VÄRMEFORSK

STIFTELSEN FÖR VÄRMETEKNISK FORSKNING

Inventering av materialtekniska erfarenheter av svenska fluidbäddar

Eric Häggblom

MATERIALTEKNIK 292

Studsvik Arbetsrapport - Technical Note

Projektidentifikation — Project identification	Datum — Date	Rapport nr — Report No.
SVF M4-607	87-09-01	EX-87/54

Titel och författare — Title and author

INVENTERING AV MATERIALTEKNISKA ERFARENHETER AV SVENSKA FLUIDBÄDDAR

Eric Häggblom

Distribution

☐ Begränsad distribution — Restricted distribution ☐ Rapporten skall ej förhandsaviseras — Internal note

Godkänd av — Approved by	Kontonr — Internal note	Antal ex — No. of copies
	4673A	

HUVUDINNEHÅLL

Materialtekniska erfarenheter i form av nötning, korrosion och dylikt, har undersökts i kommersiella svenska fluidiserade bäddar. Erfarenheterna har insamlats genom ett enkätförfarande.

Undersökningen har i första hand inriktats på hur värmeöverförande ytor klarar påfrestningarna. Men också luftdysor, termoelementskyddsrör m m är inkluderade. Problem med eldfasta tegel och keramiska massor berörs endast i liten utsträckning.

Sökord: Fluidiserade bäddar, material, korrosion, erosion

I.209042/I.209043 (Ej repr) 85-04

Studsvik Energiteknik AB
S-611 82 NYKÖPING
Sweden

Tel Nat 0155 - 210 00
Int +46155 - 21000

Telex
64013 studs s

Telefax Nat 0155 - 630 44
Int+46155 - 63044

Studsvik Arbetsrapport - Technical Note

Projektidentifikation — Project identification	Datum — Date	Rapport nr — Report No.
SVF M4-607	87-09-01	EX-87/54

Titel och författare — Title and author

INVENTORY OF MATERIALS EXPERIENCES FROM SWEDISH FLUIDIZED BED COMBUSTORS

Eric Häggblom

Distribution

☐ Begränsad distribution — Restricted distribution ☐ Rapporten skall ej förhandsaviseras — Internal note

Godkänd av — Approved by	Kontonr — Internal note	Antal ex — No. of copies
	4673A	

ABSTRACT

Materials related experiences, such as wear and corrosion, have been investigated in commercial Sweidish fluidized bed boilers. The results have been collected through a questionnaire.

The investigation mainly concerns how heat exchanging surfaces have withstood attacks. But also uncooled metallic internals are included. Bricks and ceramic masses are only shortly mentioned.

Key words: Fluidized beds, materials, corrosion, erosion

I.209042/I.209043 (Ej repr) 85-04

Studsvik Energiteknik AB
S-611 82 NYKÖPING
Sweden

Tel Nat 0155 - 210 00
Int +46155 - 21000

Telex
64013 studs s

Telefax Nat 0155 - 630 44
Int+46155 - 63044

INNEHÅLL

		Sid
1.	BAKGRUND	3
2.	INLEDNING	4
3.	ERFARENHETER AV BUBBLANDE BÄDDAR	6
3.1	Allmänt	6
3.2	Koledade FB	6
3.3	Torveldade och fliseldade FB	8
3.4	Sopeldade FB	9
3.5	Materialval i FB	10
4.	ERFARENHETER AV CIRKULERANDE BÄDDAR	12
4.1	Allmänt	12
4.2	CFB-erfarenheter oavsett bränsle	13
4.3	Materialval i CFB	14
5.	SLUTSATSER	15

1. BAKGRUND

Föreliggande arbete syftar till att utforska vilka materialtekniska svårigheter som förekommer i de i drift varande svenska fluidpannorna. Studien avses också försöka sätta dessa problem i relation till pannmiljöerna, dvs panntyp, bränsle osv. Materialet har i huvudsak insamlats genom att ett frågeformulär sänts till pannägarna och genom telefonsamtal.

