



STIFTELSEN FÖR VÄRMETEKNISK FORSKNING

Kontroll över bränsle- luftförhållandet i pulverbrännare

Martin Gierse
Jan Sieurin

35-06-07 EB-85/4

KONTROLL ÖVER BRÄNSLE-LUFTFÖRHÅLLANDET I
PULVERBRÄNNARE

Martin Gierse, Jan Sieurin

Niklas Bengt

PE3332A

40 ex

HUVUDINNEHÅLL

Rapporten beskriver olika metoder att transportera kolpulver till brännare, såväl direkta som indirekta system diskuteras. Resultat presenteras och diskuteras från mätningar av kvaliteten vid pneumatisk transport och splittring av kol-luftblandningar. Huvudvikten på rapporten ligger i en granskning av möjligheterna att med olika mätprinciper kunna kontrollera och styra förbränningsprocessen och erhålla en samverkan mellan olika brännare.

Bättre mätteknik är idag en förutsättning för att öka utbränningen men framför allt är det en förutsättning för utnyttjande av ny teknik, t ex vid låg NO_x-brännare.

CONTROL OF FUEL-AIR RATIO IN PULVERIZED FUEL BURNER

ABSTACT

This report describes different methods for transport of pulverized coal to burners, direct methods as well as indirect systems are discussed. Results from measurements in pneumatic transport are presented and discussed. The main part of the report is a review of the possibility with different measurement principles to control and guide the combustion process and get an interaction between several burners.

Better measurement technics will lead to increase of burnout and even more important with new burner technics give better control over NO_x -emission.

1985-06-07

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	<u>Sid</u>
1. INLEDNING	3
2. BAKGRUND	4
3. SYSTEM FÖR PULVERDOSERING OCH TRANSPORT	10
3.1 Direkt matning	12
3.2 Indirekt matning	17
4. MÄTNING VID PNEUMATISK TRANSPORT	28
4.1 Intressanta parametrar	28
4.2 Mätbara parametrar	28
4.3 Användbar mätteknik	30
4.3.1 Tryckfallsmätning med munstycke och venturidysa	34
4.3.2 Coriolis kolflödesmätare	37
4.3.3 Aktiv akustisk mätare	39
4.3.4 Dielektricitetsmätare	41
4.3.5 Cross correlation	43
4.3.6 Mekanisk utsugning	45
5. FLAMÖVERVAKNING	49
5.1 Olika principer för flamöver- vakning	49
5.2 Avancerad flamövervakning	52
6. SAMMANFATTNING OCH KOMMENTARER	53
LITTERATURFÖRTECKNING	54
BILAGA A. Informationsbesök hos danska Elkraft	
BILAGA B. Reserapport: amerikanska brännar- tillverkare oktober 1984.	

1985-06-07

1. INLEDNING

Föreliggande litteraturstudie kartlägger befintlig teknik för mätning av kolflöden och flamövervakning vid kolpulverbrännare. Olika system för att dosera och transportera kolpulver beskrivs i ett avsnitt.

Målet är att granska de nuvarande möjligheterna att med hjälp av mätteknik, både utanför och inuti pannan, styra förbränningsprocessen och samverkan mellan olika brännare.

Den sedvanliga eller avsaknaden av mättekniken tillåter idag t ex massflöden att avvika kraftigt från anvisade värden.

Bättre mätteknik är inte bara ett steg till bättre verkningsgrad utan möjliggör framför allt ett effektivare utnyttjande av ny teknik, t ex låg- NO_x -brännare.

En bättre kontroll av förbränningsprocessen ger också en rad andra fördelar, såsom mindre explosionsrisk, jämnare värmeavgivning, mindre risk för korrosion osv.

Denna litteraturstudie är en inledning till praktiska försök med mätteknik inom kolpulvereldningsområdet.

2. BAKGRUND

Pneumatisk transport eller materialbefordring i en gassuspension är i praktiken oftast något relativt obekant, som sker inuti rörledningar, osynligt för användaren. Det homogent fördelade flöde som man ofta antar strömma igenom ledningarna motsvaras sällan av verkligheten.

Tittar man närmare på vad som händer inne i en ledning kan man iaktta fenomen som t ex visas i Figur 2.1. Partiklarnas vägbanor i ledningen varierar, beroende på deras storlek, hård- och tröghet, hastighet och ledningens materialegenskaper. Den statistiska uppehållstiden varierar och kan leda till densitetsskillnader över en tvärsnittsarea av ledningen. Figur 2.2 ger ett exempel på hur olika partikelstorlekar, under annars lika förhållanden, kan ge olika densitetsförlopp i ledningen.

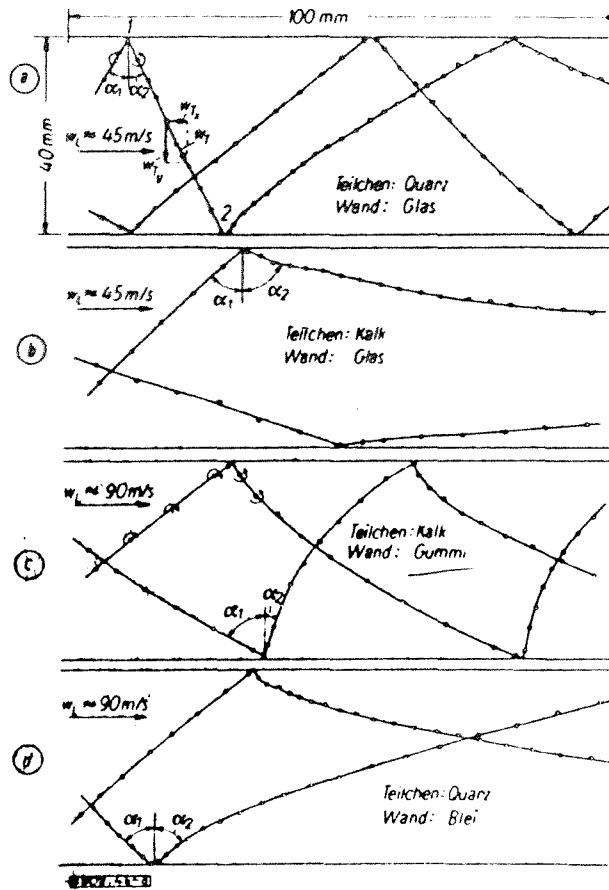
Den ovannämnda densitetsändringen förekommer i raka ledningar. I praktiken tillkommer ett annat fenomen: Strängbildning genom partiklarnas acceleration (tyngd, böjda rör). Figur 2.3 visar två extrema exempel på detta fenomen.

Man försöker i praktiken visserligen att undvika sådana extrema fall, men ändå finns det mycket överraskande exempel på hur det verkligen ser ut inuti en pneumatisk transportledning.

Figurerna 2.4 och 2.5 visar detta.

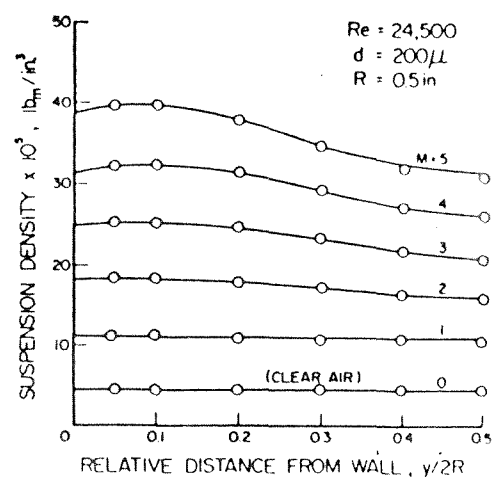
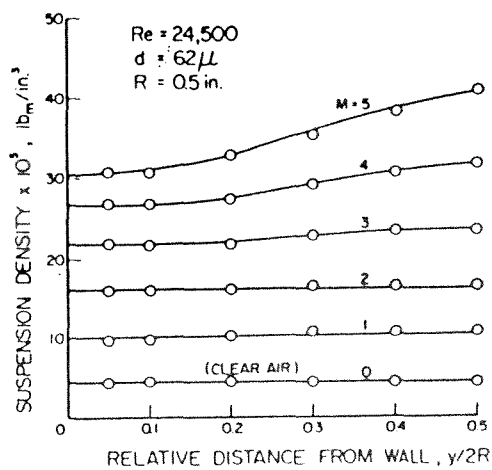
Figur 2.4 visar densitetsförlopp på olika ställen inom ett pneumatiskt transportsystem. Det framgår tydligt att det råder allt annat än ett homogent dispersivt flöde. Densitetsskillnaden är ibland större, ibland mindre. Områden

1985-06-07



Figur 2.1

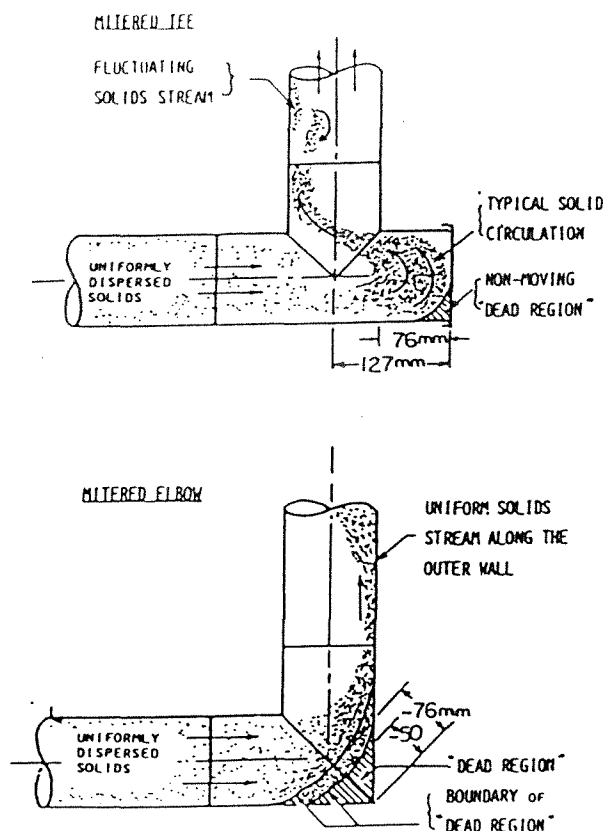
Partiklarnas vägbanor i olika materialkombinationer och luftflöden (17).
 Particles' way with different material combinations and air flows.



Figur 2.2

Olika densitetsförlopp beroende på partiklarnas storlek (18).
 Different density profiles depending on particles' size.

1985-06-07



Figur 2.3

Typiska flödesmönster i två böjar (inre diameter 102 mm) (19).

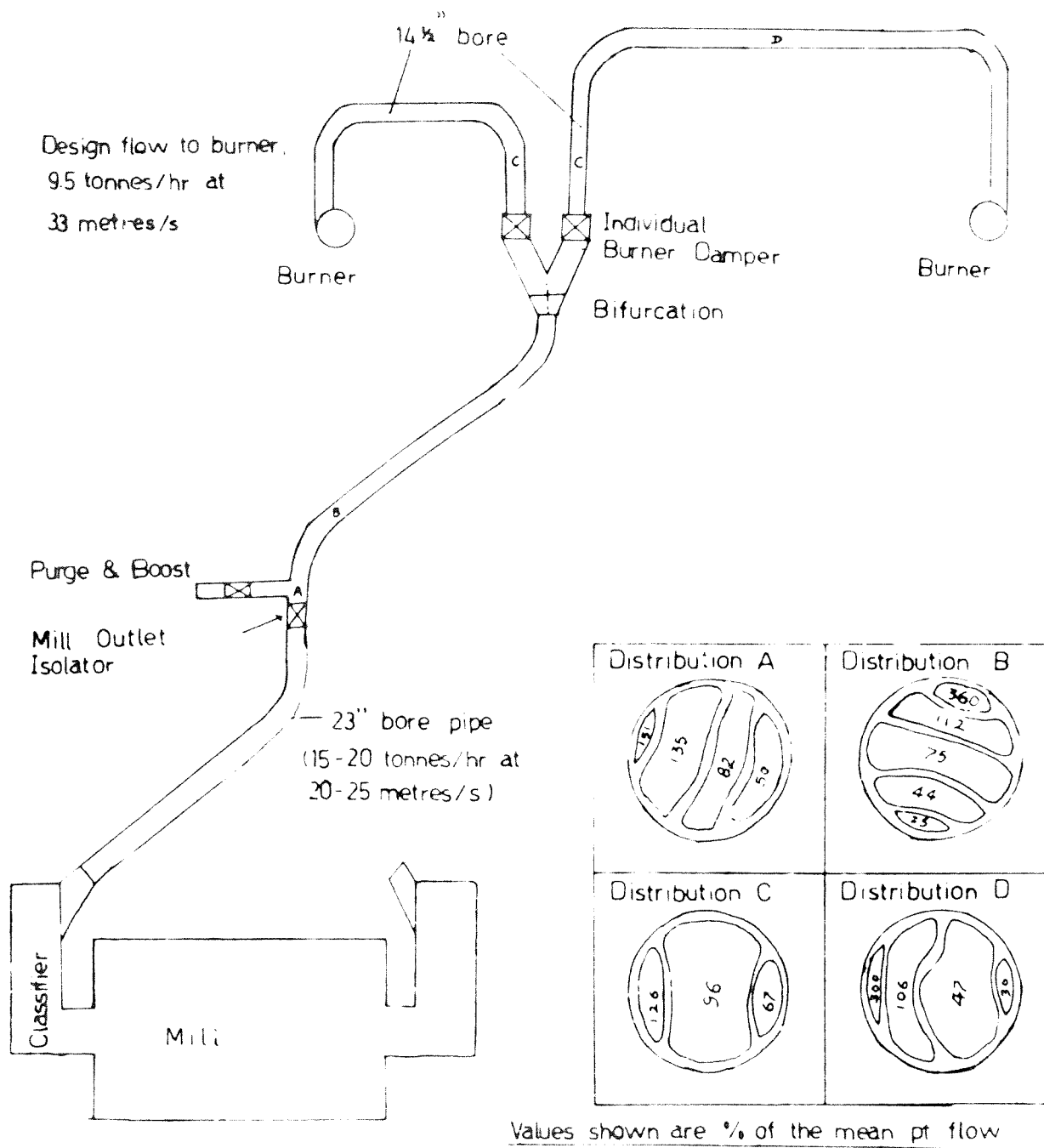
Typical flow pattern within two types of elbows.

med större eller mindre densitet skiftar beroende av rådande strömningsförhållanden. På grund av att strömningsmönstren kan vara svåra att förutse är det i praktiken nästan omöjligt att ange passande ledningsdragningar redan under uppbyggnaden.

Vilken effekt detta har på kolflödesmängden till olika brännare visas i Figur 2.5. Här ser man sex brännare som är kopplade till en kvarn. Såväl flödesmängdernas avvikelse från medelvärdet, som den ganska kraftigt varierande kornstorleksfördelningen, framgår tydligt.

Ovannämnda resultat har erhållit genom kvasi-isokinetisk utsugning.

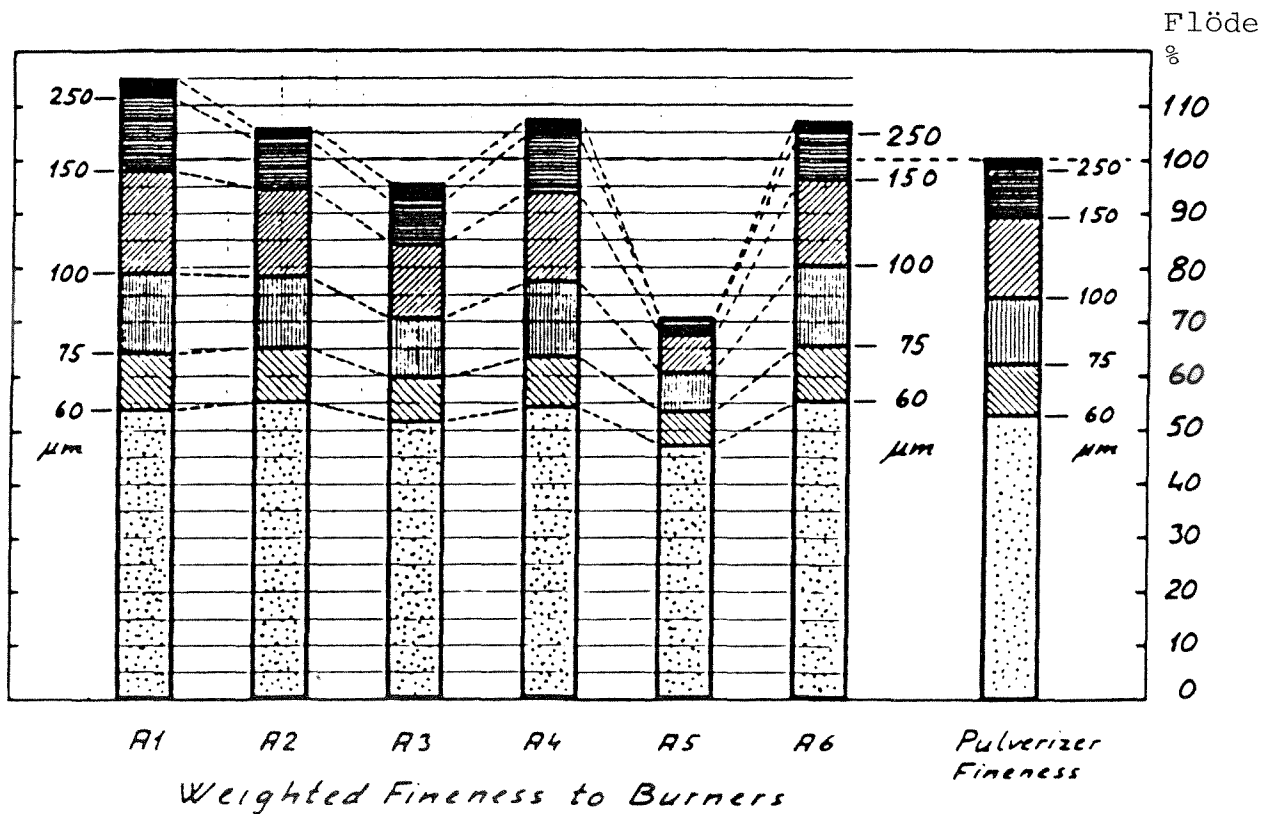
1985-06-07



Figur 2.4

Typisk kvarn + pulvertransportsystem samt densitetsfördelningar i olika punkter (1).
 Typical mill + powder conveying system with density profiles in different points.

1935-06-07



Figur 2.5

Olika fraktioner av kolflödet till olika brännare.
Different coal flow fractions to burners.

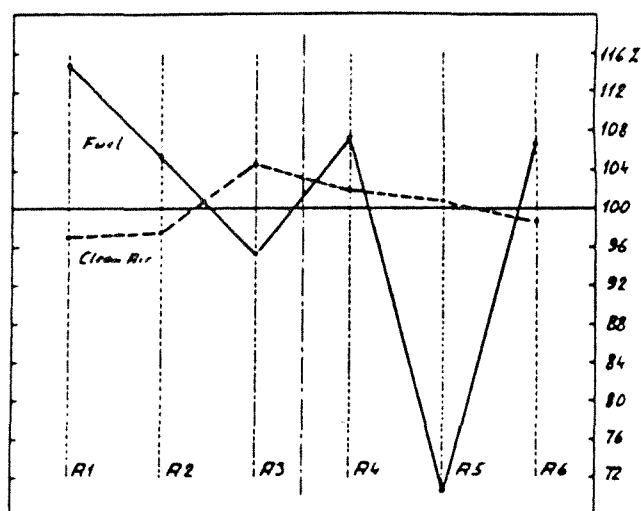
De nämnda exemplen ger goda skäl för den nu följande undersökningen av dagsläget inom flödesmättekniken.

Ett mycket vanligt sätt att ställa in det individuella flödet till varje enskild brännare är att se till att luftflödena (utan kol) i de olika ledningarna är lika.

I Figur 2.6 har det gjorts en jämförelse mellan rena luftflöden och pulverflöden i sex ledningar som kommer ifrån en gemensam kvarn.

