett antal år. Det vore dock fel att överföra erfarenheter från en konstruktion till en annan eftersom det skiljer en hel del mellan dem.

Såvitt man kan bedöma torde en EFB inte ge några driftproblem vid tillämpning på torra gaser från biobränslen. Rökgastemperaturen bör inte sänkas så långt att man får kondensering i bädden. Bädden bör förvärmas innan eldning påbörjas efter stillestånd. En EFB lämpar sig inte särskilt bra för eldning dagtid och driftuppehåll nätter och veckoslut.

Driften bör vara kontinuerlig eller ske med så korta uppehåll att bädden inte kallnar till gasens vattendaggpunkt. Driftförhållandena bör diskuteras noga med leverantören.

En EFB har få rörliga delar. Den förslitning man får hänger samman med stenmaterialets transport från bäddens botten till dess topp. Vid botten finns en ejektor som man måste räkna med att kontrollera årligen och byta vid behov. Transportledningar för stenmaterialet kan förslitas men konstruktionen förefaller genomtänkt och utformad med hänsyn till förslitningen. De delar som kan behöva bytas är lättåtkomliga och enkelt utformade.

Transportluften för stenmaterialet skiljs från stoftet i ett slangfilter och stoftet faller ut i filterfickan. Filterslangarna kan behöva bytas med ett par års mellanrum.

SYSTEM FÖR ASKHANTERING

Flygaska som avskiltj i en stoftavskiljare kan hanteras på många olika sätt. Man skiljer i första hand mellan våt och torr hantering.

Om stoftavskiljaren är en våtrenare samlas flygaskan i en vattenbehållare där större delen av askan faller ut som ett botten slam. Ofullständigt förbrända bränslepartiklar förblir oftast flytande.

I de fall pannan är utrustad med vattenbad under rosten för uppsamling av bottenaskan använder man gärna vattenbadet för uppsamling också av flygaskan. Detta gäller också om man har en "torr" avskiljare (t ex multicyklonaggregat). Vattenbehållare för aska töms i flertalet fall med hjälp av kedjedrivna skrapor, som delvis glider på ett lutande plan. Askan får falla ner i en behållare för borttransport.

Våthantering av askan är ofta bekväm och bekymmersfri. Förutsättningen är att utrustningen är välbyggd och fungerar bra. Bassäng, behållare och transportör kan göras av vanligt stål utan att korrosionen blir avsevärd. Detta beror på att askan har starkt basisk reaktion i vatten. pH-värdet kan bli upp till ca 12. Stål rostar som regel inte vid pH-värden över 10. Skulle pH-värdet av något skäl bli lägre än 10 kan man höja det genom dosering av t ex natriumhydroxid. Korrosionen i samband med våthantering av askan blir därför inget oöverkomligt problem.

Den våta hanteringen eliminerar damningsproblem och underlättar borttransporten. Man slipper också en pyrande, het aska och risken för "sotbrand" minskar.

Systemet har naturligtvis också nackdelar. Förslitningen på våta rörliga delar blir ibland stor och reparationer kan bli besvärliga och tidsödande. Driftstopp för semester eller helger bör utnyttjas för inspektioner och översyn av utsatta delar om processen är känslig för oplanerade avbrott i driften.

Den torra hanteringen av flygaska kan i princip ske på två sätt, "mekaniskt" eller pneumatiskt (med luft). Avskiljaren är alltid försedd med en tratt för uppsamling och utmatning av det avskilda stoftet. Som regel störs avskiljaren

mer eller mindre om det läcker in luft via trattens botten. Därför förses tratten alltid med en väl tätande anordning i botten.

Om mängderna flygaska är små är det enklast att under avskiljarens tratt ansluta ett slutet kärl för uppsamling och direkt borttransport. Några eller flera kärl erfordras och antalet bestäms av den fortsatta stofthanteringen.

Om askmängderna är större eller om hanteringen av småkärl anses besvärande förses avskiljarens utloppstratt med en slussmatare (cellmatare) eller två spjäll som stängs och öppnas växelvis. Slussmataren är vanligast. Den måste täta väl. Om avskiljaren är en multicyklon bör slussmatarens rotor inte förses med tätningar av gummi eller andra temperaturkänsliga material. Orsaken är att oförbränt bränsle kan ligga och pyra i filtertrattens botten och ge en temperaturökning utöver vad många organiska material tål.

För den fortsatta hanteringen efter slussmataren finns ganska stor valfrihet. Avskiljarens placering (ute eller inne) är avgörande liksom höjdförhållandena. Ibland kan man ställa en behållare för några kubikmeter direkt under slussmataren. En tätande damask eller slang används ofta så att man slipper eller minskar diffus damning. Detta är ett vanligt sätt att ta hand om flygaskan och duger väl i de flesta fall.

Det är långt ifrån alltid man kan sätta en behållare under en avskiljare. Flygaskan måste ofta lyftas några meter och kanske ledas ut ur en byggnad. En säker transportör för ändamålet är en skruvtransportör.