En mer teoretisk betraktelse av materialproblemen i fluidpannor har tidigare gjorts i form av en litteraturstudie, se rapport nr 242 i Värmeforsks rapportserie. Där beskrivs mekanismerna för högtemperaturkorrosion och för erosion, samt ges några utländska exempel på materialval och erfarenheter. Där finns också skisser över olika fluidbäddtyper. Av dessa skisser framgår de olika delarna i pannorna som omnämns i föreliggande rapport.

2. INLEDNING

I Sverige finns för närvarande 42 stycken pannor av fluidbäddtyp i kommersiell drift, och en är under byggnad (i Sollefteå). Av dessa 42 har dels pannan på Chalmers i Göteborg, dels pannan på Cityvarvet i Göteborg, helt lämnats utanför denna studie. Chalmers har gjort omfattande materialundersökningar i sin panna, vilka utförligt rapporterats av dem. Pannan på Cityvarvet är Götaverkens egen försökspanna.

Således återstår 40 st pannor, vilka är fördelade på 26 olika orter (eller pannägare). Dessa har kontaktats genom att ett omfattande frågeformulär har skickats ut. Ganska många telefonkontakter har också tagits. Av Tabell 1 framgår fördelningen på olika panntyper och svarsfrekvensen.

Tabell 1

I undersökningen medtagna pannor.

Antal pannor	Typ	Antal fabrikat	Fördelade på antal orter	Antal svar
24	FB	6	15	20
2	FB-MBC	1	2	-
14	CFB	3	12	7

anm: FB = bubblande fluidbädd
FB-MBC = FB av flerbäddstyp
CFB = cirkulerande (snabb) fluidbädd

Inkomna svar har varit mer eller mindre omfattande. En del har välvilligt ställt upp med mycket detaljerade svar, medan andra varit mycket ofullständiga. Vissa har med fog hänvisat till anläggningens korta drifttid, varför utvärdering i dessa fall varit svår att göra. För sex pannor (FB) på tre orter har an-

läggningsägarna överlåtit åt tillverkaren att besvara samtliga frågor.

Undersökningen har i första hand inriktats på hur värmeöverförande ytor har klarat påfrestningarna. Men också luftdysor, termoelementskyddsrör m m är inkluderade. Problem med eldfasta tegel och keramiska massor berörs endast i liten utsträckning.

3. ERFARENHETER AV BUBBLANDE BÄDDAR

3.1 Allmänt

Det största problemet med bubblande fluidbäddar vad gäller material, är nötning av sådana tuber som ligger tvärs bädden nere i den fluidiserade delen. Värmeöverföringen till sådan tuber blir mycket god, varför pannan kan göras kompakt. Trots fördelarna finns i Sverige ändå bara tre FB med bäddtuber. Nötningsproblemen i dessa pannor har också varit påtagliga. En mer speciell typ av bubblande panna förekommer också (i två exemplar). Där blåses fluidiseringsluften in ovanför de horisontella tuberna. De ligger helt nedbäddade i icke fluidiserad sand, vilken sakta rinner ned och matas ut i pannans botten. Sanden matas sedan tillbaka till eldstaden med en transportör. På så vis kommer man helt ifrån nötningsbekymren med bäddtuberna. Förutom i de "vanliga" FB-pannorna finns bäddtuber också i bubblande pannor av typ multibädd. De består i princip av två bubblande FB monterade på varandra. Hur bäddtuberna (liksom för övrigt andra delar av dessa pannor) har klarat sig, är inte känt eftersom inga svar gått att få.

Nedan gås de erhållna svaren igenom uppdelade efter vilka bränslen som huvudsakligen eldas i anläggningarna. Olika bränslen är olika besvärliga och ger delvis skilda problem.

3.2 Koleldade plannor

Fyra värmeverk med tillsammans fem koleldade pannor har svarat. Två av pannorna eldas även med annat än kol, såsom flis, fröavfall och sorterade sopor. Tre fabrikat är representerade.