Resultaten visar att den typen av inställning inte alls är lämplig, utan att förhållandena är motsatta mot de förväntade, det minsta luftflödet har det högsta kolflödet (se Figur 2.6).

1985-06-07



Figur 2.6

Fördelning av pulverkol och ren luft i brännarledningar (2).
Distribution of pulver coal and pure air to different burners.

Det kan alltså konstateras att i förgrenande ledningar är varken densitetsförlopp, kornstorleksfördelning eller massflöde lika.

Detta påverkar utsprutningskvalitet, förbrännings-egenskap och stökiometri och leder till olika prestanda hos olika brännare.

Föreliggande rapport försöker ge en överblick över mätutrustning för såväl kolpulverflöde som olika brännares prestanda. Det gäller alltså dels mätningar i transportledningen och dels själva eldstaden. Dessa mätmetoder ska i det följande granskas.

1985-06-07

3. SYSTEM FÖR PULVERDOSERING OCH TRANSPORT

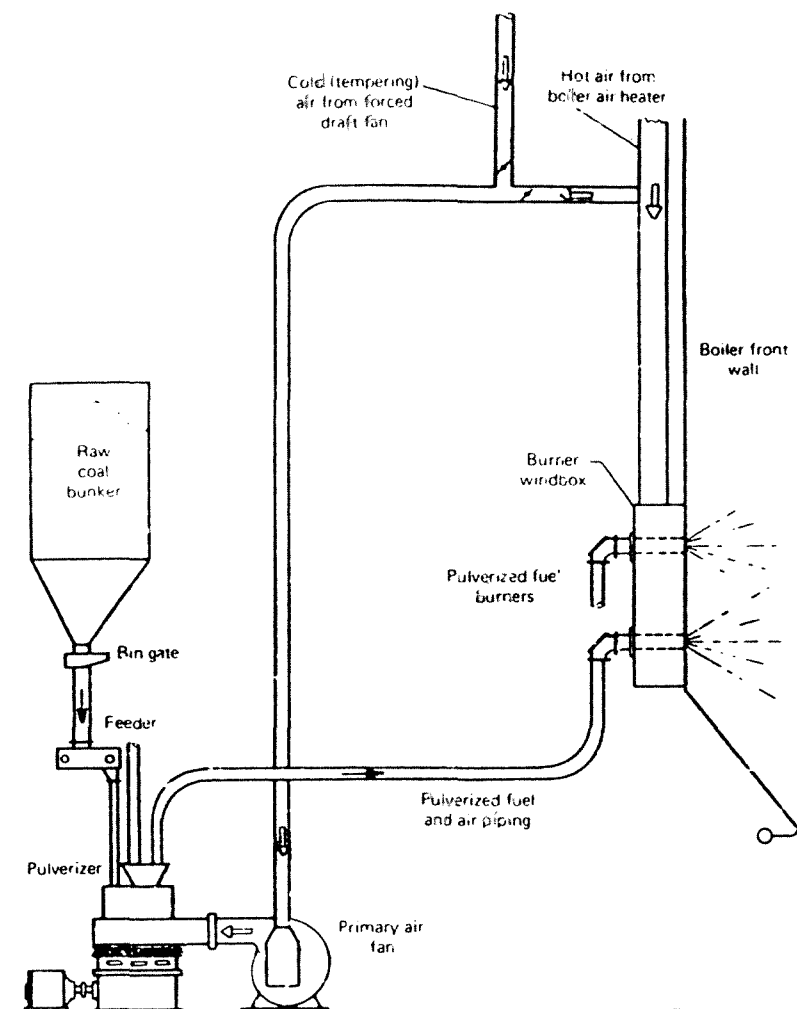
Transport av kolpulver till brännare sker alltid pneumatiskt oberoende av om det är från en kvarn eller silo. Generellt sett är det inte några tekniska problem att transportera material av olika beskaffenhet pneumatiskt, utan är idag känd teknik. Emellertid kräver vissa tillämpningar en jämn och pulsationsfri matning, vilket är av stor vikt vid utveckling av nya processer, t ex låg- NO_x -brännare, slaggande förbränning vid reducerande atmosfär, kolförgasare och MHD. I större anläggningar måste man även kunna splittra upp ett flöde till ett antal jämnt fördelade delflöden, vilket också är ett stort problem om kraven på noggrannhet är höga.

Det i särklass vanligaste sättet att transportera kolpulver till en brännare är med den direkta metoden, se t ex Figur 3.1, kolet doseras till en kvarn och blåses sedan direkt till brännarna. I alternativet, den indirekta metoden, se t ex Figur 3.2 har man delat upp processen i två steg:

1. Kolpreparering och lagring
2. Transport och injicering.

Råkolet matas från en bunker till en kvarn med ett enda utlopp. I kvarnen mals och torkas kolet samtidigt. Torkningen sker med varma rökgaser eller luft upp till 350°C beroende på kolets fukthalt. Det malda kolet separeras från gasen i en cyklon (90-95 %). Resten fångas upp i t ex ett bagfilter. Det malda kolet transporteras sedan till olika brännare eller alternativt (se Figur 3.2) till ett antal mindre doseringssilon som kan placeras flera kilometer från malanläggningen.

1985-06-07

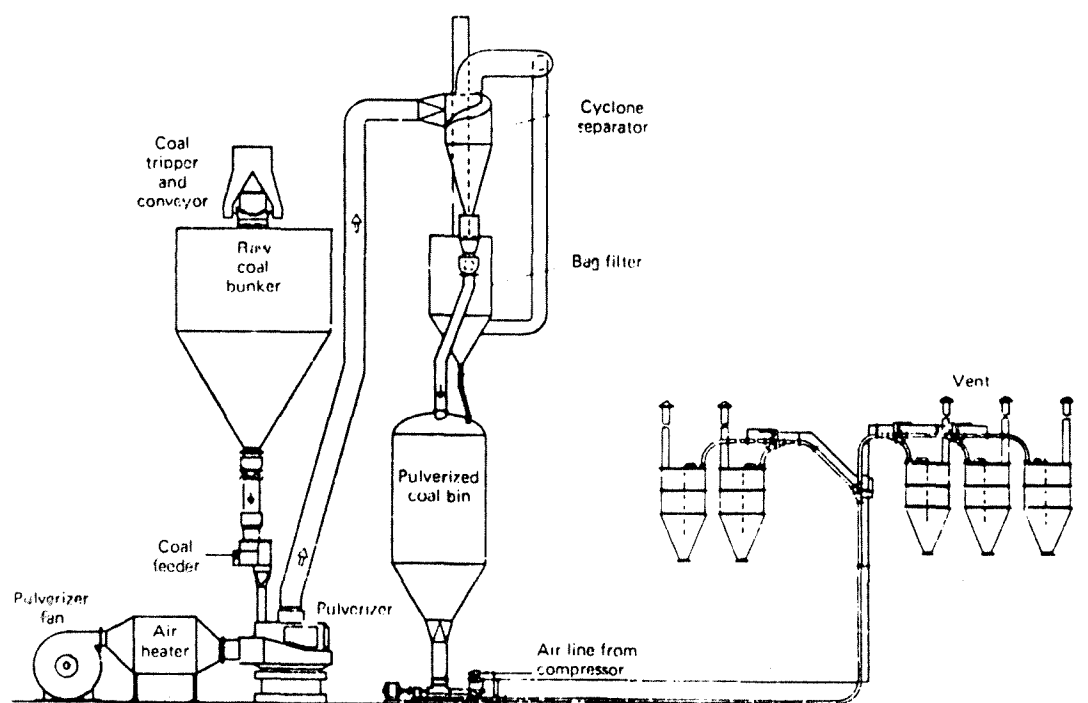


Figur 3.1

Direkt matningssystem (21).

Direct firing system.

1935-06-07



Figur 3.2

Indirekt matningssystem (21).

Indirect firing system.

3.1 Direkt matning

Förbränning av kol som pulver är vanligast i stora pannor >100 MW, medan de lägre effektområdena oftast täcks med fluidiserade bäddar och rostpannor. Valet av direkta metoder som är helt dominerande vid stora anläggningar är baserad på följande faktorer:

- låga investeringskostnader
- möjlighet att "on line" justera storleksfördelning via inställning av klassificering
- mindre risk för explosioner.

1985-06-07

Kolet tillförs kvarnen och pulveriseras kontinuerligt och transporteras pneumatiskt direkt till brännarna. En kvarn förser ett antal brännare med pulver. Vid tangentiellt eldade pannor finns normalt en kvarn kopplad till varje nivå och vid väggeldade pannor kan en rad av brännare kopplas till en kvarn.

Det finns ett flertal olika sätt att tillföra transportluft till kvarnen. Figur 3.3 visar tre vanliga system och Tabell 3.1 jämför primärluft-fläktens data. Luftens temperatur kan varieras beroende på kolets fukthalt.

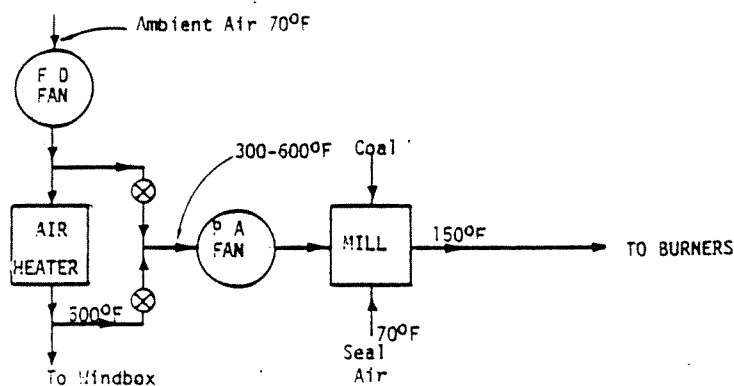
Fördelen med "suction mill system" är att kvarnen arbetar vid ett svagt undertryck, vilket innebär att koldamm inte tränger ut i otätheter och lager osv. Idag är dock inte dessa så vanliga då kolpulvret sliter hårt och den typen av fläktar är mindre effektiva än renluftsfläktar.

Det finns många olika konstruktioner på kvarnar, vilka indelas med avseende på hastigheten med vilken de arbetar.

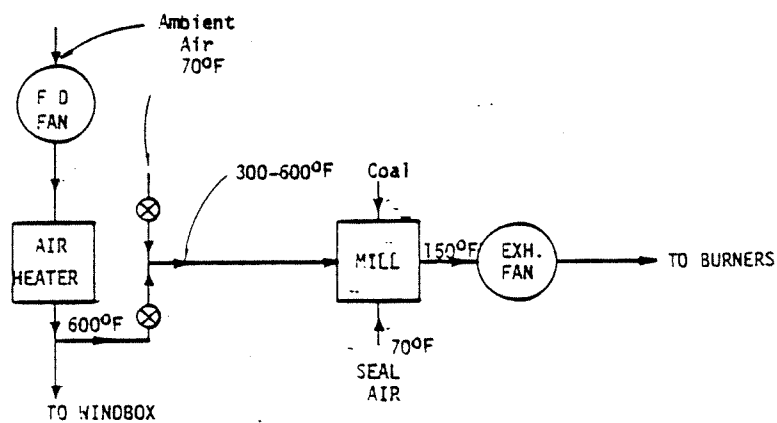
Låghastighetskvarnar eller tyngdkraftskvarnar består av en stor roterande cylinder med härdade stålkulor. Malningen av kolet sker dels genom slag mot trummans väggar och dels genom krossning mellan kulorna. Figur 3.4 visar ett exempel på en kulkvarn, in- och utmatning sker på bägge ändar av cylindern.

Medelhastighetskvarnar eller valskvarnar är vanligen vertikalt drivna där kolet mals mellan fjäderbelastade rullar eller kulor och ett roterande malbord, se t ex Figur 3.5.

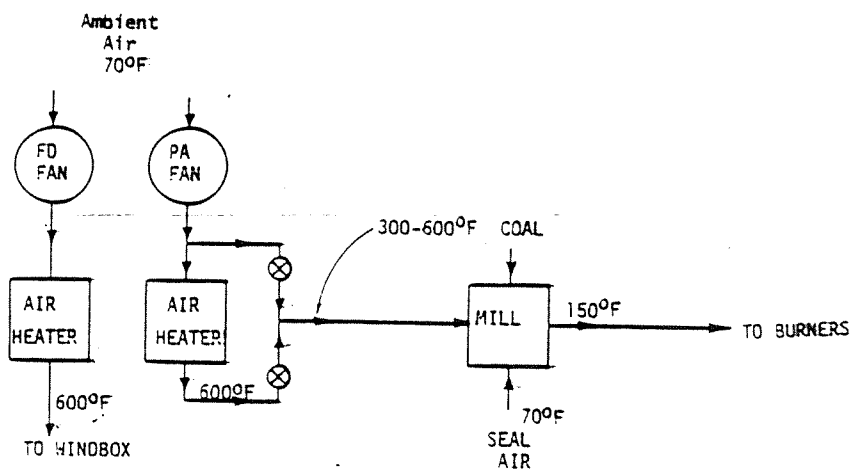
1985-06-07



(A) Pressurized Mill System



(B) Suction Mill System



(C) Separate Primary Air System

Figur 3.3

Alternativa primärluftsystem (22).

Alternate primary air supply systems.

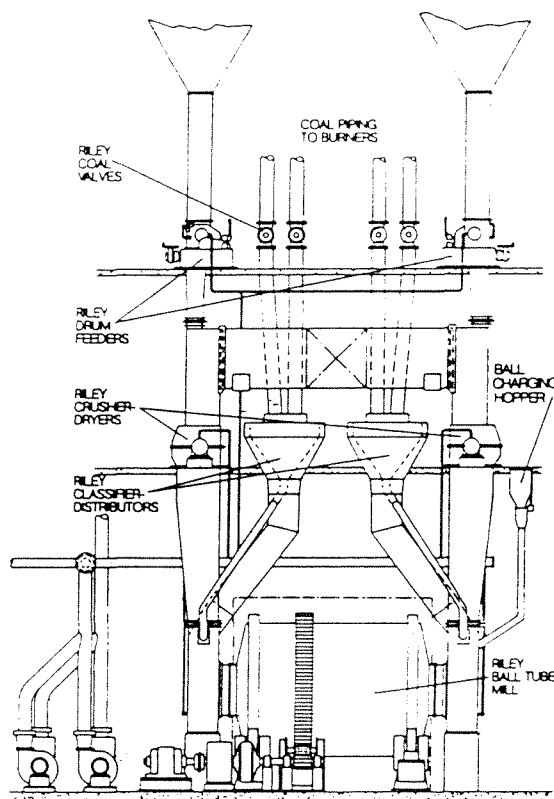
1985-06-07

Tabell 3.1

Primärluftfläkt - data för vanliga direkteldade system.

Pa fan inlet conditions for common direct fired systems.

CONFIGURATION	PA FAN CONDITIONS		
	MEDIUM	TEMPERATURE	PRESSURE
Pressurized mill system	Air	Ambient = 70°F	Typically + 5 to 10 in. H ₂ O depending on FO Fan pressure/various with coal characteristics
Suction system	Air and Pulverized Coal	Typically 130-180°F depending on coal	Typically - 10 in. H ₂ O depending on mill operation/ varies with coal characteristics
Separate primary air system	Air	Ambient = 70°F	Ambient

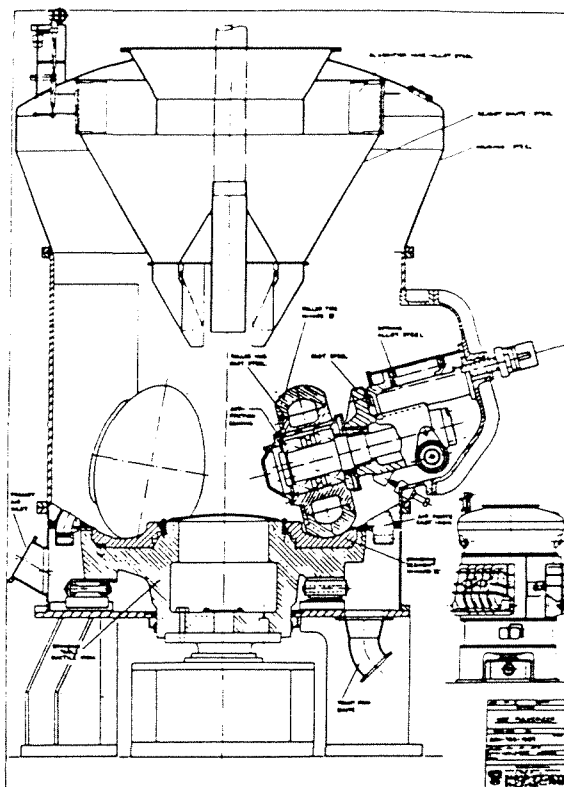


Figur 3.4

Kulkvarn, Riley (22).

Riley Ball - Tube Mill System.

1935-06-07



Figur 3.5

Valskvarn - Foster Wheeler (22).

Roll and Ring Mill, Foster Wheeler.

Höghastighetskvarnar eller slagkvarnar krossar materialet mellan vingar eller hammare och en anslagsyta. Denna kvarntyp är mindre vanlig vid malning av stenkol på grund av mycket högt slitage.

Gemensamt för de flesta kolkvarnar är att råkolet tillförs tillsammans med den förvärmade luften. Kolet torkas och mals tills partiklarna är tillräckligt små för att följa med luftströmmen ut ur kvarnen till klassificeraren. Överstora partiklar separeras och förs tillbaka till kvarnen. Klassificerarna kan justeras så att utgående partikelstorlek kan varieras inom ett visst intervall. Om mängden recirkulerat material ökas för att minska partikelstorleken

1985-06-07

till brännarna kommer materialmängden i kvarnen att öka varvid kapaciteten slutligen måste minskas.

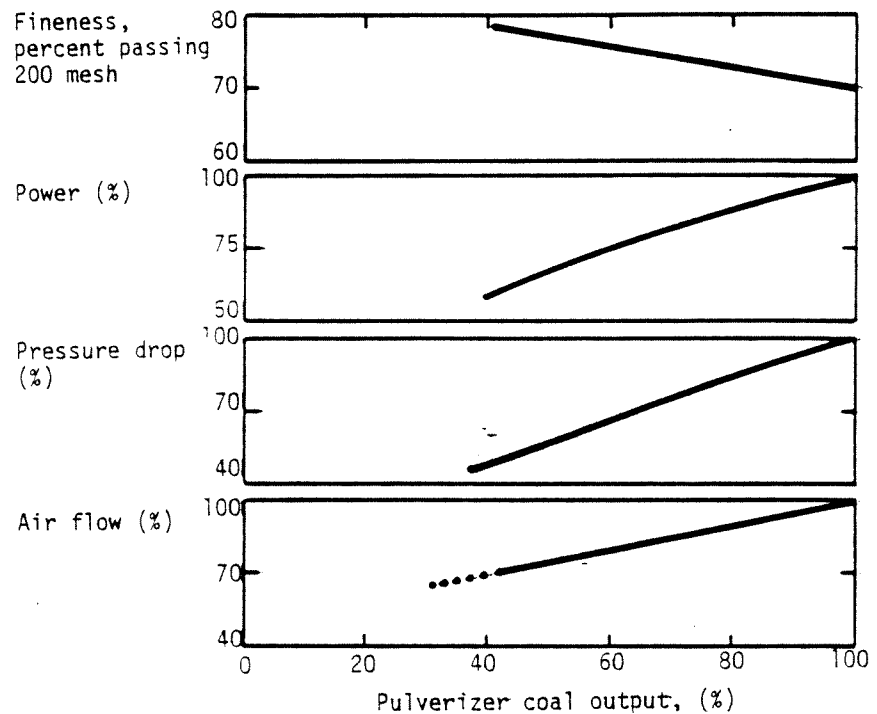
Primärluftflödet baseras på kvarnens konstruktion och torkningen av kolet. Vid fullast motsvarar luftflödet normalt ett kol/luftförhållande på 0.5. Rörledningar är dimensionerade för att ge en hastighet som förhindrar saltation eller slugging. För en given storlek på ledningar kan luftmängden varieras inom ett smalt intervall. Höga lufthastigheter ökar tryckfallet och erosionen. Lägre hastigheter ger avsättningar av pulver i ledningarna. Förhållandet mellan primärluftmängd och kolflöde vid olika laster anges av kvarntillverkaren, se t ex Figur 3.6. När kolflödet minskar så minskar luftflödet men i lägre takt, vilket innebär att kol/luftkvoten minskar. Vid minlast, 40 %, har luftflödet minskats till 70 %, jämfört med fullast. Kol/luftkvoten har då minskats med en faktor 1.75.