Pneumatisk transport av flygaskan blir gärna för kostsam i anläggningar med effekter väl under 10 MW. Om transportavstånden är stora kan man ändå överväga att använda luft för transporten. Förhållandena i det enskilda fallet får avgöra.

I slutsteget skall askan transporteras bort från anläggningen. Den tid är förbi då man kunde lägga askan varhelst det fanns en fördjupning i marken. Det finns två skolor när det gäller kvittblivning av träaska. Den ena skolan hävdar att askan måste förvaras under full kontroll på kommunal eller annan tipp, där man förhindrar att askan lakas ur och att lakvattnet skadar omgivning eller grundvatten.

Den andra skolan menar att askan uteslutande innehåller "naturliga" ämnen, en del av dem gödselämnen, och att askan lämpligen återförs till skogen där den sprids över tillräckligt stor yta.

Eftersom en spridning över stor yta är svårkontrollerad måste man räkna med att askan skall forslas till kommunal soptipp. Man bör också räkna med att ett hanteringssystem som accepterats sedan många år, när som helst kan komma att ändras med anledning av skärpta miljökrav. Sätten att handha och deponera träaska varierar mycket och varje tillståndsärende, då det gäller sådant, handläggs för sig. På många tippar kan man ta emot träaskan torr och föredrar det.

Andra har som krav att askan är våt vid mottagandet. Tendensen går mot att askan skall vara våt eller väl fuktad.

Bra, självskötande anordningar för jämn befuktning av träaska blir lätt dyra. Därför tar man gärna till enkla metoder, t ex dysbefuktning direkt i uppsamlingsbehållare. Med enkla metoder och en måttlig arbetsinsats kan befuktningen göras godtagbar utan höga kostnader. Ibland räcker det med att transporten till deponeringsplats sker slutet och att befuktning (vattenbegjutning) sker vid behållarens tömning.

Innan man väljer metod för den slutliga askhanteringen bör man noga diskutera den med dem som ansvarar för slutförvaringen.

ANLÄGGNINGSKOSTNADER

Det är synnerligen vanskligt att ange anläggningskostnader för stoftavskiljare till en eldningsanläggning. För det första är anläggningsförutsättningarna mycket olika. För det andra är anläggningar aldrig enhetliga till omfattningen.

I de flesta fall köper man inte bara en stoftavskiljare utan också rökkanaler, gasfläkt, skorsten, stofthanteringsutrustning, elutrustning osv. Alla olikheter och brister på enhetlighet gör att risken är mycket stor att kostnaduppgifter blir missvisande eller till och med oanvändbara. Ändå anges i det följande några kostnadsnivåer som kan vara till ledning när man i inledningen av ett projekt skall välja ambitionsnivå.

Om man försöker väga in alla faktorer som påverkar den slutliga kostnaden för en stoftavskiljarutrustning gäller det att först finna svaren på följande tre frågor:

- Vilka krav ställs eller kommer att ställas på den färdiga anläggningen från tillsynsmyndigheten?
- Vilka konkurrerande konstruktioner finns tillgängliga och vilka kan man ställa mot varandra i en teknisk-ekonomisk jämförelse?
- Vilken teknik passar bäst den egna anläggningen och det egna ekonomiska tänkesättet?

Med andra ord kan man säga att det gäller att finna den mest ekonomiska tekniken som både passar den egna anläggningen och uppfyller emissionskraven. Ganska snart finner man att emissionskravet på ett avgörande sätt bestämmer om en förhållandevis billig avskiljare skall kunna användas eller om priset blir betydligt högre. Följande riktvärden visar ungefärliga förväntade priser för rökgasrenare av skilda typer. Priserna är utan gasfläkt och skorsten men gäller i övrigt komplett, driftfärdig anläggning med genomsnittliga kanallängder.

<u>Effektklass</u>	<u>Kostnad 1990, kr</u>	
	<u>1 MW</u>	<u>4 MW</u>
Multicyklon	200.000	300.000
Våt stenbädd	500.000	1.900.000
Joniserad torr stenbädd	-	1.500.000
Slangfilter med multicyklon	1.000.000	1.600.000
Elfilter	-	2.000.000

Dessa kostnader redovisas enbart för att läsaren skall få en uppfattning om kostnadsrelationerna mellan de mest aktuella avskiljartyperna. Variationerna kan vara stora och det enda sättet att få fram en riktig anläggningskostnad är att infordra offert. För att göra det lättare vid en offertförfrågan har de basuppgifter som bör lämnas till leverantören för att offert skall bli realistisk sammanställt i bilaga 1.

I bilaga 2 finns checklistor visande vad en offert normalt bör omfatta. Skorstenen har utelämnats eftersom den inte direkt har att göra med stoftavskiljaren.

Man bör vid en offertgranskning vara observant på att offerter kan vara ofullständiga och ibland missvisande vad gäller den slutliga kostnaden för anläggningen. Arbeten kan vara undantagna utan att det framgår av offerten. Byggnadsarbeten kan vara mer omfattande än man räknar med. Gasfläkten kan vara felvald så att den kommer att bullra för mycket. Ljuddämpningen kan vara otillräcklig. Man kan ha valt ett enkelt material (våtavskiljare) som inte klarar miljön. Det går att göra listan längre men att riskerna är många bör framgå av ovanstående uppräknning.