Bland dessa anläggningar finns två av de ovan nämnda, vilka har horisontella värmeväxlartuber nere

i bädden. Båda eldas enbart med kol. Bäddmaterialet utgörs av ganska grov sand, upp till 2 à 3 mm grov. Drifttiderna hos pannorna ligger på ca 16 000 respektive 13 000 timmar. Bäddtuberna har i ena pannan drabbats av läckage på grund av nötning efter mindre än en eldningssäsong. Ett ferritaustenitiskt rostfritt stål har provats istället för det annars använda kolstålet (något molybdenlegerat). Resultatet var inte tillräckligt bra för att man skulle fortsätta med det rostfria. Bland annat blev läckan, när man fick läckage, plötsligt stor. Stålet är också svårt att bearbeta. Den lösning som man nu hoppas på och som fungerat bra denna säsong är påsvetsade längsgående fenor. I den andra pannan har längsgående fenor också provats, men man rapporterar att man fått erosion mellan fenorna.

Ingen av de fem koleldade FB-pannorna har överhettare. En av dem har murat och helt okylt fribord. De övriga har väggar med vattenpaneler. För att skydda dessa mot alltför kraftig nötning har man använt flera olika metoder. Alla har använt sig av påsvetsade piggar (studding) upp till 1.5 - 2 m höjd vilket är 0.5 - 1 m ovan fluidiseringsnivån. Just vid fluidiseringsnivån är oftast slitaget som störst. Det kan också bli övergångsfenomen där gränslinjen mellan piggar (eller murning eller gjutjärnsplattor) upphör. Partiklar som faller ned längs väggarna måste ändra riktning. Där har man i en av ovanstående pannor satt avfasade gjutjärnsplattor. Alla har också gjort försök att skydda sina panelväggar med hjälp av termisk sprutning. Både piggar och sprutning har minskat nötningen av väggarna. Valet av sprutmetall är givetvis viktigt, se avsnitt 3.5. Försök i en panna med påläggssvetsning har ej gett avsedd effekt.

I de fall som livslängden har angivits för olika komponenter, uppgavs de mest utsatta delarna av panelväggarna ha klarat sig 1 - 2 år. Från några månader upp till tre år anges för termoelement-fickor. Övriga delar som blir illa åtgångna är bränsleinmatningsstup och plåtar kring synglasen.

3.3 Torveldade och fliseldade FB

Svar har inkommit angående tolv pannor. Dessa anläggningar finns på nio orter och är av fyra olika fabrikat. I tre pannor eldas huvudsakligen torv, i två flis och i resten både torv och flis.

Ett av fabrikaten har okylt, dvs murat fribord. Värmen tas där istället tillvara genom bäddtuber som finns under luftinblåsningen, se beskrivning i avsnitt 3.1. Alla övriga har fribord med vattenpaneler, vilka är inmurade till höjder mellan 1.5 och 2 m. Alternativt är väggarna skyddade med gjutjärnsplattor, höjderna anges till mellan 1 och 1.5 m. I några pannor har man murverk några decimeter längst ned, följt av gjutjärnsplattor där ovanför. Ingen har uppgivit några slitageproblem av panelväggarna, vare sig anläggningar eldade med enbart torv, enbart flis, eller kombinationer av båda delarna. Det enda bekymmer som angivits är att gjutjärnsplattor har en tendens att vilja lossna ibland.

Över huvud taget verkar torv- och fliseldning vara betydligt mer bekymmersfritt än koleldning, och givetvis än sopeldning. De redovisade pannorna har drifttider på mellan 6 000 och 27 000 timmar. Två pannor har gått den längsta tiden. Inte i någon panna har några särskilda åtgärder vidtagits i form av flamsprutning, piggar eller annat. Eftersom man som bäddmaterial använder lika grov sand som i de koleldade pannorna, torde nötningsproblemen i de senare mera bero på kolaskan än på den egentliga

sandbädden. En av de pannor som körts 27 000 timmar är fliseldad. Där har bara några väggtuber bytts på hela tiden. De som angett livslängder menar att lyftdysor håller mer än två år. En uppger dock att termoelementrör kan ta slut efter bara ett år på grund av värmespänningar. Samma anläggningsägare har också haft problem med spänningar som gett sprickor i avgaspannans tuber. Problemen har dock bemästrats. Ingen av de redovisade pannorna har överhettare.

3.4 Sopeldade FB

Hushållsavfall eldas i FB på fyra orter i landet. Tre pannor på tre orter redovisas här. Drifttiderna är från 8 000 till 28 000 timmar. Ingen panna har överhettare.