Efter kvarnen ska flödet normalt fördelas till ett antal brännare. Det bästa resultatet uppnås om fördelning kan göras direkt i kvarnen. Detta är också en fördel för trycksatta kvarnar, dvs primärluftfläkten är placerad före kvarnen. Det vanliga sättet att styra flödet från en kvarn till de olika brännarna är att med strypningar i ledningarna se till att tryckfallet är lika. Av praktiska skäl genomförs denna inställning med ren luft.

3.2 Indirekt matning

Indirekt matning används främst vid förbränning av lågflyktiga kol som t ex antracit, eller där anläggningen är så liten att investerings- och driftkostnaderna för en kvarn blir oproportionellt

1985-06-07

Figur 3.6

Lastdata för B&W MPS kvarn (22).

B&W MPS Load Schedule.

stora. Andra motiv för indirekt matning kan vara stora krav på snabb reglerbarhet eller där man av värmetekniska skäl inte önskar vattenånga från torkningssteget och fordrar höga luftförvärmningstemperaturer. Vid direkta metoder har man alltid stora primärluftmängder vid låga temperaturer, på grund av självantändningsrisken i kvarnarna.

Anläggningar där man idag ofta använder indirekt matning är t ex

- vid slaggfumingugnar (avrykning av Zn)
- injicering av kolpulver i masugnar
- bränning av kalk vid cementindustrier
- pannor för eldning av antracit

1985-06-07

- småpannor <100 MW med tillgång till centralmatningsanläggning
- brännare för tändning- och uppvärmning av stora pannor.

Ett indirekt matningssystem för kolpulvertransport till brännare består vanligen av följande:

- dosersilo
- doserare
- trycksluss
- pneumatisk transport

Dosersilon kan fyllas diskontinuerligt från en förrådssilo via pneumatisk transport eller slussas in via en skruv eller slussventiler om dosersilon är placerad i direkt anslutning till förrådssilon. Förrådssilon kan fyllas direkt från kolkvarnen genom att kolpulvret skiljs av med cyklon och spärrfilter, se t ex Figur 3.1. Vid transport från en centralmatningsanläggning kan transport ske med bulktransport på järnväg eller med bil.

Vid indirekt matning ska kolpulvret matas från en silo till en ledning vid ett högre tryck. Det innebär att man dels ska slussa materialet mot ett högre tryck, dels ska dosera pulvret jämnt.

Det finns fyra olika principer som används vid dosering och slussning in i transportledningen.

1. Sluss med inbyggd doserfunktion, t ex
 - a. cellmatare
 - b. skruvmatare
2. Venturi

1985-06-07

3. Dosering på sugsidan av transportluft-fläkten

4. Blåstankar.

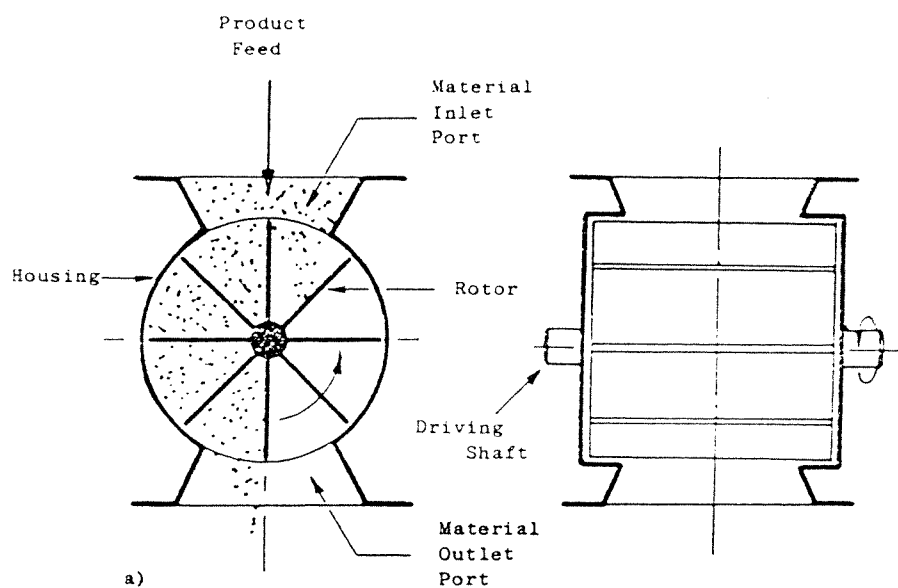
1. Sluss med inbyggd doserfunktion

a) Cellmatare

Detta är den utan tvekan vanligaste metoden att dosera vid indirekta system. Figur 3.7 visar principen för en cellmatare. På grund av att cellmataren inte är en perfekt trycksluss har man alltid ett visst läckage. För att inte störa inmatningen av pulver är det vanligt att läckaget ventileras bort. Figur 3.8 visar två exempel på hur detta löses. Ett sätt att minska läckaget är att utforma transportledningen som en venturi, se Figur 3.9. Cellerna kan utformas på olika sätt för att ge ett så jämnt och pulsationsfritt flöde som möjligt. Figur 3.10a visar den vanligaste utformningen av celler medan 3.10b visar en variant med mindre djupa celler som ger ett jämnare flöde. Genom att vinkla rotorbladen eller öka antalet celler minskas eventuella pulsationer, vilket ger ett jämnare flöde.

För att undvika att cellerna inte hinner tömmas helt eller att den effektiva volymen ska minskas kan cellmatarens utmatningsdel utformas så att transportluften får blåsa rent cellerna, se Figur 3.11. Ytterligare en utveckling av detta är att cellmataren byggs in i dosersilon. En hålskiva roterar inne i silon, som fluidiseras för att åstadkomma en säker och jämn fyllning av cellerna i hålskivan. När cellerna kommer mitt för transportledningen blåses cellerna rena, se Figur 3.12.

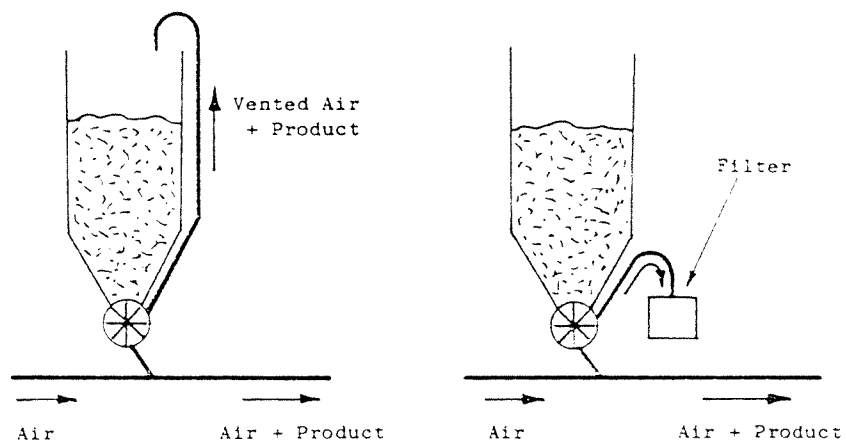
1985-06-07



Figur 3.7

Cellmatare, genomströmningsventil (23).

Drop-through rotary valve.

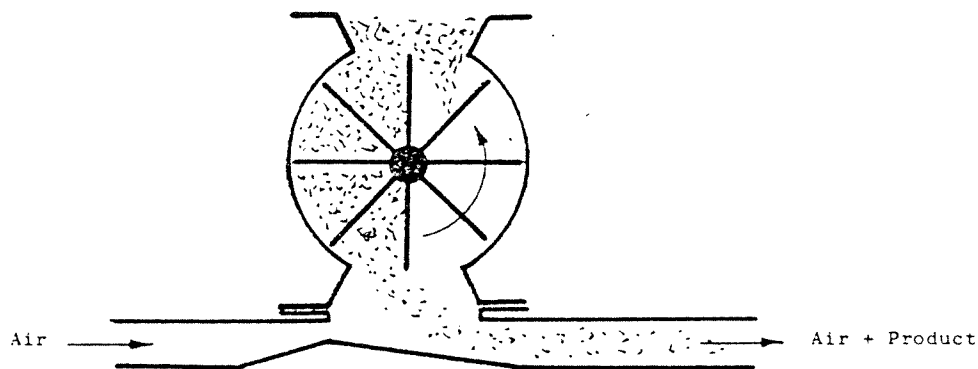


Figur 3.8

Ventileringstekniker (23).

Venting techniques.

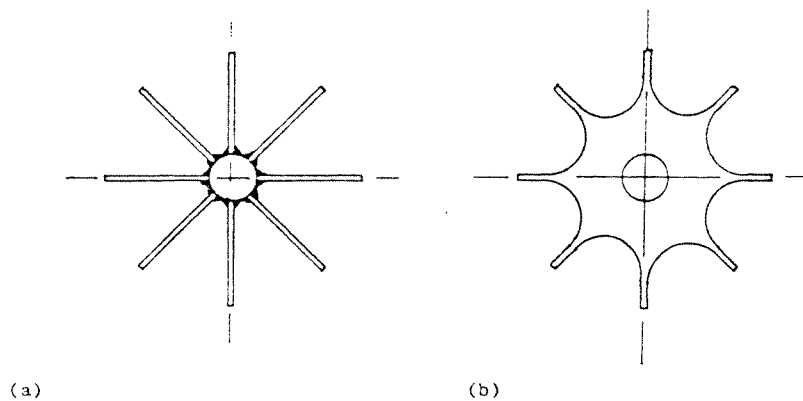
1985-06-07



Figur 3.9

Cellmatare med venturiutmatning (23).

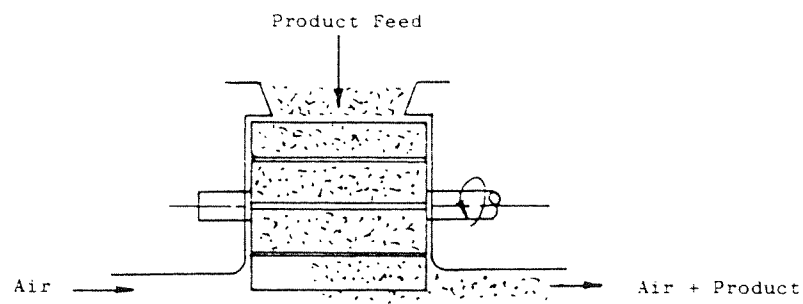
Rotary valve with venturi entrainment section.



Figur 3.10

Utformning av celler (23).

Pocket configurations.

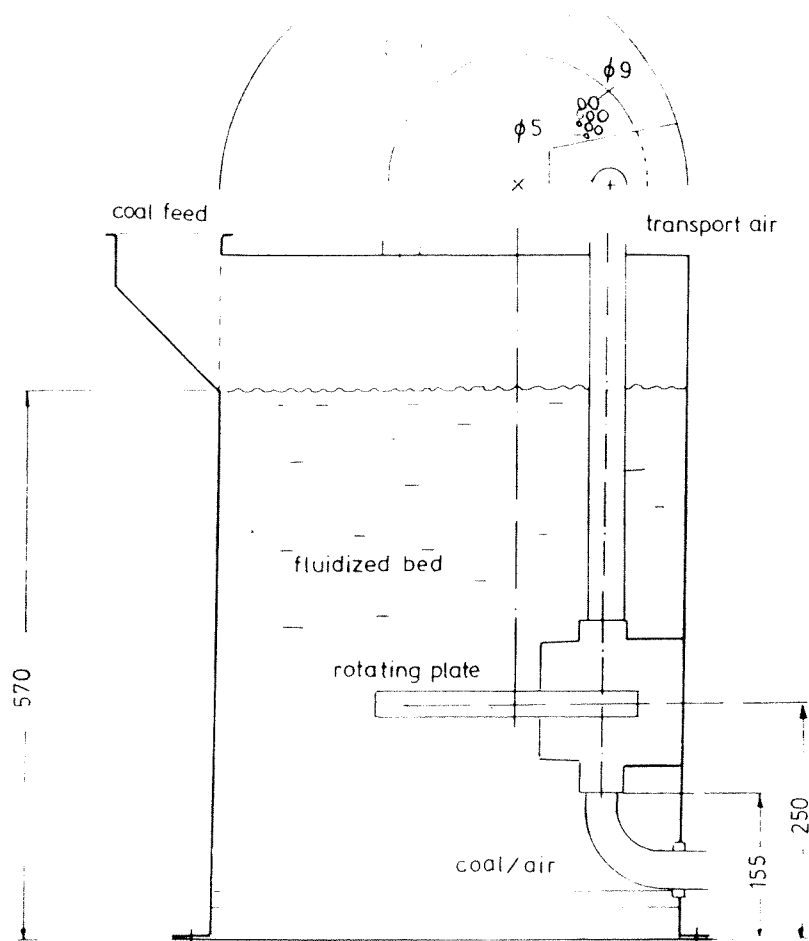


Figur 3.11

Genomblåsningmatare (23).

Blow through valve.

1985-06-07



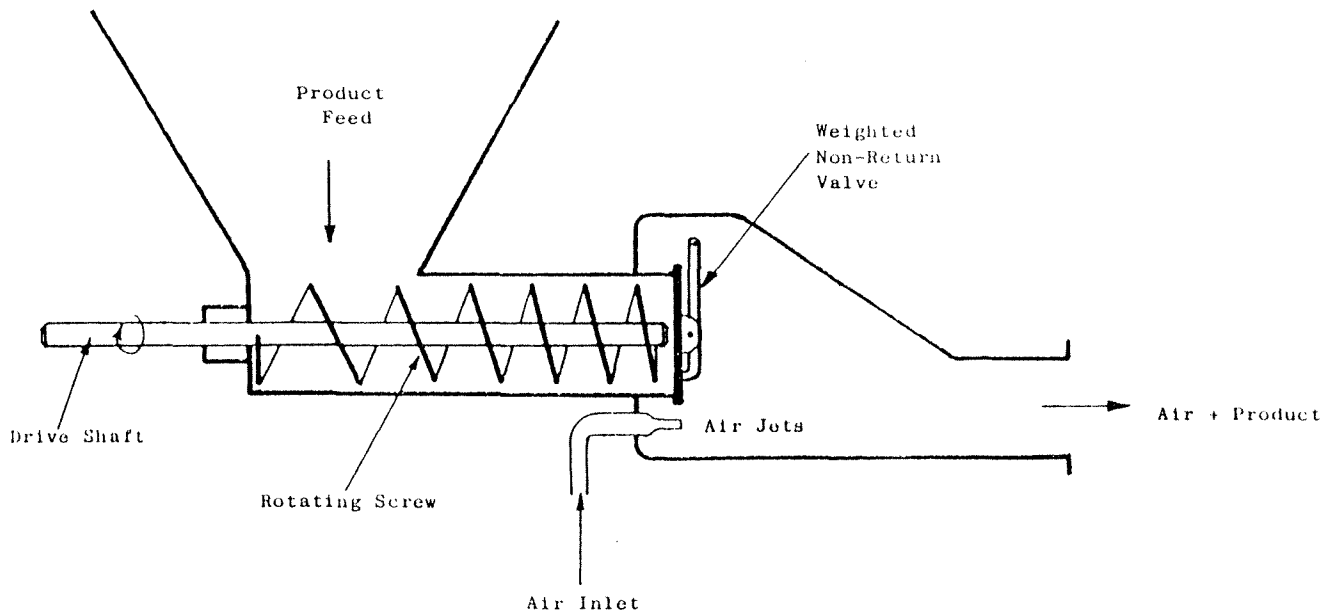
Figur 3.12

Dosersilo med inbyggd cellmatare (25).
Rotating valve inside the dosing bin.

1b. Skruvmatare

Enkla skruvmatare kan inte användas vid dosering in i pneumatiska system då den inte är tillräckligt tät. Genom att successivt minska stigningen på skruven bygger man upp en komprimerad plugg som kan ta upp ett visst tryck. Fuller-Kinyon-pumpen utvecklades från början för att transportera cement men används även för kolpulver, se Figur 3.13. En fördel med denna konstruktion är att den kan arbeta mot stora tryck (2 bar) och

1985-06-07

Figur 3.13

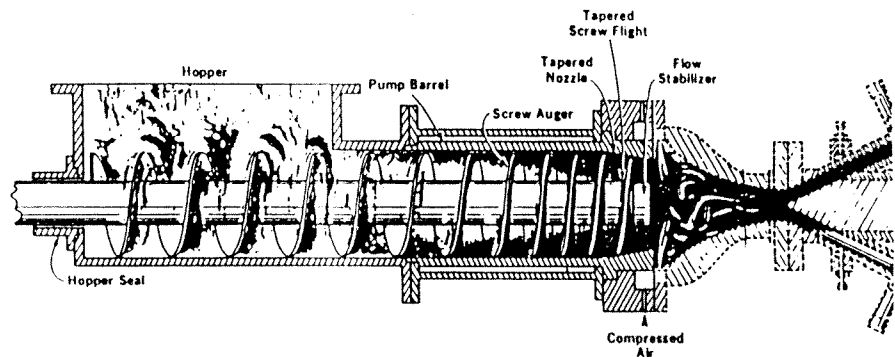
Fuller-Kinyon pump (23).

används med fördel vid trycksatta system och vid långa transporter. Combustion Engineering i USA har utvecklat en skruv som ingår i ett "dense phase" transportsystem för kolpulver, DIPC, som står för direct ignition of pulverized coal. Kolet matas in i skruven som roterar med upp till 1300 rpm, se Figur 3.14. Kolet pressas ut mot periferin av centrifugalkraften och på grund av skruvens minskande stigning ökar bulkdensiteten. Efter skruven tillförs transportluft tangentiellt med högt tryck. Flödet kan sedan splittras upp till ett flertal olika ledningar, se Figur 3.15.

2. Venturi

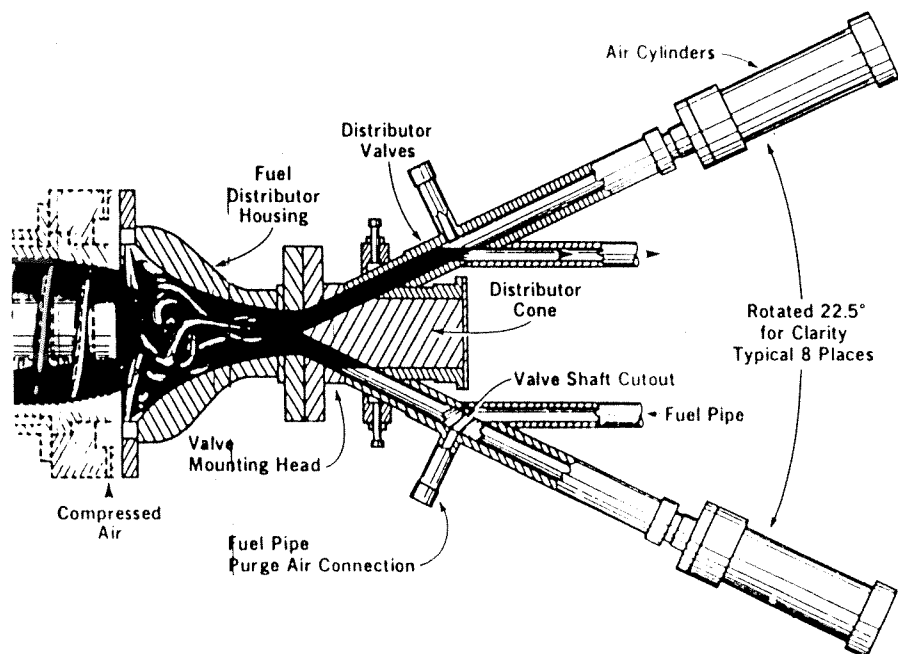
Ett av problemen med matning in på trycksidan i en transportledning är läckaget. Detta kan lösas genom att öka hastigheten i inmatningspunkten, s k venturimatare. Minskningen av arean ger upphov till ett minskat statiskt tryck så att

1995-06-07



Figur 3.14

Pneumatisk skruvpump för dense phase (24).
Dense phase pneumatic screw pump.