KOSTNADER FÖR DRIFT OCH UNDERHÅLL

Kostnaderna för driften härrör i huvudsak från

- kontroll och inspektion
- rensning av transportvägar
- smörjning och allmän skötsel
- driftenergi för rensning
- tryckfall i stoftavskiljare och kanaler.

Driftkostnader som uppstår genom personalinsatser är omöjliga att inringa. Huvudregeln är dock att ju mer komplicerad utrustningen är desto större blir driftkostnaderna. Man kan ansätta dessa driftkostnader som en andel av

anläggningskostnaden men den metoden är vanskelig. Personalberoende driftkostnader kan också prissättas på många olika sätt. Ibland är ett marginaltänkande riktigt, dvs en liten tillkommande eller avgående insats är billig så länge inte personalens storlek påverkas.

Kostnader för driftenergi är beräkningsbara om förutsättningarna är någorlunda fastlagda. Driftenergi för rensning och tryckfall har bedömts för några olika fall och redovisas i tabellen nedan. Bedömningen kan vara missvisande eftersom många faktorer är obekanta, t ex den årliga drifttiden.

Effekt	Driftenergi kWh/år	
	<u>1 MW</u>	<u>4 MW</u>
Multicyklon	5.000	15.000
Slangfilter	15.000	60.000
Konventionellt elfilter	-	40.000
EFB	-	50.000

Med avsikt har en omräkning till elkostnad inte gjorts eftersom elpriset kan variera mycket med eltariff och andra omständigheter.

Kostnader för underhåll härrör i huvudsak från

- underhållsinspektioner
- utbyte av bristfälliga delar
- utbyte av filtermedium (slangar, bäddmaterial)
- reparationer (förslitning, korrosion)
- regelbundna eller planlagda översyner.

De vanligaste stoftavskiljarna är inte särskilt underhållskrävande. Bortser man från stora arbeten som byte av filtermedium (filterslangar och stenbäddar) och byte av typiska slitdelar, t ex för en rörlig stenbädd är den årliga underhållskostnaden högst 1% av anläggningskostnaden.

Den största enskilda underhållskostnaden alla kategorier är byte av filterslangar på ett slangfilter. Det är därför viktigt att man redan före inköp av ett slangfilter underrättar sig om vad slangbyteskostnaden blir. Innan man fått erfarenhet från den egna anläggningen kan man vid en kostnadsbedömning räkna med att slangarnas livstid är ca 2 år. Det finns dock exempler på att slangarna kunnat användas betydligt längre liksom det förekommit att slangarna förstörts på bara några månader. I det senare fallet har driftförhållandena varit mycket ogynnsamma och inte alls passat ett slangfilter eller slangmaterialet.

Korrosionsskador kan ibland ge betydande underhållskostnader. Skadorna kan bemästras på två principiella sätt. Antingen väljer man från början

korrosionsbeständigt material i utsatta delar eller påverkas driften så att skadeorsaken undanröjs. Här är en varning på sin plats. Det finns en utbredd övertro på s k korrosionströgt stål (Cor-Ten e d). Sådant stål skyddar sig med naturens hjälp mot yttre, atmosfärisk påverkan, men om det i en rökkanal ständigt eller ofta blir utsatt för vatten (kondensvatten eller droppar) korroderar det i lika mån som vanligt kolstål.

Drift- och underhållskostnadernas storlek är i mycket hög grad beroende av vilka egna resurser man har och vilka tjänster man tvingas köpa. Om man har små egna resurser för drift och skötsel (personal, kunskap etc) bör man välja en enkel och lättskött rökgasrenare. Saknar man egen personal för underhåll bör man undvika en anläggning som man vet eller befarar kan kräva stora underhållsarbeten.

Tabell 2. Jämförelse mellan anskaffningskostnad, tillgänglighet, reningseffekt, rökgastemperatur, drifts- och underhållskostnader mellan olika typer av stoftavskiljare.

	Multicyklon	Slangfilter	Elfilter	Våtstenbädd	Joniserad bädd
Anskaffningskostnad	300.000:-	160.0000:-	200.0000:-	200.000:-	150.0000:-
Tillgänglighet	95%	85%	99%	99%	99%
Reningseffekt	200 mg/m ³	35 mg/m ³	35 mg/m ³	30 mg/m ³	30mg/m ³
Rökgastemperatur	300-400°C	180-500°C	300°C	450°C	400°C
Drifts- och underhållskostnader	15.000:-	30.000:-	20.000:-	25.000:-	25.000:-

DRIFTSÄKERHET

En fastbränsleeldad pannanläggning har många svaga punkter och det kan sägas vara välbekant att de flesta av dem finns i bränslesystemet. Rökgasset systemet ger i ringa grad upphov till driftstörningar. Detta kan man utläsa ur en ganska stort upplagd undersökning /6/ av vilken framgår att rökgasset systemet orsakar mindre än fem procent av antalet driftstörningar medan bränslesystemet bidrar med två tredjedelar av antalet fel.

De grundtyper av stoftavskiljare som beskrivits har ur driftsäkerhetssynpunkt olika egenskaper som framgår av andra avsnitt. Här skall skillnaderna i driftsäkerhet behandlas översiktligt och principiellt, vilket är nära nog nödvändigt, eftersom utförandena varierar mycket.

Från undersökningar och av erfarenhet känner man de väsentligaste orsakerna till driftstörningar. Orsakerna kan sammanfattningsvis sägas vara:

- Rörliga delar som transportörer, matare och spjäll stoppar eller låser sig på grund av överbelastning, överfyllnad eller blockering av ett föremål.
- Vakter för nivå, temperatur, överström etc löser ut ett drivsystem eller hela anläggningen.
- Elektriska fel på komponenter, kretskort, givare etc ger signal som systemet tolkar som en driftstörning.
- I konstruktionen inbyggda svagheter som gör utrustningen överkänslig för små avvikelser från normalt drifttillstånd.
- Avsaknad av larmutrustning som i tid varnar för fel som förr eller senare stoppar anläggningen.

Dessa generella orsaker kan man tankemässigt pröva på avskiljartyperna för att identifiera de skillnader som finns.

Multicyklon

En multicyklon kan vara försedd med omställbara småcykloner, vilket kräver ett länksystem och ett tryckstyrt ställdon. Dessa anordningar är mycket driftsäkra. Ställkrafterna är små och förslitningen liten. Vidare ingår en eller två cellmatare under aggregatet. Dessa är driftsäkra men förslits och kräver underhåll. De rörliga delarna hos multicyklonen är få och vållar sällan driftstörningar.

I övrigt är multicyklonen enkel, robust och problemfri. De flesta konstruktioner är prövade under många år och fungerar väl. Ibland saknar man larmande givare nära stofffickans botten så att man får en förvarning om begynnande valvbildning.

Jämförd med de övriga avskiljartyperna är multicyklonen den mest driftsäkra.

Slangfilter

Till de rörliga delarna i ett slangfilter hör:

- ventiler, spjäll, ställdon m m för rensning
- filterslangar
- transportskruvar, cellmatare etc vid filtrets botten.

Antalet komponenter i rörelse är betydligt fler i ett slangfilter än i en multicyklon. Detta påverkar driftsäkerheten negativt men den faktor som betyder mest är slangarnas funktion. Om slanginfästningar är välkonstruerade, slangarna rätt monterade och rensningsfrekvensen måttlig behöver man inte befara täta slangbrott.

Om drifttemperaturen ligger nära den högsta temperaturen slangarna tål vid kontinuerlig drift, kan slangbrotten bli fler.

Ett slangfilter måste inspekteras och kontrolleras ofta. I synnerhet ett nytt filter måste följas noga så att man snabbt lär sig dess begränsningar och kan avgöra vilka de verkliga orsakerna är till inträffade avbrott. Symptomen pekar ibland åt fel håll och det är inte alltid leverantörens uttalade åsikt speglar det rätta förhållandet.

Har man väl lärt känna sitt slangfilter och blivit vaksam så att det inte överbelastas i något avseende kan man påräkna en ganska god driftsäkerhet även jämfört med elfilter. Då man börjar uppnå slangarnas livstid inträffar slangbrott allt oftare. Vid det tillfället får man i varje enskilt fall ta ställning till när tiden är inne för att byta hela slangsetsen. Om ökande tryckfall dessförinnan framtvingar ett byte av slangar går man kanske i stort fri från slangbrott.

En svaghet hos slangfilter är att avskild flygaska lätt blir hängande i stofffickornas nedre del. Orsaken är att gasturbulensen där är liten och att vattenånga från rökgasen kondenserar på de utifrån nedkylda ytorna längs ner. Flygaska häftar vid de fuktiga ytorna och ett igensättningsförlopp har startat. För att slippa detta problem brukar man hålla åtminstone fickornas nedre delar varma på elektrisk väg. Problemet, som är mest uttalat hos slangfilter men också finns hos elfilter, bör man eliminera om man är mån om driftsäkerheten. Nedkylning av filterfickorna inträffar mest på filter som är placerade utomhus. Så blir ofta fallet med slangfilter (och elfilter) därför att de normalt är för stora att ställa upp i uppvärmt utrymme.

Elfilter

Driftavbrott i ett vanligt elfilter kan orsakas av tre händelser, nämligen:

- igensättning i stoffficka (hängning)
- fel på bankningsutrustning
- kortslutning eller överström som medför att en fältspänning faller drastiskt.

Igensättningsrisken har samma orsaker som hos slangfilter, se närmast föregående avsnitt.

Bankningsutrustningarna som var och en utgörs av växelmotor, nockaxel och ett antal fallhammare har ju till uppgift att banka loss flygaskan från elektroderna. Om detta inte fungerar växer stoftbeläggningen okontrollerat. Spänningsfallet i beläggningen på utfällningselektroderna försämrar först avskiljningen. Senare orsakar beläggningarna på båda elektrodsystemen för många överslag och fältspänningen sjunker. Till sist bryts minst en del av elfiltret bort. Fel av detta slag inträffar sällan därför att bankningsutrustningarna är så enkelt uppbyggda att de aldrig stoppar om de får bara ett blygsamt underhåll.