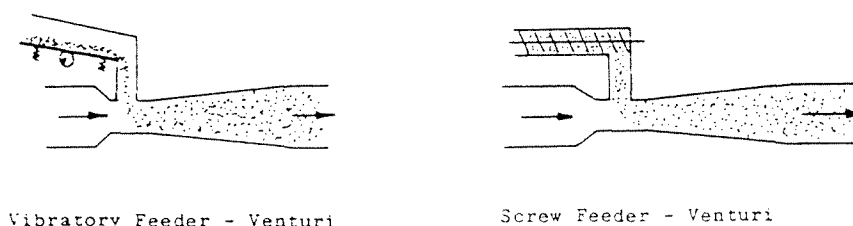


Figur 3.15

Bränsleventil. Combustion Engineering (24).
Fuel distributor.

pulvret kan matas in gravimetriskt. En venturi kopplas samman med någon form av doserare som inte nödvändigtvis behöver kunna arbeta mot tryck. Två exempel på detta visas i Figur 3.16, dels vibrationsmatare, dels en enkel skruvdoserare.

1935-06-07

Figur 3.16

Dosersystem kopplade till venturimatare.

Metering devices for venturi feeders.

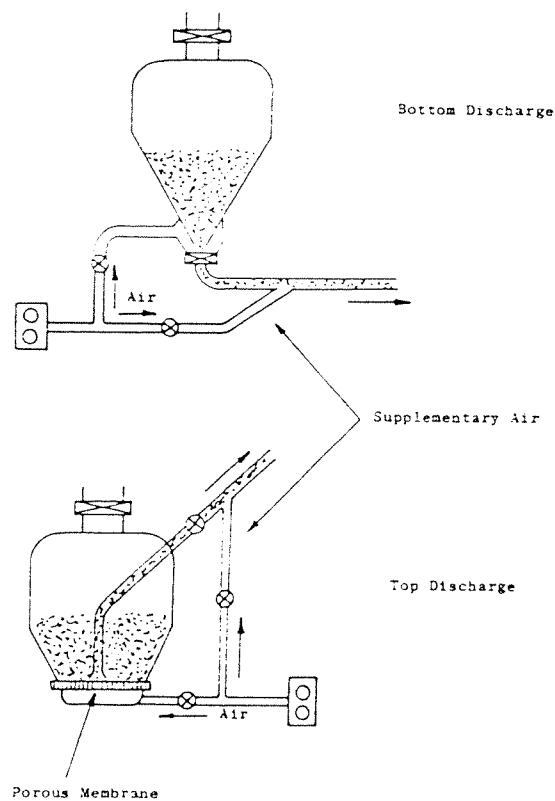
3. Dosering på sugsidan av transportluft- fläkten

Genom att dosera materialet på fläktens sug sida sker tryckökningen inne i fläkten och man behöver därför inte dosera vid en positiv tryckgradient. Liksom i avsnittet ovan kan man då använda alla typer av doserapparater. Att mata materialet genom fläkten är inte så vanligt för kolpulver men används såväl för träpulver som för torvpulver.

4. Blåstankar

Samtliga system som beskrivits ovan så när som på de mer avancerade skruvmatarna arbetar med transportluft vid lågtryck och drivs med fläktar. Den tryckuppsättning som då erhålls begränsar transportavstånden till storleksordningen 300 m vid dilute phase transport och 50 m vid dense phase. Genom att trycksätta hela dosersilon och slussa in pulvret kan man under höga tryck transportera pulvret långa avstånd eller in i trycksatta system. Figur 3.17 visar två olika utformningar av blåstankar. En fördel med dessa system är att de saknas rörliga delar i dosersystemet och att de kan arbeta med tryck upp till 8 bar.

1935-06-07



Figur 3.17

Två blåstanksystem för pulvermatning (23).

Two blow tanks for pulverized coal transport.

1935-06-07

4. MÄTNING VID PNEUMATISK TRANSPORT

Mätning av flödet i en ledning som leder fram till brännaren är ett viktigt moment.

I det följande behandlas först viktiga parametrar för en sådan mätning, sedan belyses vilka möjligheter som finns för att mäta ett kolflöde i gassuspension. Till sist presenteras några utvalda mätmetoder.

4.1 Intressanta parametrar

De parametrar som bestämmer massflödet är:

- o luftflödet
- o partikelflödet
- alternativt
- o lufthastighet
- o bulkdensitet
- o partikelhastighet

Punktvisa mätningar av materialflöde och partikelhastighet ger besked om densitetsförlopp.

Partikelstorleksanalys på pulvermaterial ifrån olika håll i ledningen ger information om partikelseparation i olika storleksområden.

4.2 Mätbara parametrar

Direkta bestämningar av de i avsnitt 4.1 nämnda parametrarna kan t ex göras optiskt och gravimetriskt.

Förutsättningarna för att kunna använda sådana mätningar i samband med flödeskontroll i ett system med förgrenande transportledningar är dock tämligen dåliga.

1985-06-07

Optiska kontroller förutsätter oftast en inte alltför tjock blandning som vanligen inte föreligger.

Kontrollinstrument som baserar sig på viktnskningen är odugliga för mätningar inom förgrenade ledningar och kan bara ge totalflöden.

Andra än de ovannämnda mätmetoderna använder sig för det mesta av empiriska samband mellan efterlysta parametrar och kolpulvrets inneboende egenskaper.

En hel del sådana mätbara effekter på kolpulver/-gas-suspension återges i det följande:

Mätteknik/pulvertransport

Mätbara parametrar:

- optiska (synligt ljus, fotografi, laser)
- tryckfall (munstycke, rör, venturi)
- akustiska (bullernivå, högaccelererade partiklar, frekvensabsorberande)
- elektriska (partiklarnas uppladdning)
- kapacitansförändring (dielektricitetsförändring)
- kraft/impuls (drag body, target)
- viktnskning (feeder hopper)
- isolerat rör
- matningspuls (kort avstängning, luftbubbla)
- isokinetisk insamling
- högenergistråle (γ -tomografi)
- radioaktiv vaccination (radioaktiva partiklar i röret)

Det är nu inte meningen att i detalj gå igenom en lång rad av använda mätsystem. För en sådan genomgång kan det rekommenderas sammanställningar som finns i litteraturen (3) (4).

För att förtydliga några av de ovannämnda effekterna och deras användbarhet i mätväg, se Figurerna 4.1-4.4.

Figur 4.1 visar tryckfallsmätningar i en kolpulvertransportledning under realistiska körningar mot en brännare. Man ser tydligt uppkörningsfas, stabil fas och fluktuationer. Mätningen har genomförts vid Studsviks 3 MW-ugn.

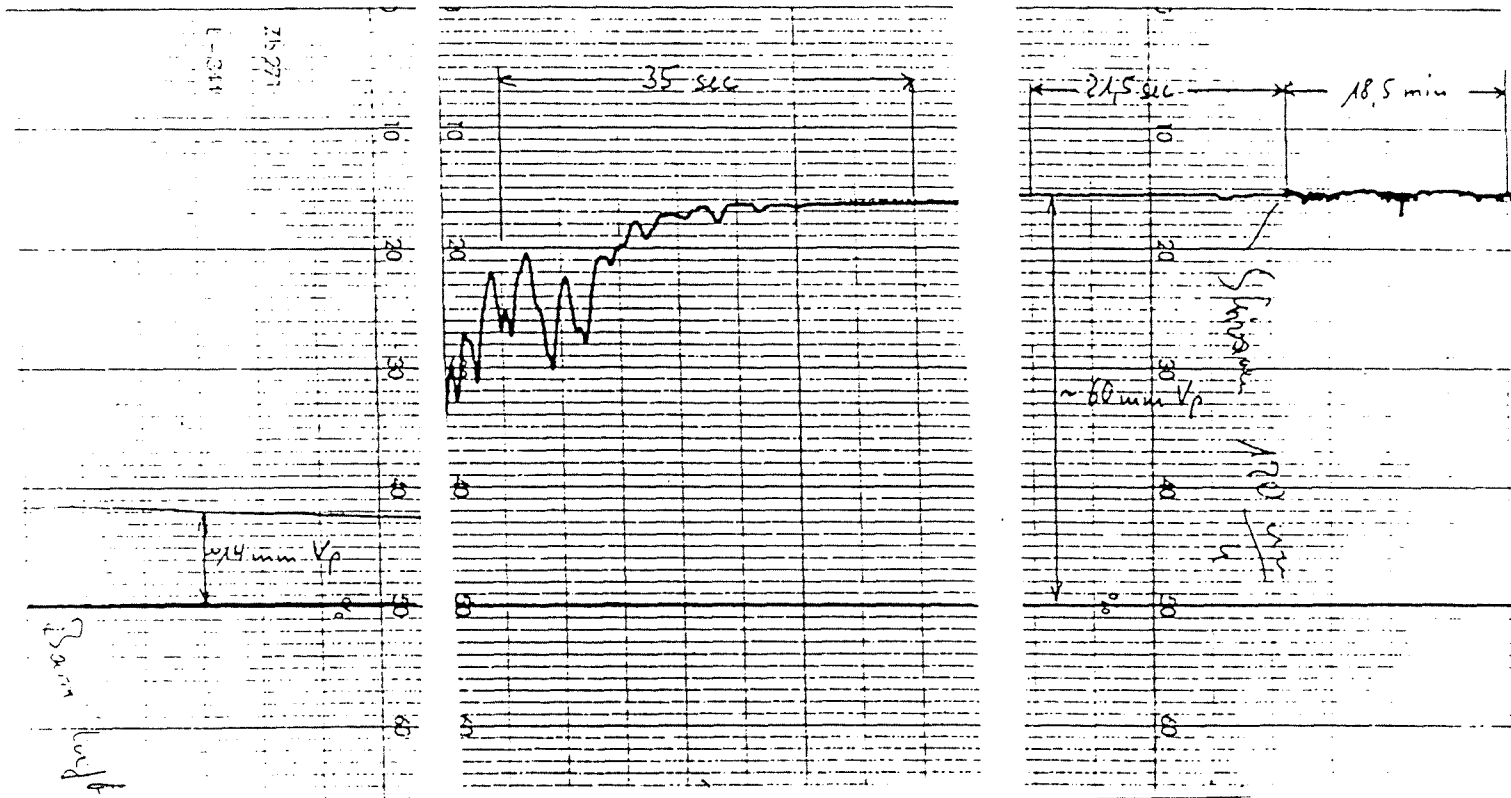
Figur 4.2 visar hur tryckförhållandet i och utanför en strypzon inbyggd i en pneumatisk transportledning kan tjäna som en mätare för mängden kolflöde.

Figur 4.3 visar ljudnivån vid olika kolmängder och varierande luftmängder. Det framgår i det här fallet att den här metoden bara är lämplig för låga kol/luftmängdförhållanden.

Figur 4.4 visar sambandet mellan elektrostatiske uppladdningar och kol/luftmängdförhållandet. Sådana samband måste dock anses vara ganska osäkra på grund av att uppladdningsfenomenet inte är tillräckligt känt (3).

4.3 Användbar mätteknik

I det här avsnittet ska presenteras en översikt över några intressanta mätinstrument eller metoder. De presenterade mätinstrumenten och metoderna är i några fall enkla och billiga i andra fall mera avancerade.



a) Luftflöde ca $60 \text{ m}^3/\text{h}$

b) Ostabila och stabila fasen vid kolflöde på ca 370 kg/h

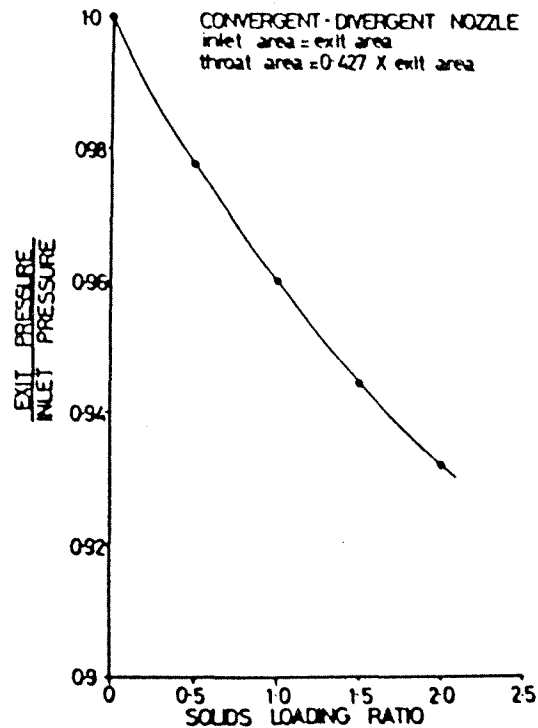
c) Stabil körning i olika tidsintervall (kolflödet ca 370 kg/h)

Figur 4.1

Tryckfallsmätningar i ett rör (inre diam 34 mm, längd 1.2 m) vid körningar mot en brännare (5).

Pressure drop measurements within a conveying line run against a burner.

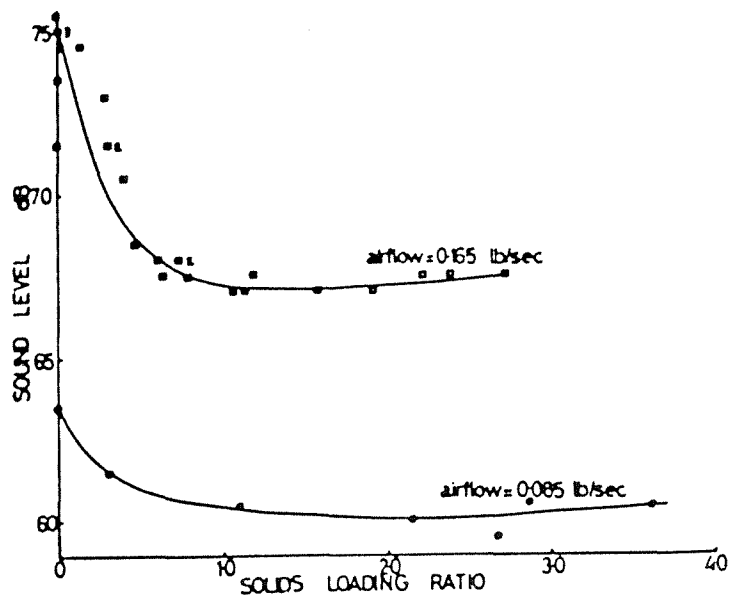
1985-06-07



Figur 4.2

Tryckfall i en nozzle vid olika kol/luft-flöde (3).

Pressure drop in a nozzle with different coal/air flow.

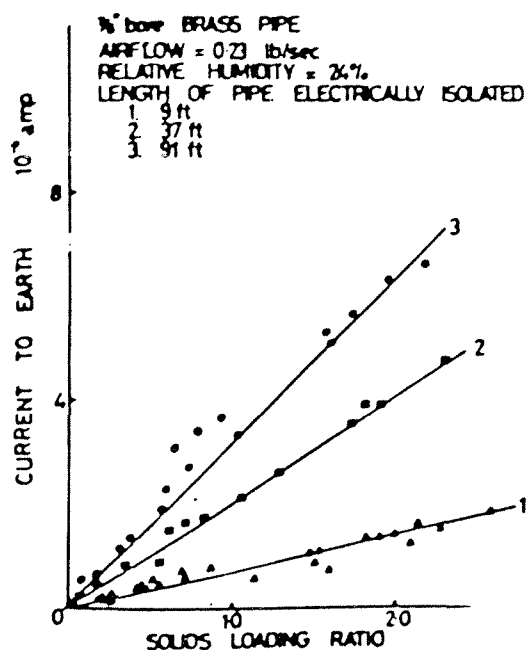


Figur 4.3

Ljudnivå vid olika kolbelastningar (3).

Sound level with different bulk densities of coal in a conveying line.

1985-06-07



Figur 4.4

Elektrostatisk uppladdning i ett isolerat rör beroende på kolbelastning (3).
Electrostatic charging of an isolated tube with different coal flows.

De två första mätinstrumenten är inriktade på att bestämma kolflödet vid kontinuerlig drift.

Det tredje mätinstrumentet är en kombination av hastighets- och densitetsbestämning som ger kolflödet.

Den därefter behandlade mätutrustningen är främst avsedd för densitetsmätning.

Därefter beskrivs en mätmetod för att bestämma hastigheten hos partiklarna.

Sist i avsnittet presenteras det danska förslaget till ISO-standard inom mätteknik, som bygger på mekanisk utsugning.

1985-06-07

4.3.1 Tryckfallsmätning med munstycke och -----venturidysa-----

Figur 4.5 visar en uppsättning som redan år 1948 användes för att mäta både kol- och luftflöde "on-line" (se (5)).

När blandningen passerar genom ett munstycke kan man mäta en tryckdifferens mellan den ursprungliga och den accelererade blandningen som motsvarar massflödet av kol plus luft.

När blandningen passerar genom mätflänsen hinner kolpulverpartiklarna inte accelerera. Tryckdifferensen över mätflänsen motsvarar alltså enbart luftflödet.

Efter att mätaren kalibrerats kan fel uppstå beroende på varierande kol/luftförhållande eller varierande kornstorleksfördelning på det transporterade kolet.

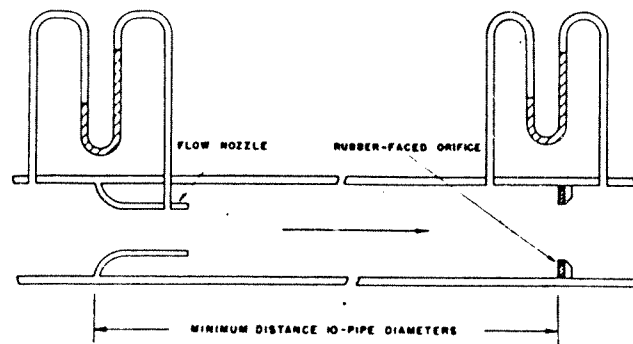
Figur 4.6 och 4.7 visar storleksordningarna på felen. Det framgår att mätfelet för kolflödet var mindre än ± 5 % för låga kol/luftmängdförhållande och en varierande kornstorlek, mellan 75 % och 90 %, genom 200 mesh. För luftflödet, var mätfelet mindre än ± 7 %.

De uppnådda resultaten med tryckfallsmätning i munstycke ledde till att det amerikanska Dep of Energy (DOE) satsade på en vidareutveckling av den här mätmetodiken. Uppmärksamheten riktades då främst mot venturidysa (se (6)).

En slags förlängd standard, dysa, (se Figur 4.8) rekommenderas för användning. En s k "annular venturi" (se Figur 4.9) är till och med

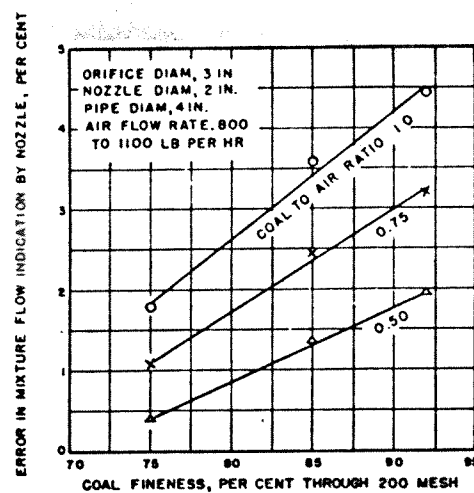
1935-06-07

kapabel att mäta med full noggrannhet även vid montage bara 5 rördiametrar efter en störning av flödet.