Vissa elfilter har emissionselektroder utförda så att brott kan uppträda och elektroden falla ner och föranleda kortslutning av det elektriska fältet. Eftersom de flesta elfilter består av minst två fält (elektriskt skilda delar) kan, om kortslutning skulle inträffa, filtret drivas vidare en tid med ett fält i drift och med reducerad avskiljningsgrad. Den avbrutna elektroden avlägsnas vid första lämpliga tillfälle och filtret kan användas vidare under lång tid utan någon eller några emissionselektroder. Elektrodbrött är mycket sällsynta och påverkar inte alls den totala driftsäkerheten i en fastbränsleanläggning.

När det gäller den något okända EFB finns ännu inga erfarenheter i vårt land. Funktionen är beroende av att stenbädden är i rörelse. Stentransporten sköts av en högtrycksfläkt. Fläkten är mycket driftsäker men igensättning i en transportledning kan inträffa. Om bäddens rörelse upphör under en kortare tid fungerar avskiljningen ändå dock med något försämrat resultat. Likaså upphör inte funktionen helt för att en högspänning faller bort. Det finns alltså tid för ett avhjälpande om störningar i driften inträffar. På det stora hela taget är troligen en EFB lika driftsäker som ett konventionellt elfilter och risken för totalhaveri är synnerligen liten.

VAL AV AVSKILJARE

En stoftavskiljare skall i första hand väljas med utgångspunkt från det resultat man vill ha ut av den eller de tekniska krav som ställs på dess avskiljningsförmåga. Den totalt sett billigaste lösning som uppfyller krav och önskemål skall väljas. Detta låter mycket enkelt eftersom det är en generell hypotes som passar i de flesta valsituationer. Så alldeles enkelt är det ändå inte. För att i någon mån göra valet enklare kan man sätta upp de vanligaste och tillsammans avgörande kriterierna:

1. Tillräckligt låg emission (< gränsvärde)
2. Lägsta anskaffningskostnad för att punkt 1 skall gälla.
3. Lägsta totalkostnad för att punkt 1 skall gälla med t ex 3 års återbetalningstid på differensen till närmaste alternativ.
4. Disponibelt utrymme tillräckligt.
5. Möjlighet till värmeåtervinning.
6. Minsta krav på personalinsats och specialkunskap.
7. Godtagbar tillgänglighet (driftsäkerhet).

De avgörande kriterierna är liksom valmöjligheterna flera och det har varit omöjligt att finna ett enkelt, logiskt och systematiskt sätt att beskriva och motivera det rätta valet för olika fall. Därför beskrivs här de valsituationer som passar bäst in på de olika grundtyperna av avskiljare.

Multicyklon

En multicyklon eller annan dynamisk avskiljare väljs alltid om emissionskravet är 350 mg/m³(n) torr gas. Den medger ibland en lägre emission och kan därför

komma ifråga för något lägre emissionsgränser än den nämnda. Multicykloner täcker hela storleksområdet (<10 MW). De är billiga i anskaffning och drift. De har inom sitt användningsområde alla önskvärda egenskaper utom att de inte utan vidare medger värmeutvinning genom kondensering.

Slangfilter

För träbränseleddad anläggning utanför tätort är emissionskravet $350 \text{ mg/m}^3(\text{n})$ torr gas. Så snart man talar om anläggning inom tätort skärps kravet till $100 \text{ mg/m}^3(\text{n})$ torr gas. Detta steg är stort och framtvingar en övergång till stoftavskiljare, som är mycket effektivare än en multicyklon. Om man föredrar en torr avskiljare ligger det närmast till hands att välja ett slangfilter. Ett slangfilter med en enkel (billig) föravskiljare är det självklara förstahandsvalet om en multicyklon inte är tillräcklig och om man vill undvika en våtavskiljare.

Stofthalten i rengasen hamnar i området $5\text{--}25 \text{ mg/m}^3(\text{n})$ torr gas oftast närmare den undre gränsen. Detta gör att man efter slangfiltret utan tekniska hinder eller svårigheter kan sätta in en kylare för värmeutvinning genom kondensering. En sådan lösning är i dagens bränsleprissituation knappast lönsam men i en framtid kan denna möjlighet bli intressant.

I vissa valsituationer bör man vara försiktig med att välja slangfilter eller kanske rent av avstå. I tre principiella driftfall bör man undvika slangfilter, nämligen:

- då filterslangarna skulle bli utsatta för så fuktig gas och så låg gastemperatur att vatten ofta skulle komma att kondensera i slangmaterialet,
- då det inte går att undvika högre gastemperaturer än vad det tåligaste filtermaterialet klarar och
- då man allvarligt befarar att glödande bränslepartiklar ofta kommer att följa med gasströmmen från eldstad till filter.