Figur 4.5

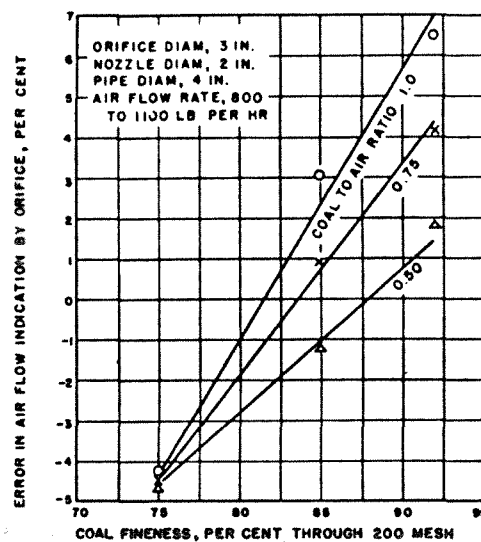
Kol/luft-flödesmätare enligt (5).
Coal/air-flowmeter as shown in (5).



Figur 4.6

Blandningsflödets bestämningsfel beroende på kolbelastning och partikelstorlek (5).
Errors in the determination of suspended coal flow depending on coal load and particle size.

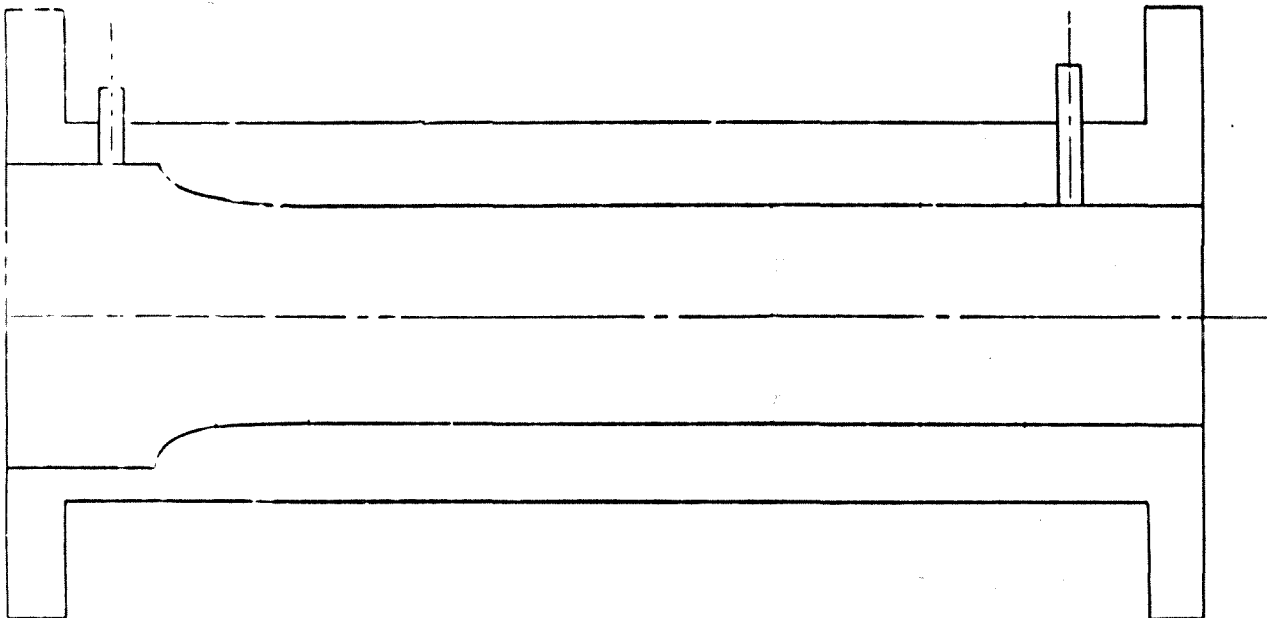
1985-06-07



Figur 4.7

Luftflödesbestämningsfel beroende på kolbelastning och partikelstorlek (5).

Errors in the determination of the air flow with different coal loads and particle sizes.

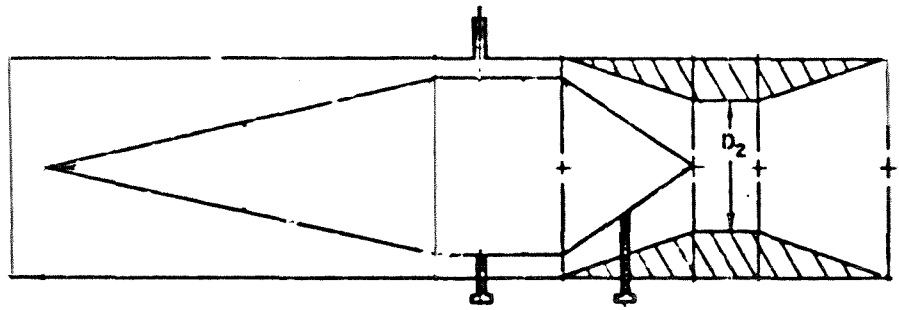


Figur 4.8

"Optimum" venturidysa (6).

"Optimum" venturi-flowmeter.

1985-06-07



Figur 4.9

Annular venturidysa (6).
Annular venturi-flowmeter.

Eftersom det är viktigt att partiklarna har till full hastighet i dysan, är dysans längd mycket viktig för mät noggrannheten.

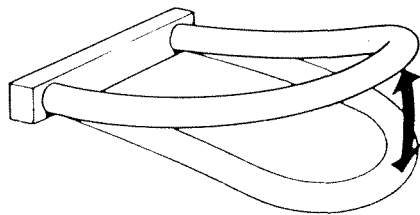
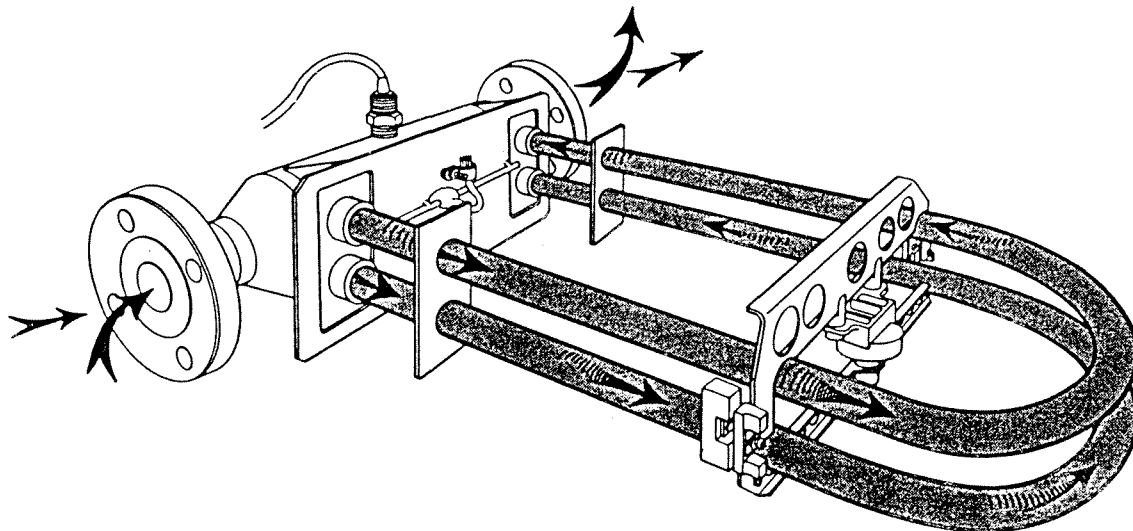
4.3.2 Coriolis kolflödesmätare

Företaget Micromotion tillverkar en flödesmätare som baseras på mätning av partiklarnas accelerationsmotstånd enligt skiss i Figur 4.10.

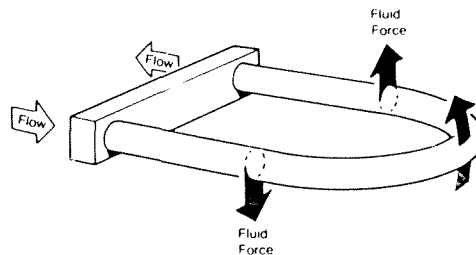
Accelerationsmotståndet tenderar att vrida ett U-rör. Vridningsvinkeln kan användas som ett mått på flödet.

I (7) har noggrannheten undersökts på en sådan mätare vid transport av kolpulver i gasflöde. Resultaten kan sammanfattas enligt följande: Systemet gav noggrann mätning under konstanta flödesförhållanden. Med tilltagande fluktuationer i flödet interfererade själva fluktuationerna med mätsystemets egen frekvens (som används för att accelerera partiklarna). Detta leder till fel i flödesmätningen.

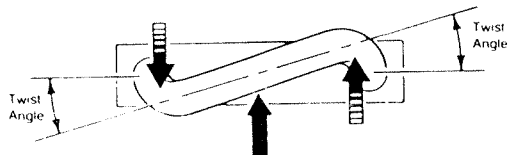
1985-06-07



Rörets vibration



Flödets reaktionskrafter



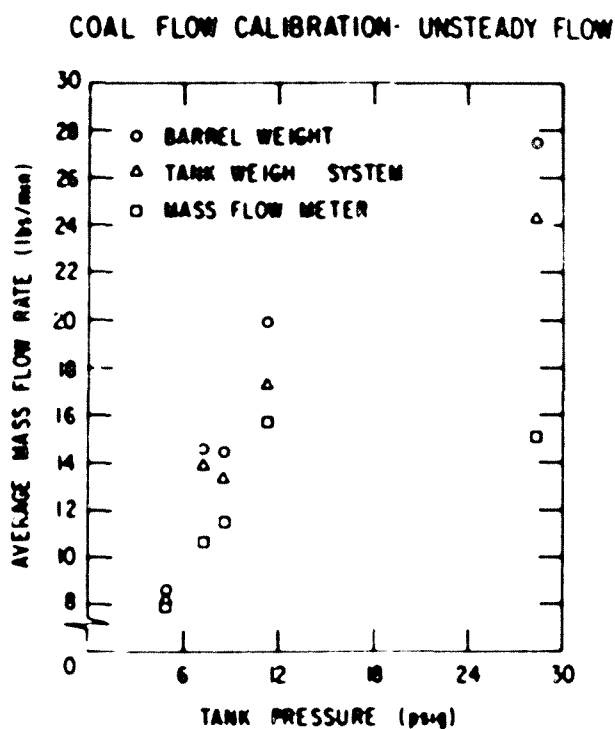
Rörets förvridning

Figur 4.10

Micromotions flödesmätare.
Micromotions flowmeter.

Figur 4.11 förtydligar hur stor missvisningen, gentemot en referensmätning (barrel weight), kan vara. ("Tank pressure" är i det här fallet en systemvariabel som reglerar kolinmatningen i ledningssystemet.)

1985-06-07



Figur 4.11

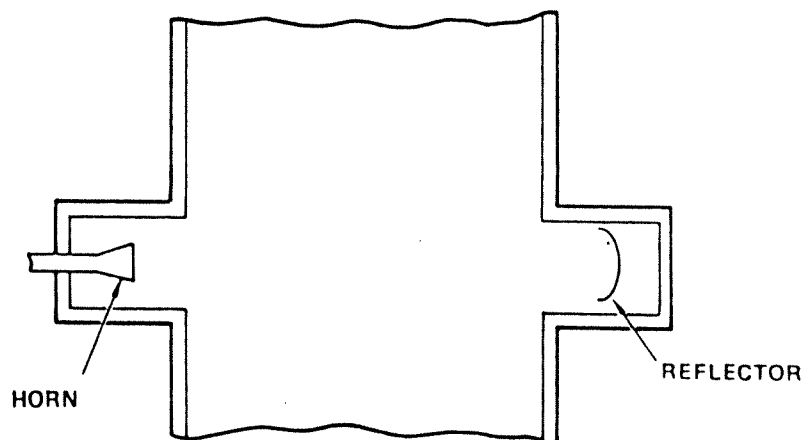
Kalibreringsresultat för instabilt flöde med Micromotions flödesmätare (7).
Calibration results at instable flow with Micromotions flowmeter.

4.3.3 Aktiv akustisk mätare

En metod för akustisk mätning provas i ett utvecklingssystem med beteckningen "dust monitor". Systemet är utvecklat av Rockwell International och visas i Figur 4.12.

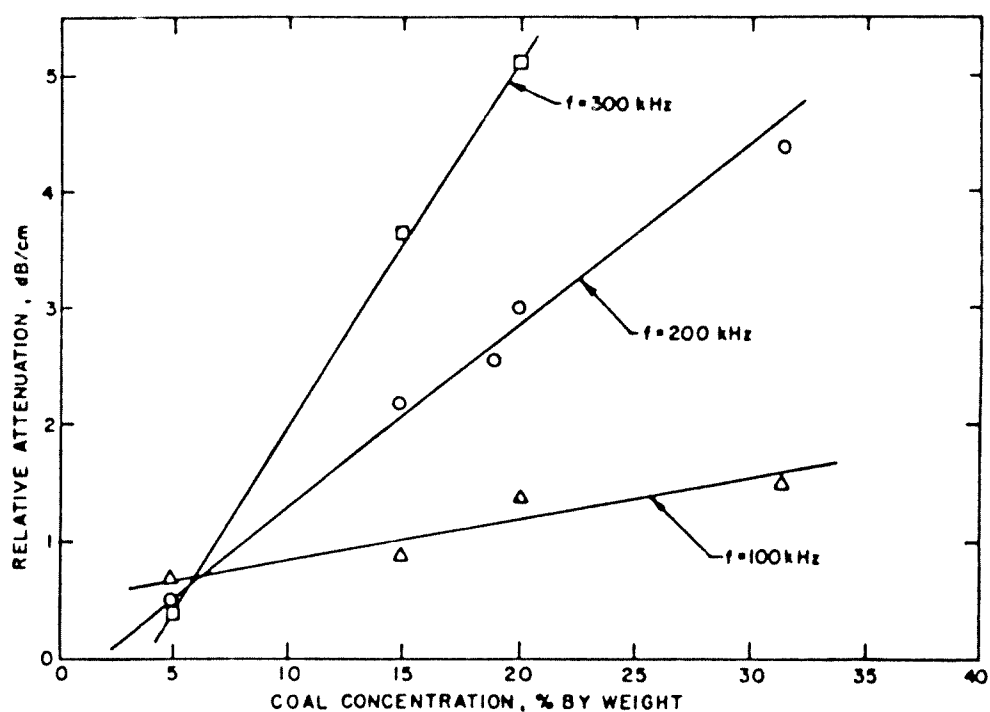
Mätmetoden bygger på att man aktivt sänder ljud av en viss frekvens in i ledningen. Ljudenergiabsorptionen är ett mått på vilken kolkoncentration som finns i ledningen. Figur 4.13 förtydligar förhållandet för kolslurry. Med ökande kolkoncentration ökar också den s k ljudenergiuttunningen (dämpningen) som i figuren är angiven i dB per ljudets vägsträcka från sändaren till mottagaren.

1985-06-07



Figur 4.12

"Mist monitor" (16).



Figur 4.13

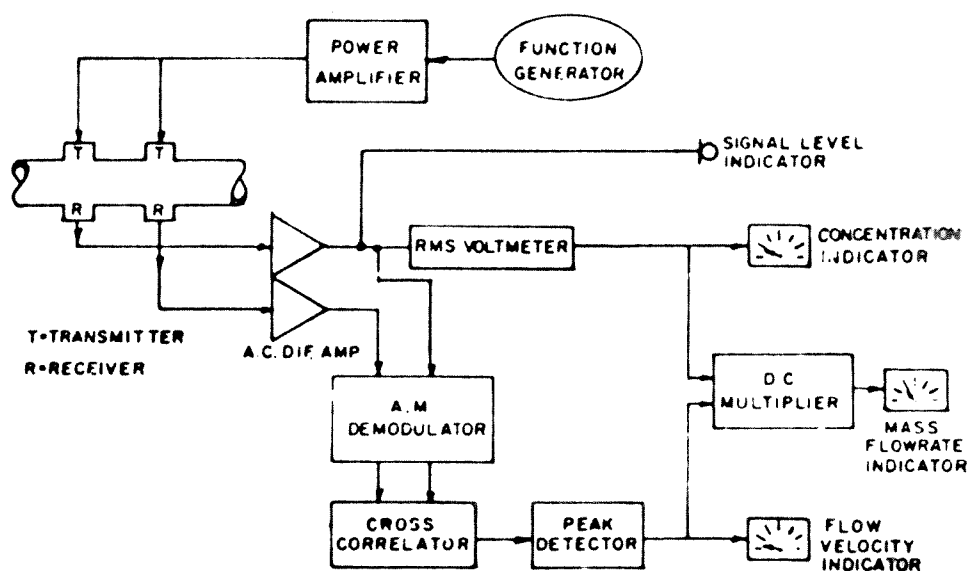
Dämpningens beroende av kolkoncentrationer för olika frekvenser (15).
Attenuation depending on coal concentration for different frequencies.

Andra steget i mätningen av massflödet (efter koncentrationsmätningen) är bestämningen av partiklarnas hastighet. Det sker med en metod som kallas för "cross correlation". Signalerna

1985-06-07

från två olika akustiska mätare jämförs och tidsfördröjningen mäts. I och med att avståndet mellan mätarna är givet kan hastigheten beräknas. (Cross correlation är en metod som används i samband med ett flertal mätprinciper. Se också avsnitt 4.3.6.)

En uppställning av hela utrustningen som behövs för den akustiska mätmetoden visas i Figur 4.14.



Figur 4.14

Uppställning av "on-line" hastighetsmätning (15).

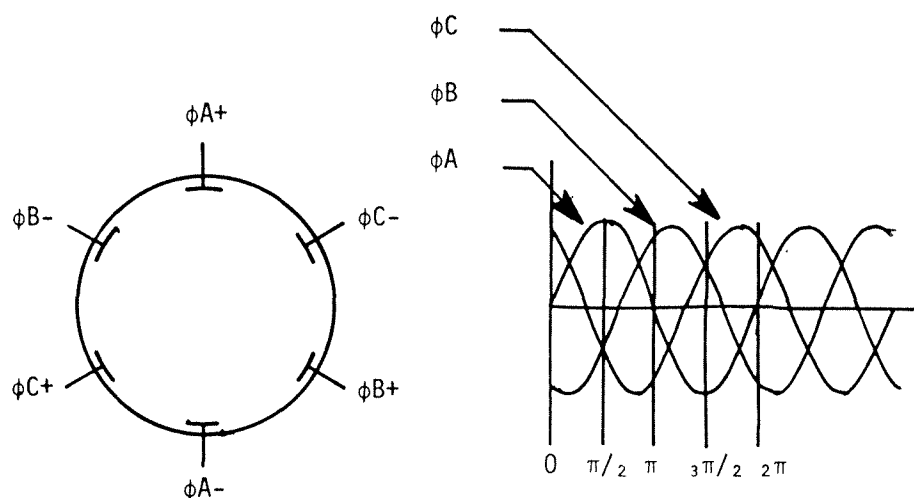
Design for a on-line particle velocity measurement.

Rockwell International påstår sig med denna mätmetod för massflöde kunna uppnå en mät noggrannhet på $\pm 1\%$ (16).

4.3.4 Dielektricitetsmätare

Anburn International har utvecklat en s k "void fraction"-mätare för konduktiva ämnen. Principen baseras på att man placerar ett icke ledande rör i ledningen. I röret befinner sig sex ledande plåtar fästade vid väggen. Ett roterande elek-

1985-06-07



Figur 4.15

Auburn monitor. Principskiss och aktiva mät-signaler (14).

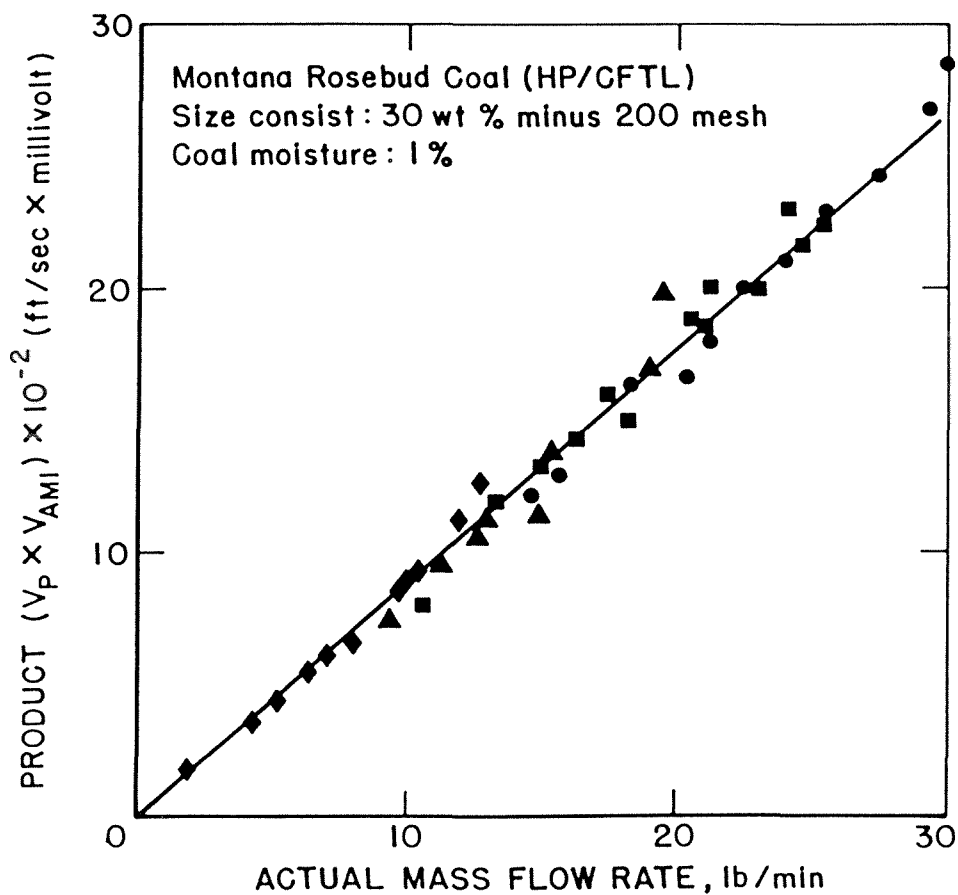
Auburn monitor. Principle sketch and active measurement signals.

triskt fält används för att fastställa densiteten på det genomströmmande mediet (Figur 4.15 visar hela uppsättningen). Efter en kalibrering är det på så sätt möjligt att bestämma flödets densitet.

I en experimentell studie som använt Auburn-mätaren i samband med vatten/luftblandning i upp till 4" rör (14), bedömer man att instrumentet är effektivt för mätning av relativ volymfraktion inom konduktiv två-fas-flöde.

I (9) beskrivs användningen av Auburn-mätaren i samband med kolsuspension. Med hjälp av cross correlation (se avsnitt 3.3.6) mäts hastigheten. Bulkdensiteten anses vara proportionell mot mätsignalen som kommer ifrån en Auburn-mätare. Produkten av både hastighet och bulkdensitet ger sedan tillsammans med geometrin massflödet. Det erfordras en instrumentell uppställning som liknar den i avsnitt 4.3.3. Resultaten anses i (9) vara rätt tillförlitliga. Figur 4.16 visar avvikelserna från det med hjälp av en lastcell uppmätta flödesmängden.

1985-06-07



Figur 4.16

Produkt av partikelhastigheten V_p och en signal motsvarande bulkdensiteten V_{AMI} som genererades med en Auburn monitor jämfört med signalen från en lastcell.

Product of particle velocity V_p and a signal representing bulk density V_{AMI} as delivered from an Auburn monitor in comparison with the signal from a load cell.

4.3.5 Cross correlation

Cross correlation är en metod för signalutvärdering som kan användas för partikelhastighetsbestämning. Principen är att ta två signaler som kommer ifrån två skilda ställen i transportsystemet och sedan tidsförskjuta dem i förhållande till varandra tills man har hittat en förskjutning som ger samma utseende av signalerna över tidsaxeln. Figur 4.17 förtydligar arbetssättet.

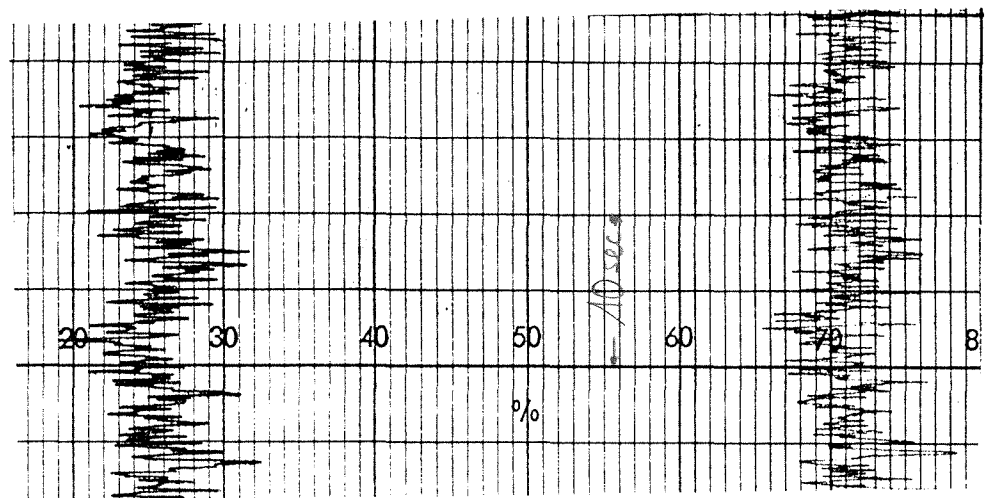
Figur 4.18 visar två signaler från två ställen som ligger på 1200 mm avstånd från varandra i

1985-06-07



Figur 4.17

Princip cross correlation.
Cross correlations principle.



Figur 4.18

Signaler från två mätpunkter med 1200 mm avstånd som erhöles av kapacitansmätning (26).
Signals representing a capacity measurement into measured points with 1200 mm distance between them.

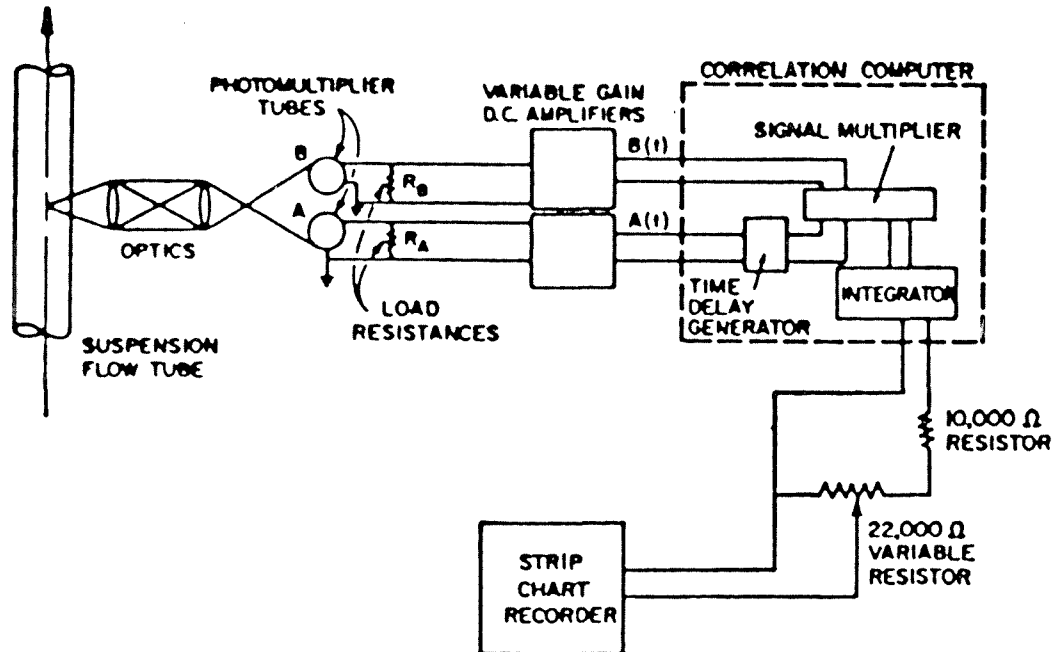
en pulverkoltransportledning. Det framgår av bilderna att signalkaraktären knappast har ändrats efter 1200 mm.

Signalerna i Figur 4.18 härrör från en dielektricitetsmätning av det förbiströmmande flödet, utförd på Studsvik. Även andra slags signaler, som t ex akustiska, optiska m m, är tänkbara i cross correlation-sammanhang (se (3), (8), (9)).

1985-06-07

Cross correlation anses vara en bra metod när det gäller att mäta hastigheter.

Figur 4.19 visar en uppställning av cross correlation-mätutrustning baserad på optiska signaler.



Figur 4.19

Cross correlation-utrustning.
Cross correlation equipment.

En huvuddel av uppsättningen består av en "cross correlation computer" som finns som kommersiella system (se (9)) och förstärkare, signalupptagare och resultatmottagare.

4.3.6 Mekanisk utsugning

Det har förslagits ett standardiserat system för kolflödesmätning, som bygger på en diskontinuerlig mekanisk utsugning av kolpulver på vissa ställen inom transportledningens tvärsnitt.

1985-06-07

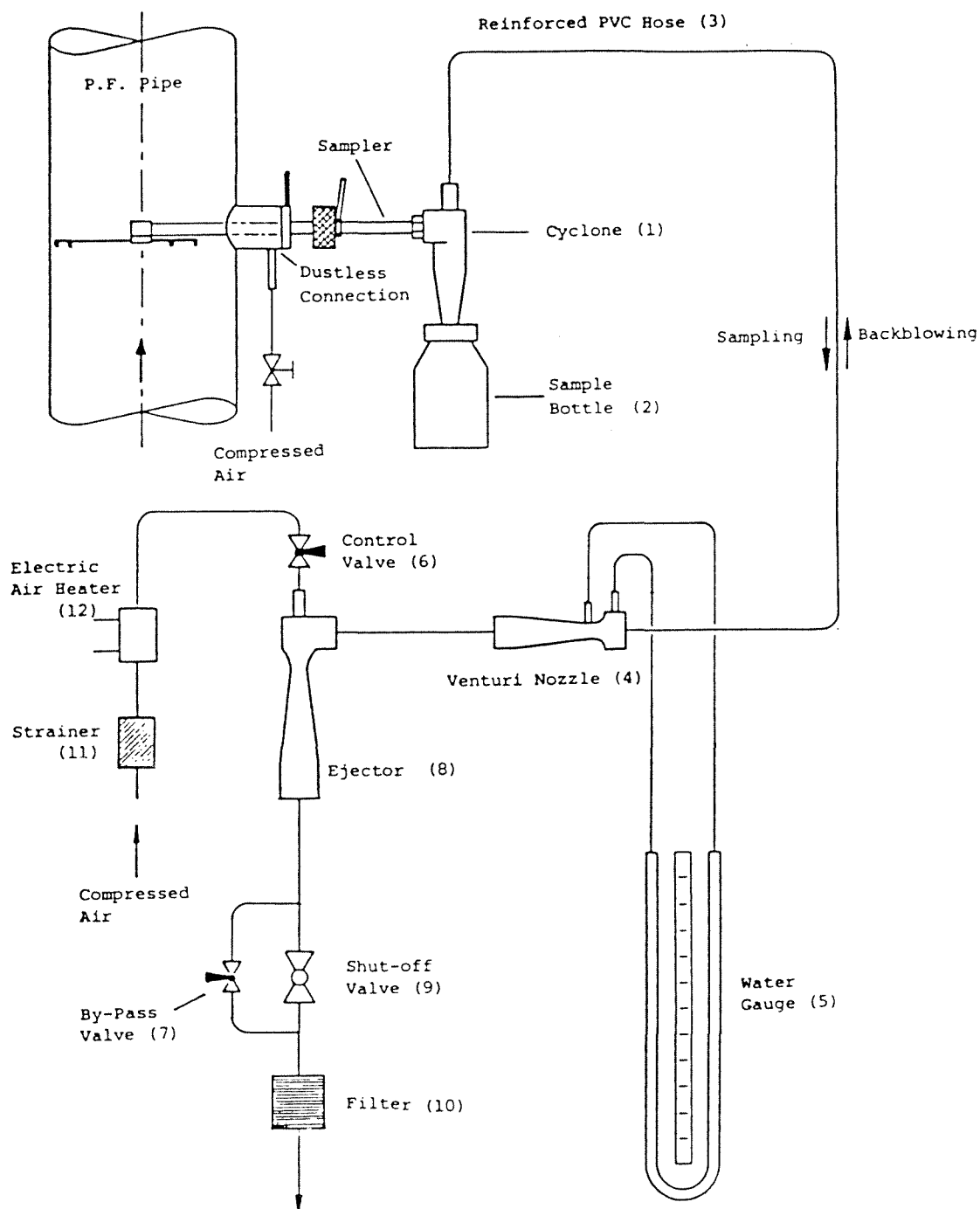
Figur 4.19 visar en uppställning som skall användas för detta ändamål. Huvudbeståndsdelarna är en roterande utsugningslans med fyra utsugningspunkter i ledningen, kolpulversamlingsutrustning (cyklon, filter) och flödesövervakning (venturi nozzle).

Utsugningen av material ur transportledningen sker så att ett representativt flöde för den totala ledningsarean erhålls. Figur 4.20 visar i vilka punkter som utsug sker och vilka områden de representerar.

Eftersom utsugningen sker samtidigt på olika radiella avstånd från ledningens centrum handlar det inte i det här fallet om isokinetisk utan om kvasiisokinetisk utsugning. Man har dessutom bestämt att hastigheten skall vara 1.1 ggr den rådande medelhastigheten, vilken bestäms innan själva mätningen genomförs.

Utrustningen har tills nu använts av olika kraft- och värmekraftverk och bedöms som lätthanterlig och användbar för inställning av kolflöden till brännare (se (2)).

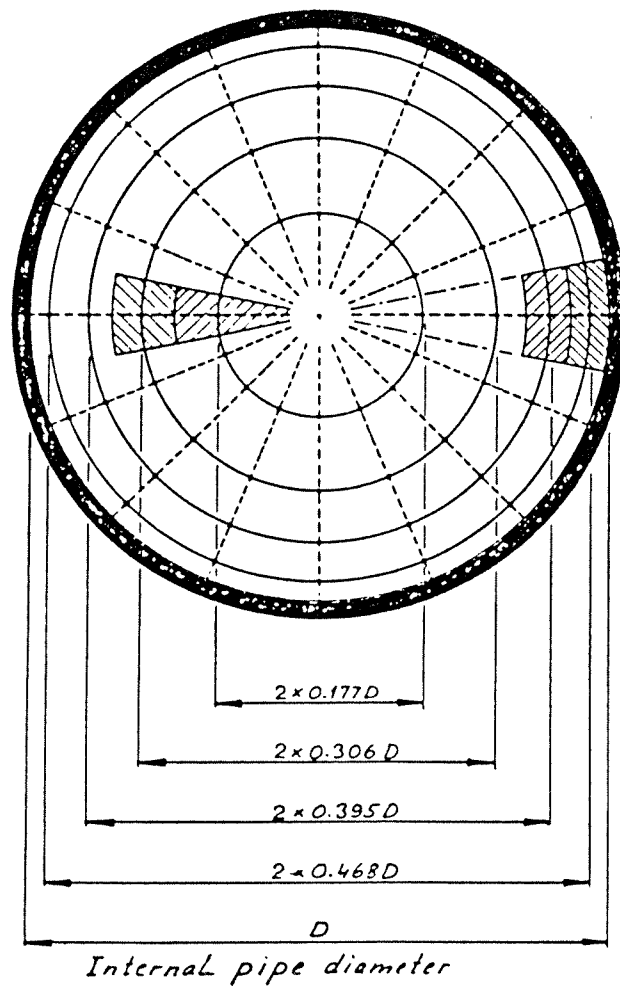
1985-06-07

Sampling Equipment Arrangement

Figur 4.19

Utrustning för utsugning (2).
Equipment for sucking particles.

1985-06-07



Figur 4.20

Provtagningsställena vid utsugning (2).
Points where sucking is done.

1935-06-07

5. FLAMÖVERVAKNING

Flamövervakningen används för närvarande mest för att fastställa om pulvret brinner eller har släckts. Den fungerar alltså mest som en säkerhetsåtgärd. En nyare utveckling tar nu en annan riktning. Målet är att med hjälp av en flamövervakning göra en jämförelse mellan olika brännare i en panna vilket sedan används för reglering.

I det följande redogörs först för den teknik som ligger till grund för flamövervakning. Därefter ska dess användning belysas för trimning av kolpulverflammar och utvecklingen på området.

5.1 Olika principer för flamövervakning

Flamövervakning sker idag med detektorer baserade på två huvudprinciper:

- o Termisk jonisation
- o Strålning

Termisk jonisation bygger på att joner bildas under högtemperaturförhållanden. Mellan två i flammen installerade elektroder får man då en ström vars styrka är beroende av jonisationsgraden.

Närvaron av t ex oljeångor, vilka leder till elektrisk avkoppling och nedsmutsning av elektroder, medför att mätningarna blir osäkra. Denna metod är därför särskilt lämpad för gasflammar. Dessutom innehåller gasflammar en mycket större andel jonbildande ämnen jämfört med kolpulverflammar där huvudsakligen icke-jonbildande ämnen, såsom t ex H_2 , CO, föreligger.

1985-06-07

Där den kan användas är ovannämnda metod enkel och billig.

Strålning från flammor sträcker sig från det ultravioletta området över det synliga till det infraröda området. Figur 5-1 visar spektralfördelningen från olika flammor. Det finns alltså karakteristisk strålning för olje-, kol- och gasflammor.

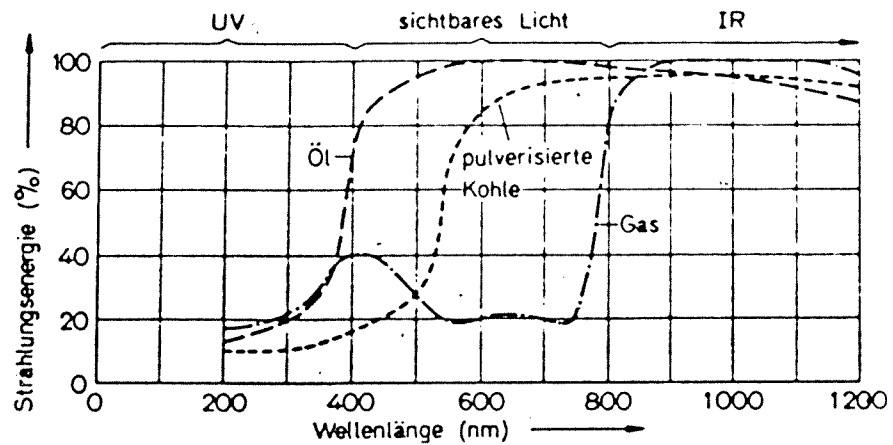
Utgående från den kännedomen har det utvecklats olika typer av strålningskänsliga detektorer. En sammanställning av detektorer och deras känslighetsområden visas i Figur 5-2.

Fördelar med övervakningen i det ultravioletta området är att signalstörningar från varma väggar som strålar infrarött är i stort sett obefintliga. Däremot är signalstyrkan i detta område svagare än i det infraröda.

Fotomotstånd av kisel- och blysulfidtyp möjliggör billig flamövervakning i gränsen av det synliga och in i det infraröda området. Problemet med den infraröda väggstrålningen kringgår man vanligtvis med hjälp av en övervakning inom ett visst frekvensområde. Typiska värden för väggstrålningsfrekvens och annan störning är 0-3 Hz. Flamstrålning fluktuerar däremot med högre frekvens (se Figur 5-3) så att en övervakning sker t ex mellan 5 och 80 Hz.