Då man väl bestämt sig för ett slangfilter kan man själv påverka hur det skall vara beskaffat för att ge bästa utdelning. Först och främst bör man utförligt redovisa alla data och uppgifter om eldningsanläggningen. Detta är en grundläggande förutsättning för att man skall få offert på ett rätt anpassat filter. Ur offerten bör man bland annat kunna utläsa:

- slangmaterial, temperaturtålighet
- antal slangar
- slangarnas längd och diameter
- total slangyta (filteryta)
- rensningsmetod, tryckluftsförbrukning
- slangarnas ytbelastning (m/h alt mm/s)
- tryckfall vid normaldrift.

Innan man väljer leverantör bör man ta reda på dagspriset för en sats utbytesslangar.

I första hand jämför man uppgifterna om temperaturlåghet (vid kontinuerlig drift), ytbelastning och tryckfall. Låg ytbelastning och lågt tryckfall eftersträvas. Lågt pris för en slangats ger låg driftkostnad.

Ett slangfilter för förbränningsgas bör i de allra flesta fall förses med en föravskiljare. Det är inte säkert att det krävs en högklassig föravskiljare (t ex en multicyklon) utan man bör i första hand undersöka om man kan nöja sig med en enklare (t ex en gitteravskiljare). Ju längre väg gasen har att gå till slangfiltret och ju svalare den är, desto mindre krav ställs på föravskiljarens avskiljningsförmåga.

Våtavskiljare

Det finns i huvudsak två situationer då valet av rökgasrenare pekar mot en våtavskiljare. Den ena uppstår då man funnit avskiljningsgraden hos en multicyklon otillräcklig samtidigt som ett slangfilter visserligen är bra nog men ställer sig för dyrt. Den andra situationen är att man vill utvinna värme ur rökgasens vattenånga, dvs kondensera gasens vatteninnehåll mot våta ytor och sänka gastemperaturen.

Att införa vatten i reningsprocessen komplicerar den med rör, pumpar, slamavskiljare m m och dessutom vattenreningsutrustning i vissa fall. Man får mer arbete med anläggningens skötsel och troligen ett större underhåll än om man väljer en torr avskiljare närmast ett slangfilter. Om man utan avsikt att införa värmeutvinning i samband med gasreningen överväger att välja en våtavskiljare bör man genomföra en noggrann kostnadskalkyl i jämförelse med slangfilter. Det är inte görligt att förutspå kalkylresultatet eftersom våtavskiljare finns av flera typer med olika prisbild. Troligt är dock att slangfilter ger lägre total årskostnad för små anläggningar medan det kan bli tvärtom för de större.

I allmänhet torde våtavskiljare komma ifråga bara i de fall då värmeutvinning genom kondensering blir aktuell. De konstruktioner som då står till buds är i regel utformade för både rening och kondensering. Det finns i huvudsak två slags konstruktioner:

- a) Traditionella våtavskiljare som anpassats till kravet på kondensering.
- b) För kondensering konstruerade värmväxlare utförda så att reningen blir tillräckligt effektiv.

Under några av de senast gångna åren har man spårat en tendens till att leverantörerna har svårt att åstadkomma en stofthalt nämnvärt lägre än 100 mg/md(n) torr gas efter rening. Detta hänger samman med att den våta yta som har kontakt med gasen i första hand anpassas till den värmeeffekt man vill överföra. Den våta ytan och gasturbulensen räcker inte för att man skall uppnå

de högsta avskiljningsgraderna. Denna begränsning medför att tillgängliga konstruktioner inte alltid är tillräckliga då avskiljningskravet är stort.

Elfilter

Konventionella elfilter har i den aktuella tillämpningen en särställning eftersom ett sådant med ganska stor säkerhet är den dyraste lösningen. Därför måste det till goda skäl att motivera köp av elfilter. De egenskaper som kan väga mest till dess fördel är:

- okänslighet för hög temperatur
- den höga avskiljningsgraden
- det låga tryckfallet
- den goda tillgängligheten.

Hög avskiljningsgrad kan man få med slangfilter och god tillgänglighet med en multicyklon, som också är temperaturlig. Dock är elfiltret en synnerligen bra lösning om man i flera avseenden har högt uppställda mål.

Den stora anskaffningskostnaden kompenseras dels av att driftkostnaden blir låg på grund av det ringa tryckfallet, dels av att underhållskostnaden är synnerligen låg. Låga rörliga kostnader ger ingen stor utdelning på bara några år. Först efter flera år känner man att man fått ersättning för sina utlägg. I detta avseende förväntar man sig ett nytänkande. Det är vanligt att man inom industrin fortsätter elda år efter år i en gammal "spis" trots att den drar höga kostnader för eldning, slagning, sotning och underhåll. Investeringsbudgeten medger inte en ny panna. Driftbudgeten är av slentrian tilltagen så att den täcker den livsnödvändiga driften. Hela verksamheten står och faller med att man får värme varje dag året om.

Tills på senare år har inte rökgasrenare betraktats som särskilt angelägna eller nödvändiga. Idag när omgivningsmiljön betraktas som vår viktigaste tillgång har rökgasrenaren blivit lika nödvändig som värmepannan. Man köper inte en rökgasrenare för att den skall ge utdelning på kort sikt utan för att den är oundgänglig för verksamheten, som inte kan fortgå utan den.