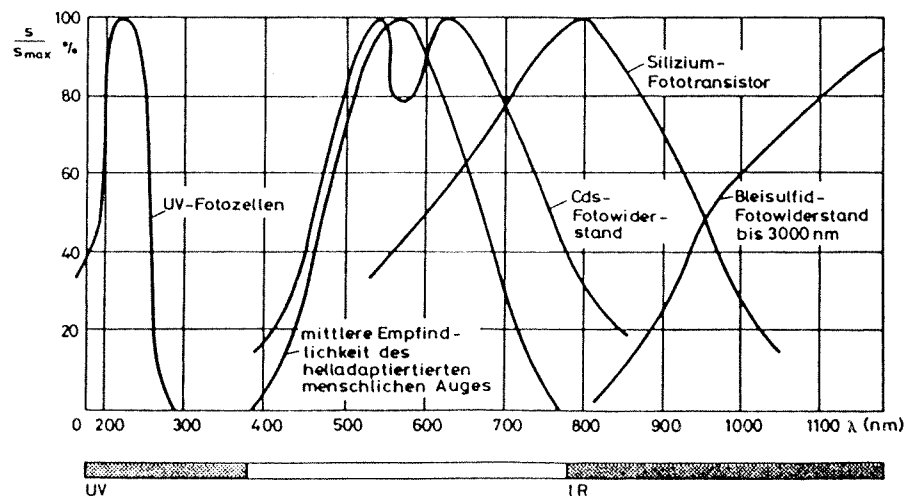
För att kunna särskilja olika brännare i en och samma eldstad är det viktigt att placera flammvakterna på rätt avstånd från brännaren och från varandra (se för vidare information, även (10) - (12)).

1985-06-07



Figur 5.1

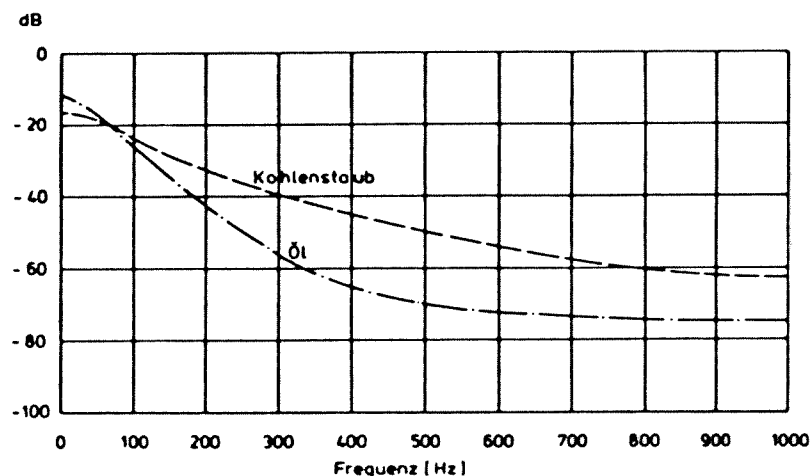
Spektral strålintensitetsfördelning för gas-, olje- och kolpulverflammar (11).
Spectral ray intensity distribution for gas-, oil- and pulver coal flames.



Figur 5.2

Jämförelse av känslighetsområden för olika ljusdetektorer.
Comparison of sensitivity for different light detectors.

1985-06-07



Figur 5.3

Strålningsstyrka beroende på frekvensen av olje- och kolpulverflamma.
Ray strength depending on frequency from oil- and coal flame.

5.2 Avancerad flamövervakning

En avancerad utrustning för flamövervakning idag ger möjlighet till mera än "on/off"-övervakning. Signaler som kommer från flamvakter för de enskilda brännarna visar för detta ändamål även deras styrka. Från land Combustion erbjuds ett sådant system som på en bildskärm visar de olika signalstyrkorna i form av ett stapeldiagram. Systemets namn är Flame Scan och det fanns en förhoppning om att utgående från signalstyrkorna för alla brännare slutar på en fördelning av bränslet till dem.

Denna förhoppning försvann dock i praktiken. På Stignäsverket i Danmark finns ett sådant system installerat, men man anser där inte att systemet kunde tjäna till en slags flödesövervakning. Dess största nytta ligger på stabilitetsövervakning av brännare. Fluktuerande signaler från en brännare är ett indicium på ostabilitet (se bilaga).

1985-06-07

LITTERATURFÖRTECKNING

1. GREEN, R G, FOO, S H, PHILLIPS, J G
"Flow measurements for optimizing the feedrate of pulverized fuel to coal-fired boilers"
in:
The Proceedings of the 1981 Symposium on Instrumentation and Control for Fossil-Energy Processes, June 8-10, 1981, San Francisco, California.
2. ÖSTERHOLM, L H, LEVÉN, P
"Rapport från ISO-möte inom området kolprovtagning".
ISO TC 27/SC4/WG1, WG4 och WG5, Sydney, 4-7 Okt 1983.
3. BIRCHENOUGH, A
"Methods of particle velocity measurement in gas-solid flows through pipelines".
3rd Conference on:
Measurement and Control in the Handling and Processing of Materials, London, 26-27 April, 1978.
4. RICHES, D M, BAUM, M R, MOBBS, F R
"New ideas for metering the solids phase in pneumatic conveying".
Powder Handling and Storage, IMH, March 1969, paper No 9.
5. CARLSON, H M, FRAZIER, P M, ENGBAHL, R B
"Meter for flowing mixtures of air and pulverized coal".
Transactions of the ASME, Feb, 1948, 65/79.
6. CROWE, C T
"Venturi design for metering solids flow in gas-solids suspensions".
DOE/PC/30212-54, Washington, State University, 1982.
7. REED, C B, ZINNEMAN, T E, BLASKOVITZ, R J
"A performance comparison between a coriolis coal flowmeter and a micro-processor - based tank weighing system".
in:
The Proceedings of the 1981 Symposium on Instrumentation and Control for Fossil-Energy Processes, June 8-10, 1981, San Francisco, California.

1985-06-07

6. SAMMANFATTNING OCH KOMMENTARER

Inom ramen för det föreliggande arbetet angrips problemet kring frammatning av pulveriserade bränslen till brännare. Först fastslogs det i avsnitt 2 att problemet är mycket värt en översyn. Fördelningen av pulverbränsle till olika brännare kan vara mycket dålig. Även olika fraktioner fördelas olika.

Avsnitt 3 beskriver ett antal olika matningsmetoder och kommenterar deras insatsmöjligheter.

I avsnitt 4 diskuteras olika sätt att mäta flöde mellan inmatningen och brännaren. Det konstaterades att kommersiellt användbara instrument är få och relativt obeprövade i verkliga driftsammanhang.

Flamövervakningen i eldstaden som möjlighet för en inbrinning av flödesfördelningen till olika brännare diskuteras i avsnitt 5. Möjligheterna måste dock bedömas som mindre bra.

Sammanfattningsvis kan det konstateras att det idag finns ett stort behov av att kontrollera flöden till pulverbrännare. Detta har insetts även av tillverkare för tekniskt nyare koncept som är till för att förbättra emissionssituationen. Man har dock inte än tagit steget till en verklig mätning av flöden utan förlitat sig än så länge på lite mera avancerade spridare. Dessa har lett till förbättringar. Fortsatta förbättringar måste dock mynna i någon form av flödesmätning som endast kan ge bra kontroll över de verkligen tillförda bränslemängderna.

1985-06-07

8. KRAMER, T J, DEPEW, C A
"Experimentally determined mean flow characteristics of gas-solid suspension".
Transactions of ASME, Journal of Basic Engineering, June 1972, 492/499.
9. MATHUR, M P, KLINZING, G E
"Measurement of particle and slip velocities in coal/gas system".
in:
AIChE-Symposium: Fluidization and Fluid-Particle Systems: Theories and Applications Editor: Knowlton T M, 222 Vol 79, 1983.
10. BENKWITZ, H
"Möglichkeiten und Grenzen der optischen Flammüberwachung".
VGB Kraftwerkstechnik 59, Sept 1979, 709/713.
11. BERNT, R
"Flammenüberwachung an Kohlestaub- und Schweröffenerungen mit dem Fireye - BGC - Flammenfühler".
Chemic-Technik, 10 Jahrg (1981) Nr 4, 333/334.
12. MINDERMAN, K H
"Die neue Flammenwächtergeneration zum selektiven Überwachen und Bewerten von Flammen aus festen, flüssigen und gasförmigen Brennstoffen".
Gas Wärme international, Band 31 (1982) Heft 2/3, 118/127.
13. GOD, Ch, KÖHLER, E
"Flammenüberwachung technischer Feuerungen".
VDI-Berichte Nr 433, 1981, 159/166.
14. SNELL, C C, DECHENE, R L, NEWTON, R E
"Evaluation of a unique void fraction monitoring system".
EPRI, NP-1012, Research Project 1019-1 Final Report, March 1979.
15. RAPTIS, A C, SHEEN, S H
"Mass flow measurements by active acoustic cross-correlation techniques".
in:
The Proceedings of the 1981 Symposium on Instrumentation and Control for Fossil-Energy Processes.
San Francisco, California, June 8-10, 1981.

1985-06-07

16. Privat kommunikation med Rockwell International, Nov 1984.
17. ADAM, O
"Feststoffbeladene Luftströmung hoher Geschwindigkeit".
Chem-Ing-Techn 29 Jahrg, 1957/Nr 3, 151/159.
18. KRAMER, T J, DEPEW, C A
"Experimentally determined mean flow characteristics of gas-solid suspensions".
Transactions of the ASME, Journal of Basic Engineering, June 1972, 492/499.
19. PARK, Y, ZENZ, F
"Pressure loss in horizontal to vertical upflow elbows".
BHRA Fluid Engineering Pneumotransport 5, April 1980, London.
20. BERG, M, BERING, H
"Sampling of Pulverized Fuel in Power Stations".
ISO/TC 27/SC 4/WG 4. Denmark, August, 1983.
Prepared for Working Group 4 "Sampling of Solid/Fluid Suspensions under ISO/TC 27/SC 4/"Solid Mineral Fuels/ Sampling".
21. BOLUMEN, A G
Babcock & Wilcox's experience with two-phase flow mixtures of coal.
Proceeding of the conference on coal feeding systems, Sep 1977.
22. FOLSOM, B
Coal storage, handling and pulverizing, coal combustion principles and application.
EER-Course, New Port Beach, 1984.
23. WOODCOCK, C R
Feeding devices for pneumatic conveying systems.
STF-kurs Pneumatisk hantering av bulkmaterial, April 1983.
24. SMITH, D A, LEXA, G F
Dense phase pneumatic transport: an alternative for conveying pulverized coal.
International symposium on conversion to solid fuels, New Port Beach, 1982.

1985-06-07

25. GIERSE, M
Inledande försök med pulvertransport-
system med hög bränslekonzentration.
Studsvik Arbetsrapport EB-84/34.
26. GIERSE, M
Fluktuationer i ett kolbärande gas-
flöde.
Studsvik Arbetsrapport EB-84/76.

1985-06-07

INFORMATIONSBESÖK HOS DANSKA ELKRAFT

Den 1 februari 1985 genomfördes en resa till danska Elkraft, som är en motsvarighet till svenska Vattenfall. Där diskuterades kolflödesmätningar i pneumatiska transportledningar. Kontaktpersonen är Mogens Berg som har byggt upp en rätt stor kompetens när det gäller kolflödesmätning. Han är mannen som står för utvecklingen av kolflödesmätning med hjälp av mekanisk utsugning (se avsnitt 4.3.6) som föreligger ISO-kommittén som standardförslag.

I den diskussionen vi hade påpekade han den stora betydelsen av spridarens konstruktion i samband med kolflödesuppdelningen till olika brännare. Även med direkta inblåsningssystem, där en kvarn direkt betjänar olika brännare är det möjligt att uppnå jämnare fördelningar. Förutsättningen är en riktig spridning.

En spridare typ Steinmüller, tvångsfördelare, används i samband med Steinmüllers låg- NO_x -brännare. Figur 1 visar en principskiss på denna tvångsfördelare. Resultat som uppmätts med olika lastfall (1, 3/4, 1/2) måste betecknas som goda. Figur 2 visar fördelningen till fyra brännare med olika lastfall. Även partikelstorleksfördelningen i de olika stråken är jämn (se Figur 3). Den kan t ex jämföras med en fördelning som visas i Figur 4, som åstadkommits med hjälp av en optimalt inställd fördelare enligt principskiss i Figur 5.

En annan punkt i diskussionen var frågan om Mogens Bergs bedömning av andra flödesmätprinciper (se avsnitt 4).

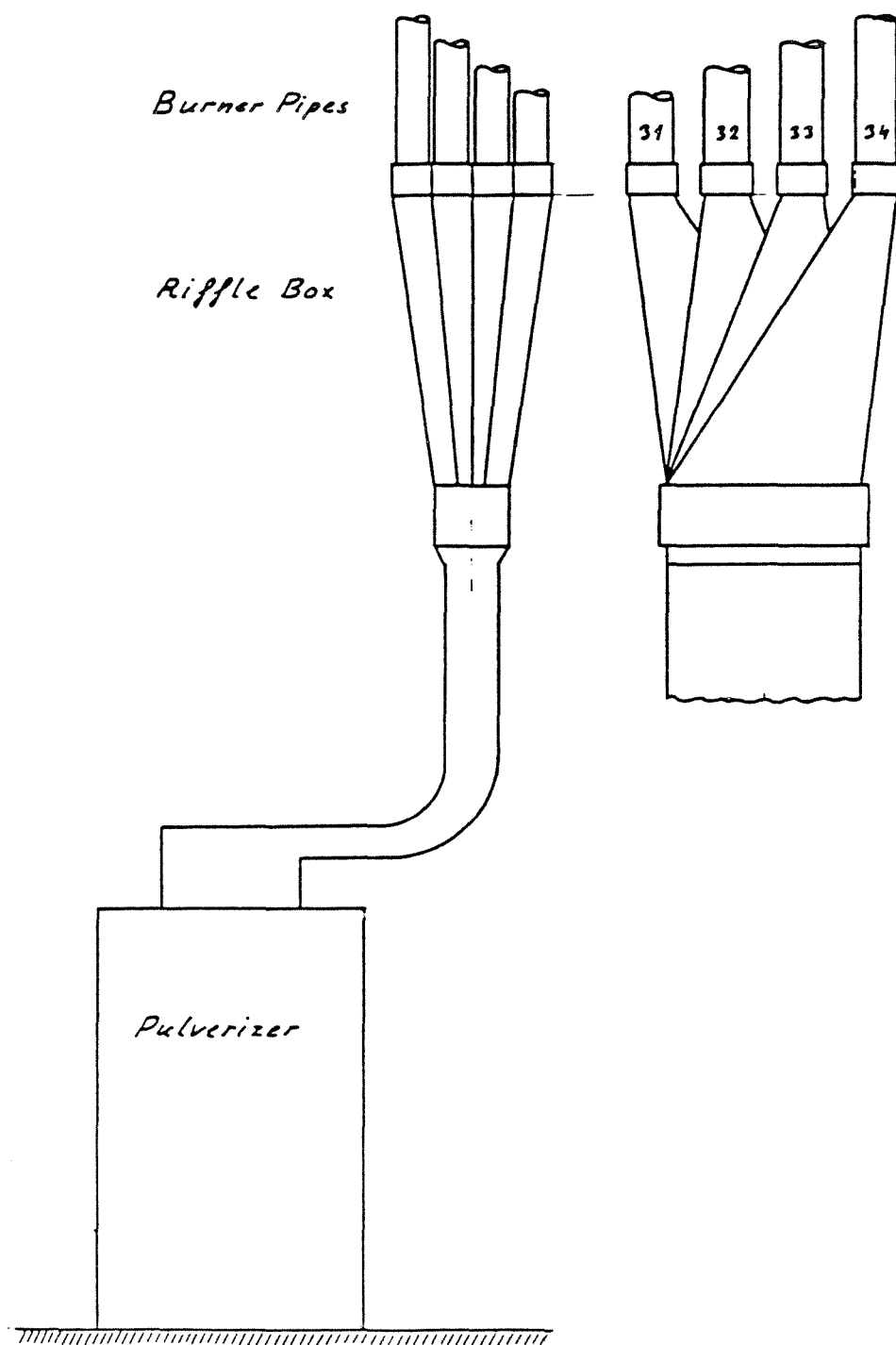
1985-06-07

Mogens påpekade här den relativa enkelheten av den mekaniska utsugningen och den goda möjligheten för kolanalys på de utsugna fraktionerna, vilket kan få stor betydelse för t ex inställning av kvarnar på varierande kolkvaliteter.

Ett besök på Stigsnäsverket (250 + 160 MW_{el}) visade den praktiska genomförbarheten av den mekaniska utsugningen. Utrustningen och provtagningsmetoden visade sig driftsäker. Problem kan uppstå med fibrösa material i bränslet som blockerar utsugningsmunstycket.

Stigsnäsverket var utrustat med en avancerad flamvaktutrustning, typ Flame scan från Land Combustion. Systemet bedömdes inte kunna bidra med information för flödesövervakning. Den största nyttan är att systemet medger att redan på ett tidigt stadium kunna avgöra om en viss flamma förlorar stabiliteten och då går in med stödbrännare för olja eller gas. Det medför bättre utbränning och ekonomi även i låglastområdet. Hela systemet är alltså en stor förbättring gentemot de gamla flamvaktsystem som enbart indikerade om bränslet brinner eller inte.

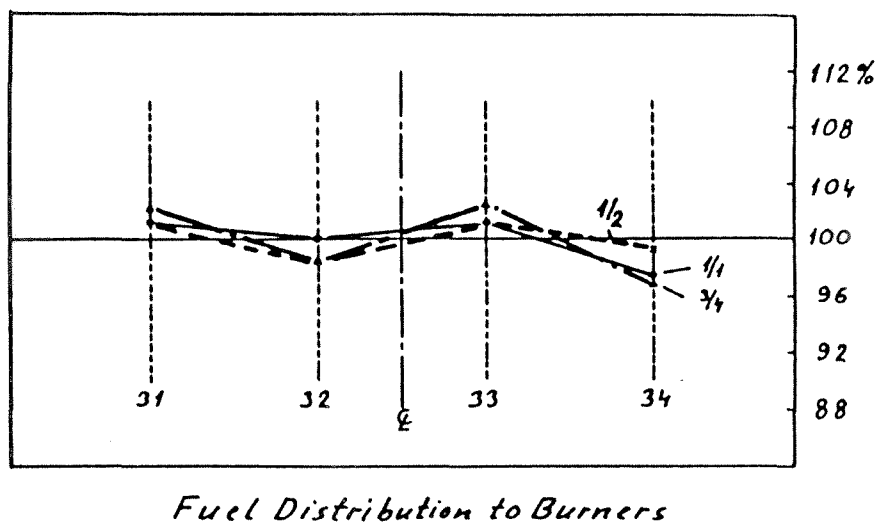
1985-06-07



Figur 1

Steinmüllers tvångsspridare (20).
Steinmüller's forced splitter.

1985-06-07

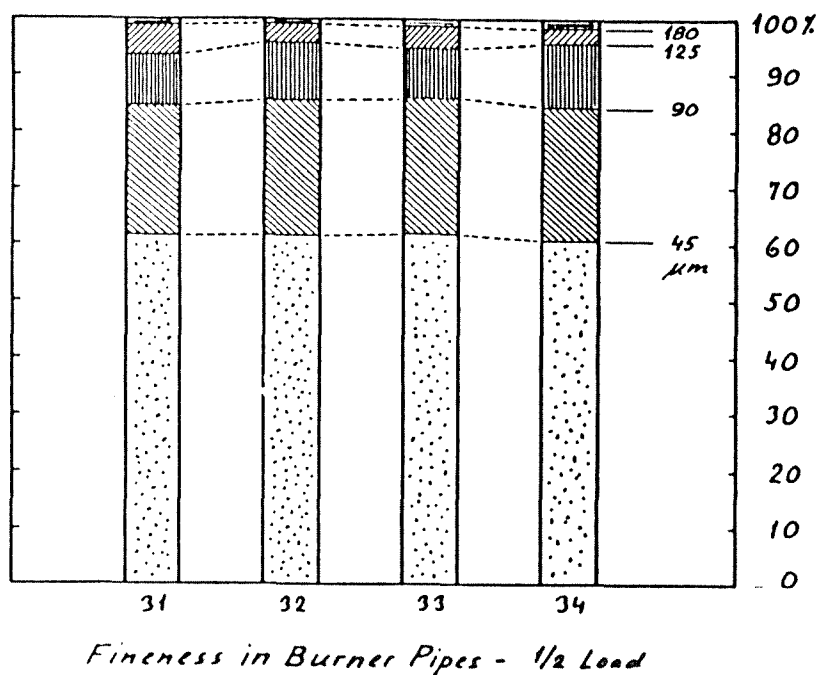
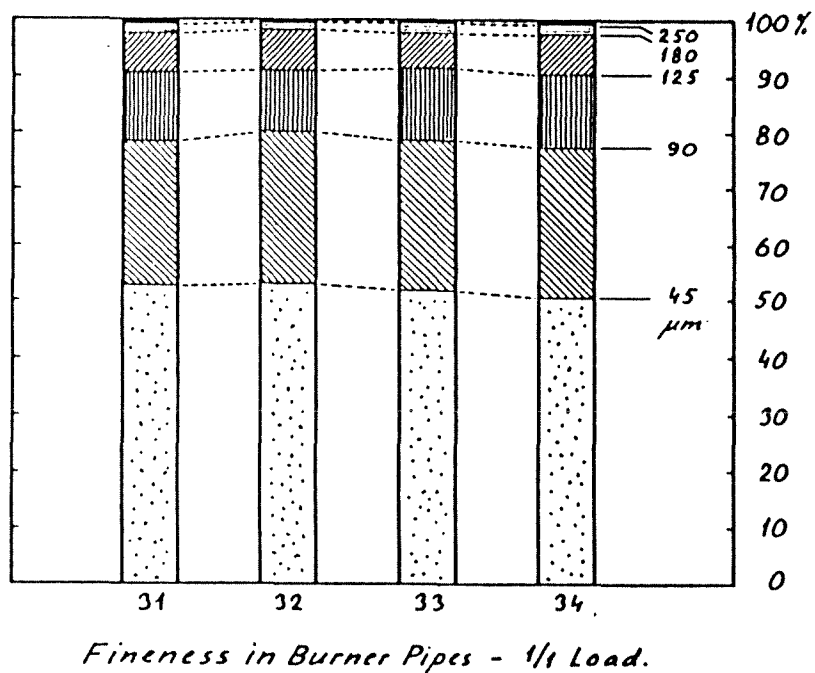


Figur 2

Kolflödesmängdsfördelningen för olika lastfall och fyra brännare (20).

Coal flow distribution for different loads and four burners.

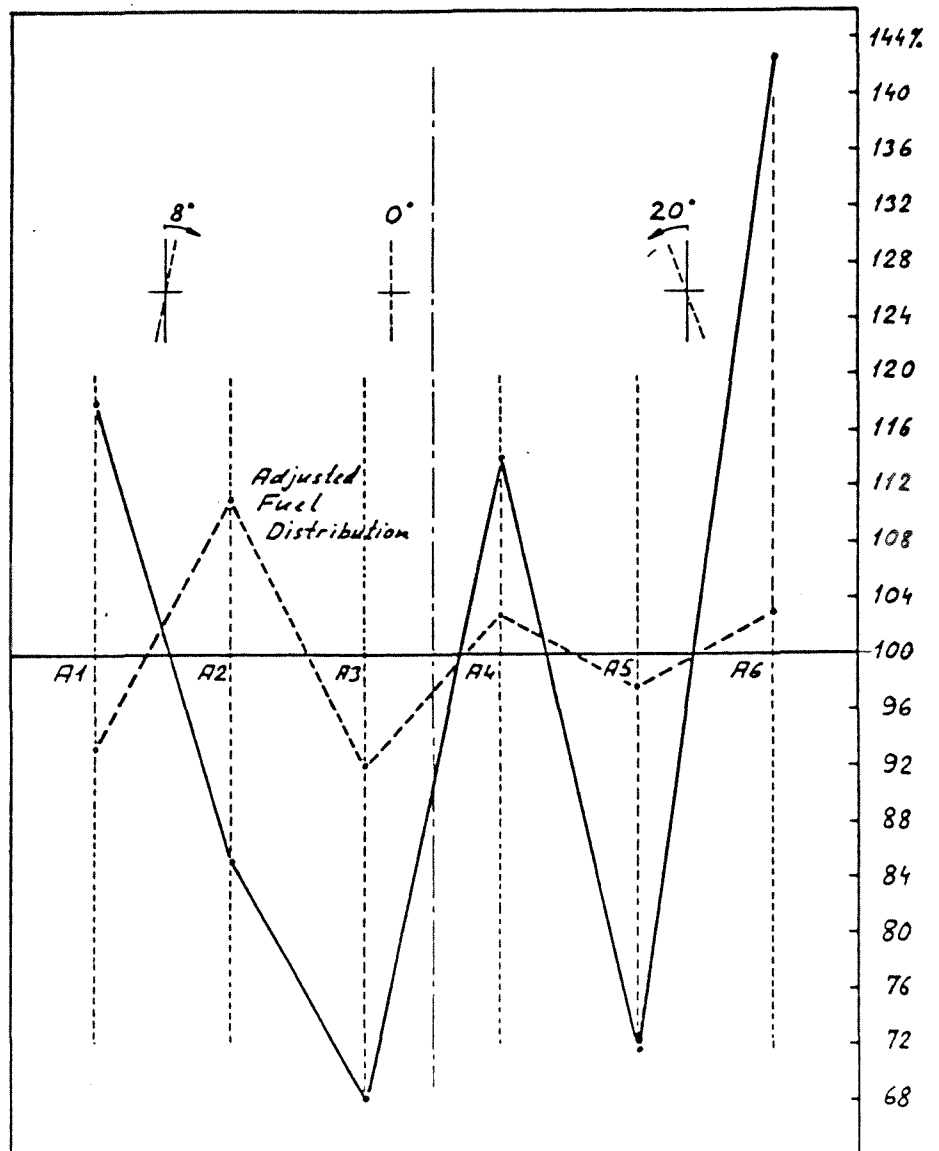
1985-06-07



Figur 3

Partikelstorleksfördelning i fyra brännare med 2 lastfall (20).
Particle size distribution within four burners under 2 loads.

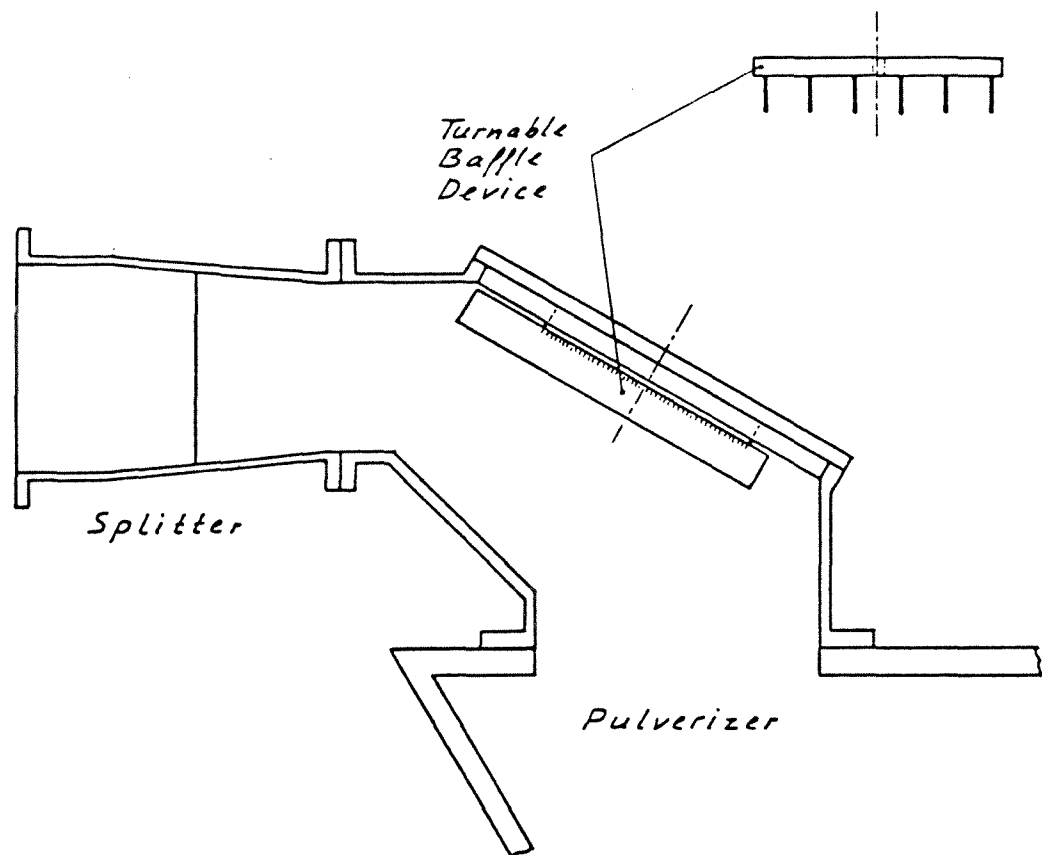
1985-06-07



Figur 4

Kolflödesmängdfördelning i sex brännare (20).
Coal flowrate distribution within six burners.

1985-06-07



Figur 5

Spridare (20).
Splitter.

RESERAPPORT: AMERIKANSKA BRÄNNARTILLVERKARE
OKTOBER 1984

Jan Sieurin

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1.	INLEDNING	3
2.	ROCKWELL INTERNATIONAL, ENERGY SYSTEM GROUP 1984-10-01	4
2.1	Slaggande låg NO _x /SO _x -brännare	4
2.2	Kolflödesmätare	5
3.	BABCOCK & WILCOX COMPANY, BARBERTON 1984-10-02	7
4.	COMBUSTION ENGINEERING 1984-10-03	9
5.	FOSTER WHEELER ENERGY CORPORATION 1984-10-04	11
6.	COEN COMPANY INC 1984-10-05	13

1. INLEDNING

I samband med en studieresa i USA under tiden september och oktober 1984 besöktes bl a fem olika företag för att diskutera metoder och behov av mätsystem i kol-luftledningar samt olika matningsmetoder vid kolpulverbrännare. Denna del av resan har ingått i SVTG projekt B9 .

2. ROCKWELL INTERNATIONAL, ENERGY SYSTEM
GROUP 1984-10-01

Personer:

- Owen Dykema, project manager
- Keith Moore, marketing specialist

Besöket genomfördes i första hand för att få information om deras låg NO_x/SO_x -brännare och en bränsleflödesmätare för "on-line" mätning i tvåfassystem. Ingen av dessa produkter är kommersiellt tillgänglig och därför kan inga tekniska detaljer redovisas.

2.1 Slaggande låg NO_x/SO_x -brännare

Rockwells bakgrund är den kunskap man erhållit vid arbetet med raketmotorer, dvs processer med höga tryck och temperaturer. Under 70-talet arbetade man med MHD, men då statsmedlen försvann fortsatte man med egna pengar att teoretiskt studera hur man skulle angripa SO_x -problematiken vid förbränning. Med tiden fann man att NO_x -emissionen kunde klaras i samma process. Rockwell bygger idag SO_x -scrubbar på kommersiell basis.

Under 1979-81 har man arbetat med en 5 MW brännarprototyp där enbart det första steget studerats. I detta sker förbränningen understökiometriskt och vid en tillräckligt hög temperatur för att smälta slaggen. Den första prototypen genomfördes i en anläggning från MHD-tiden och trycket var därför 6 bar. Under 1983 gick man vidare med 7 MW prototyp för atmosfärstryck och med ett sekundärt steg där slutförbränningen genomförs.

I första hand är man intresserad av att konvertera oljepannor. Ett av problemen är att bränna-

ren tar stor plats. Ett sätt att lösa detta är att minska bränslepartikelstorleken, men då det är dyrt i existerande kvarnar undersöker man nya malningsmetoder. Man har tagit fram en slaggseparator som tar ca 80% av askpartiklarna och i första hand de stora partiklarna som skulle ge upphov till erosion i pannan. Man räknar med att det inte lönar sig att ta bort de sista 20% och att de dessutom hjälper till att efterlikna oljeflammans värmeöverföring. NO_x -emissionen har legat inom området 5-80 ppm räknat som medelvärden.

Kalken som används för SO_x -reduktionen blandas med kolet vid malningen. SO_x -reduktionen är i samma storleksordning som presenterats vid försök med direktinjicering i kolpulverflammar.

Nu arbetar man med finansiering av en demoanläggning i storleken 30 MW. Ett flertal kraftverk är med och sätter riskvilligt kapital, även Kanada är med.

2.2 Kolflödesmätare

Rockwell utvecklar en serie av instrument för att mäta vatteninnehåll och flöde inom olika tillämpningar där det idag är omöjligt, t ex kondenserat vatten i ångledningar. Med samma teknik utvecklar man ett instrument för kol-slurry och ett för kolpulver/luftblandningar.

Instrumenten är beröringsfria. Med ett givet mellanrum placeras en ljudgenerator och en mottagare. Ljud med olika frekvens genereras. Genom att analysera intensiteten i mottagaren för olika frekvenser kan man beräkna koncentrationen. Med två ljudgeneratorer och mottagare i serie kan man även få fram hastigheten. Mätaren

har testats med olika kol, temperaturer, fukthalter och man anger att felet i hastighetsmätningen är $\pm 1\%$ och koncentrationen inom $\pm 0.1\%$.

Kraftverken har visat ett stort intresse och man beräknar ha ett demonstrationsinstrument i drift inom 24 månader.

En fördel med denna metod är att den mäter genom hela arean av en ledning, vilket innebär att ett osymmetriskt flöde inte påverkar resultatet.

3. BABCOCK & WILCOX COMPANY, BARBERTON
1984-10-02

Personer:

- Paul Cioffi, manager Combustion Systems.

Paul Cioffi är på kraftverkssidan och det innebär att det var i första hand kraftverks-pannor i storleksordningen 600 MW som behandlades vid diskussionen.

B&W ser inget större behov av att kunna mäta flödet mer precist än man gör idag, vilket innebär att man mäter luftflödet med pilotrör till de olika brännarna utan kolkpulver och räknar med att kolflödet blir lika i alla ledningar från kolkvarnen. Fördelning av kolkpulvret till de olika bränsleledningarna sker inne i kvarnen, enbart i ett fall har man använt fördelare utanför kolkvarnen. Detta innebär att man normalt har en ledning från kvarnen till varje brännare. Inställning av rätt luftflöde sker med strypningar i ledningarna.

Flamövervakning sker enbart med avseende på säkerheten, om ingen begär använder man detektorer för synligt ljus.

För övrigt diskuterades olika system för låg NO_x-förbränning. Man är hela tiden medveten om att kommer det fram ny teknik som skapar nya begränsningar vad gäller utsläpp, p g a att det finns teknik hos konkurrenter, så är man ute ur branschen om man inte själva har någon teknik i bakfickan som klarar kraven.

Det man idag utnyttjar för att reducera NO_x är "första" generationen låg NO_x-brännare med en primärzon som är understökiometrisk och med

"slow mixing" med sekundärluft. Om inte kraven blir för hårda kommer man att klara sig med tertiärluftportar utanför brännarna i nästa generation.

Nästa steg, som man arbetar med på laboratoriestadiet, är "overfiring", dvs hela brännarzonen av pannan är understökiometrisk och den sista luften för slutförbränning tillförs ovanför hela brännarzonen, som för en 600 MW panna består av 3x8 brännare på varje långsida av pannan. Denna princip har man på licens från Babcock Hitachi i Japan. Problemet är att man är rädd för korrosion och måste tillverka stora delar av pannan i rostfritt.

4. COMBUSTION ENGINEERING 1984-10-03

Personer:

- W R D'Aguila, manager International Licensing
- Europe
- W H Eidt, licensee sponsor
- P Karadi, International Engineering
- M S McCartney, manager Fuel Firing Equipment

De tekniska frågorna svarade Mr McCartney för, vilka kan sammanfattas enligt följande:

- CE och ingen annan heller kan mäta pulverflöden i "dilute" fas.
- CE är mindre känsliga för fluktuationer av pulverflöde p g a pannornas konstruktion som uteslutande är hörneldade.
- indirekt pulvermatning används enbart för mycket lågreaktiva kol i vertikaleldade pannor. I övriga fall är det för dyrt och det är lika dyrt som att rena rökgaserna katalytiskt.
- DIPC, direkt ignition of pulverized coal, som är deras dense phase system, används enbart för tändning i de fall då man inte vill ha olja eller gas. Skruvarna har mycket kort livslängd.
- Man har två system för fördelning av kolpulvret från kvarn till brännare. Dels genom att varje brännare har en ledning direkt från kvarnen varvid kvarnen är trycksatt, dels ett system där pulvret fördelas efter kvarnen. Det förstnämnda ger klart bättre resultat med avseende på symmetrisk fördelning.
- I ett system med fyra brännare och fördelning i kvarnen är luftflödet till en brännare $25 \pm 3\%$. Troligen varierar kolflödet mellan brännarna med $\pm 20\%$.
- Övervakning av enskilda brännare sker med pulserande visuellt ljus och det används enbart som indikation på att alla brännare är i funktion.

5. FOSTER WHEELER ENERGY CORPORATION

1984-10-04

Personer:

- F J Ceely, manager Special Product Sales
- H J Melosh III, manager Utility Equipment Sales (enbart under lunchen)

Fred Ceely var en äldre gentleman som under de första 20 åren av sin karriär arbetat med problem kring fördelning av kolpulver till brännare. Vissa framsteg har gjorts men han ansåg att det aldrig går att få en bra fördelning hur sofistikerade spjäll, galler eller andra mekaniska metoder man än kan tänka sig.

Foster Wheeler använder såväl kulkvarnar som valskvarnar och i bägge fallen önskar man splitta flödet till de olika brännarna redan inne i kvarnen. Det vanliga är att en kvarn försörjer två eller fyra brännare. Vid valskvarn har man även sex brännare per kvarn.

Vid mätning av pulverflöden använder man vanlig isokinetisk provtagning längs flera diagonaler, vilket är tidsödande och ger ändå ett felaktigt resultat p g a att kolet alltid är mycket osymmetriskt fördelat i ledningen. Vid fördelning till två brännare varierar flödet med bara $\pm 1\%$, men har man fyra brännare ökar felet till $\pm 5\%$ per sida, dvs det ena paret har 45% och det andra 55% av bränsleflödet.

Foster Wheeler använder inga instrument för att karaktärisera flamman förutom vanliga flamvakter.

Avslutningsvis anser Mr Ceely att Studsvik (Sverige) ska koncentrera sig på att studera

askproblematiken, t ex slagging och fouling, där det fortfarande finns mycket att lära. Fördelning av pulverflöden är ett synbarligen olösligt problem, men också mycket betydelsefullt för ett bra förbränningsresultat.

6. COEN COMPANY INC 1984-10-05

Personer;

- T E DeHann, manager Energy System Group

Vid pulvereldning med kol använder man såväl direkt som indirekt matning av pulvret. Indirekt matning sker främst vid kol med låga flykthalter och för roterugnar där man av värmetekniska skäl vill hålla nere transportluftmängden. Man påstår att skillnaden i fråga om fluktuationer inte är märkbar, men det är viktigt att påpeka att Coen i sina normala anläggningar bara har en brännare och inte behöver fördela bränslet. Pulverkoncentration i bränsleledningen har aldrig mätts.

Coen utvecklar en metod för dense phase transport. Såvitt jag kunde se av utrustningen på försöksanläggningen består systemet av en trycksatt behållare som fluidiseras, se avsnitt . Utrustningen används för en tändbrännare som tänds direkt med en elektrisk gnista.

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

- Elforsk
- Värmeverksföreningen
- Övrig industri

Värmeforsk samarbetar med Närings- och teknikutvecklingsverket (NUTEK).

STIFTELSEN FÖR VÄRMETEKNISK FORSKNING

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