Ett konventionellt elfilter, som används och sköts på rätt sätt, har en teknisk livstid på mer än 20 år. En årlig "vinst" ackumulerad under ett antal år som står i rimlig relation till den tekniska livstiden bör kunna väga tungt då man står i begrepp att välja rökgasrenare. Tiden kan utan tvivel anses vara mogen för ett förnyat tänkesätt vid ekonomisk utvärdering av olika möjligheter att köpa stoftavskiljare. Detta bör innebära att de ganska kostsamma elfiltren kan komma att hävda sig på marknaden.

Den förhållandevis nya EFB ställer sig påtagligt billigare i anskaffning än ett vanligt elfilter och torde kunna hävda sin ställning i många driftfall. Dess okänslighet ger stora fördelar men tryckfallet är större än hos ett vanligt elfilter. Den totala driftkostnaden blir ävenledes större liksom underhållskostnaden. - Om man är osäker på att ett slangfilter kan klara de aktuella driftförhållandena

bör man utan tvekan undersöka både konventionellt elfilter och EFB. Vid den inbördes jämförelsen bör man beakta att drift och underhåll blir kostsammare för en EFB.

REFERENSER

1. Miljöskyddslagen (ML), SFS 1989:363
2. Miljöskyddsförordningen (MF), SFS 1989:364
3. Statens Naturvårdsverk, Allmänna råd 87:2
Fastbränsleeldade anläggningar 500 kW-10 MW
4. Miljöskyddshandboken, Industriförbundets förlag, 1988
5. Fastbränsledoktorn, Statens energiverk, 1987
6. Hur går våra mindre fastbränsleanläggningar,
Energiupphandlingsdelegationen, 1985
7. Textila spärrfilter, STF Ingenjörutbildning, 1978

BASUPPGIFTER FÖR FÖRFRÅGAN

Dessa basuppgifter bör om möjligt lämnas till leverantören vid anbudsförfrågan. Alla uppgifter är inte nödvändiga men är viktiga för att anbudet skall bli jämförbara. Använd gärna en kopia av denna sida som en minneslista. I upphandlingspapperen skall det stå att anläggningen ej fullbetalas av köparen innan den efter provkörningen är godkänd.

Bränsleslag (ursprung, styckstorlekar, variationer)	
Bränslets fukthalt, normalt	%
Bränslets fukthalt, lägst	%
Bränslets fukthalt, högst	%
Eldningsutrustning (typ, kort beskrivning)	
Panna (fabrikat, typbeteckning)	
Pannans värmeeffekt	MW
Pannverkningsgrad	%
Rökgasflöde	m ³ (n)/h
Rökgastemperatur efter panna	°C
CO ₂ -halt i rökgasen (ev O ₂ -halt)	%
Stofthalt i rågasen	g/m ³ (n) torr gas
Dimensionerande stofthalt i rengasen	mg/m ³ (n) torr gas
Bullerkrav (max ljudnivå på visst avstånd)	
Driftförhållanden (tider, belastning – kort beskrivning)	
Befintlig utrustning (slag, dimensioner, data – t ex gasfläkt, äldre avskiljare, skorsten)	
Tillgängligt utrymme (planskiss ev med ytor för utrustning markerade)	
Tillgänglig yttre försörjning (elkraft, vatten, tryckluft)	
Egen arbetsinsats (elarbeten, målning, byggarbeten etc)	

Dessa basuppgifter bör om möjligt lämnas till leverantören vid anbudsförfrågan. Alla uppgifter är inte nödvändiga men är viktiga för att anbudet skall vara jämförbara.

CHECKLISTA MULTICYKLON

Denna checklista används vid granskning av anbud. Man kan inte kräva att alla poster omfattas av anbudet men måste räkna med att varje post motsvaras av en kostnad någon gång på något konto. Ofullständiga anbud måste kompletteras med egna kalkyler för det som saknas i anbudet. Listan kan också användas i samband med förfrågan. Använd gärna en kopia av sidan och stryk det som inte önskas.

- Multicyklon
- Kanaler från panna till skorsten
- Returkanal för fullflödesreglering
- Spjäll för styrning och stängning
- Stosar och expansionsanordningar
- Gasfläkt med motor
- Slussmatare och stoftspjäll
- Stoftbehållare
- Isolering på heta ytor, beklädnad
- Stativ, bärverk, ramar
- Lejdare, plattformar, skyddsräcken
- Fundament
- El- och styrutrustning, ställdon
- Övervaknings- och larmutrustning
- Ytbehandling
- Igångkörning
- Dokumentation

För "större" anläggningar tillkommer:

- Eventuell sekundär cyklon
- Stofttransportutrustning
- Container för uppsamling och transport av stoft

CHECKLISTA SLANGFILTER

Denna checklista används vid granskning av anbud. Man kan inte kräva att alla poster omfattas av anbudet men måste räkna med att varje post motsvaras av en kostnad någon gång på något konto. Ofullständiga anbud måste kompletteras med egna kalkyler för det som saknas i anbudet. Listan kan också användas i samband med förfrågan. Använd gärna en kopia av sidan och stryk det som inte önskas.

- Föravskiljare
- Slangfilter med rensningsutrustning
- Kanaler från panna till skorsten
- Kanal förbi slangfilter
- Spjäll för styrning och stängning
- Stosar och expansionsanordningar
- Gasfläkt med motor
- Slussmatare
- Stoftransportutrustning
- Container för uppsamling och transport av stoft
- Varmhållningsfläkt för slangfilter med motor
- Varmluftsbatteri för varmhållning
- Varmhållningsutrustning för stoffickor
- Tryckluftledning
- Isolering på heta ytor, beklädnad
- Stativ, bärverk, ramar
- Lejdare, plattformar, skyddsräcken
- Fundament
- El- och styrutrustning, ställdon
- Övervaknings- och larmutrustning
- Ytbehandling
- Igångkörning
- Dokumentation

CHECKLISTA VÅTAVSKILJARE

Denna checklista används vid granskning av anbud. Man kan inte kräva att alla poster omfattas av anbudet men måste räkna med att varje post motsvaras av en kostnad någon gång på något konto. Ofullständiga anbud måste kompletteras med egna kalkyler för det som saknas i anbudet. Listan kan också användas i samband med förfrågan. Använd gärna en kopia av sidan och stryk det som inte önskas.

- Dyskammare alt blandningskammare alt fyllkroppstorn etc
- Kanaler från panna till skorsten
- Kanal förbi avskiljare
- Spjäll för styrning och stängning
- Stosar och expansionsanordningar
- Droppavskiljare
- Återvärmare
- Slamvattenbassäng
- Vattenbehandlingsutrustning
- Cirkulationssystem med pump
- Avvattningsanordning
- Slambehållare för uppsamling och transport
- Isolering på heta ytor, beklädnad
- Stativ, bärverk, ramar
- Lejdare, plattformar, skyddsräcken
- Fundament
- El- och styrutrustning, ställdon
- Övervaknings- och larmutrustning
- Ytbehandling
- Igångkörning
- Dokumentation

CHECKLISTA ELFILTER

Denna checklista används vid granskning av anbud. Man kan inte kräva att alla poster omfattas av anbudet men måste räkna med att varje post motsvaras av en kostnad någon gång på något konto. Ofullständiga anbud måste kompletteras med egna kalkyler för det som saknas i anbudet. Listan kan också användas i samband med förfrågan. Använd gärna en kopia av sidan och stryk det som inte önskas.

- Filterkammare komplett med el- och styrsystem
- Kanaler från panna till skorsten
- Spjäll för styrning och stängning
- Stosar och expansionsanordningar
- Gasfläkt med motor
- Stofttransportutrustning
- Container för uppsamling och transport av stoft
- Varmhållningsutrustning för stoftfickor
- Isolering på heta ytor, beklädnad
- Stativ, bärverk, ramar
- Lejdare, plattformar, skyddsräcken
- Fundament
- El- och styrutrustning, ställdon
- Övervaknings- och larmutrustning
- Ytbehandling
- Igångkörning
- Dokumentation

LEVERANTÖRER AV STÖFTAVSKILJARE

Edifo AB Rönnskärsverken 932 00 SKELLEFTEHAMN Tfn 0910-315 25	Vätelektrofilter
Fläkt Industri AB 351 87 VÄXJÖ Tfn 0470-87 000	Multicykloner Slangfilter Våtavskiljare Elfilter
Hotab Eldningsteknik AB Gamledammvägen 302 41 HALMSTAD Tfn 035-13 55 40	Multicykloner Slangfilter
Invertex International AB Box 11100 500 11 BORÅS Tfn 033-416 20	Våt stenbädd
Novenco Industri AB Box 4134 422 04 HISINGS BACKA Tfn 031-52 08 15	Elfilter
NVS Teknik Box 608 421 26 VÄSTRA FRÖLUNDA Tfn 031-49 03 00	Våtavskiljare
Precip HB Yttervik 11608 931 91 SKELLEFTEÅ Tfn 0910-461 20	Joniserad stenbädd
AB Ventilatorverken Bronsyxegatan 9 213 75 MALMÖ Tfn 040-22 90 40	Multicykloner Slangfilter

Detta digitala dokument
skapades med anslag från
**Stiftelsen Nils och Dorthi
Troëdssons forskningsfond**

Träte **tek**

INSTITUTET FÖR TRÄTEKNISK FORSKNING

Box 5609, 114 86 STOCKHOLM
Besöksadress: Drottning Kristinas väg 67
Telefon: 08-14 53 00
Telefax: 08-11 61 88

Åsenvägen 9, 553 31 JÖNKÖPING
Telefon: 036-12 60 41
Telefax: 036-16 87 98

Skeria 2, 931 87 SKELLEFTEÅ
Besöksadress: Bockholmsvägen 18
Telefon: 0910-652 00
Telefax: 0910-652 65