Alla pannorna har panelväggar vilka är inmurade upp till en höjd av mellan 1.5 och 1.9 m. Ingen har använt termisk sprutning eller piggar för att skydda väggarna.

Ett stort bekymmer med sopeldning är igensättningar i konvektionsdelen. Detta är inte i huvudsak ett materialtekniskt problem, utan igensättningarna gör att gashastigheten ökar där passagen är fri. Följden blir nötningsskador. Man kan plugga tuber, men får givetvis så småningom byta dem. Så pass lite som ett års livslängd på tuber förekommer. Igensättningarna beror till stor del på att aluminium i soporna rycks med gasströmmen. Om det är som droppar eller i gasfas som sedan kondenseras är lite oklart. I alla fall bidrar aluminiumet effektivt till att klumpa ihop partiklarna i gasströmmen. Medryckningen av aluminium blir kraftigare vid högre bäddtemperatur. Denna måste därför begränsas och är ofta 50 - 150°C lägre vid sopeldning än vid andra bränslen.

Ett känt problem vid sopeldning är bildningen av klorvätegas, vilken är mycket korrosiv. Kloret härrör från PVC-plast och till viss del från salt. För att klorvätet ska bli problematiskt, behöver temperaturen hos de utsatta delarna vara hög, gissningsvis minst 500°C. I pannor med överhettare kan man därför få korrosion av dessa. Men det finns ju en del okylda delar i alla pannor. I de nu aktuella pannorna varar termoelementrören ofta så lite som ett halvår, trots att de är av höglegerat stål. Orsaken är i huvudsak korrosion, även om nötning spelar in.

Luftdysorna får också mycket stryk. Man räknar med att de håller ungefär en säsong. Sidoriktade dysor används och soporna glider fram ovanpå dysorna.

Över huvud taget är sopor svåreldat eftersom det är ett så inhomogent bränsle.

3.5 Materialval i FB

I panelväggar och konvektionsdelar förekommer uteslutande, oavsett bränsle, olegerat kolstål till tuberna. SS 1330 och St 35.8 är de stål som används. SS 1330 är klassat som tryckkärlsstål i svensk standard. I de fall då man haft nötningsproblem har man således aldrig valt andra tubmaterial, utan istället med någon metod försökt skydda stålytan. Flamsprutning av skilda material förekommer; mest framgång rapporteras med flamsprutning av rostfritt kromstål (ca 13 % Cr) i form av tråd.

FB-pannor med kylslingor i bädden har dessa gjorda av St 35.8 eller 15 Mo 3. Det senare är ett kolstål med 0.25 - 0.35 % molybden. Skillnaderna i egenskaper hos stålen är marginella. I den ena anläggningen har man provat SS 2377, som är ett ferriaustenitiskt rostfritt stål av typ 22 % krom, 5 %

nickel, 3 % molybden. Stålet är hårt och livslängden blev något bättre än med kolstål. Men som framgår av avsnitt 3.2 övervägde nackdelarna. Fenorna som man nu har på kolstålstuber är av SS 2361, ett högtemperaturbeständigt rostfritt stål av typ 25 % krom och 20 % nickel. Anledningen till att man valt ett så pass dyrt material är inte känd.

Termoskyddsrör måste tåla bäddens temperatur och väljs därför i någon högtemperaturbeständig legering, ofta 253 MA (21 % krom, 11 % nickel). SS 2343 (17 % krom, 13 % nickel, 3 % molybden) är egentligen inte en högtemperaturlegering, men den används också till termoskyddsrör av flera. I ett fall har man påläggssvetsat SS 2343 med OK 68.60 (25 % krom, 5 % nickel, 1.5 % molybden). Livslängden har ändå ibland blivit så kort som 1 500 timmar. Det gäller en koleldad panna. 253 MA kan hålla upp till tre år vid koleldning, men eftersom det gäller olika pannkonstruktioner är jämförelsen vansklig. I soppannor håller ibland inte ens skyddsrör av 253 MA mer än ett halvår och materialvalet är ett problem. Grova dimensioner måste väljas. Stellite kan vara en lösning, men det framgår inte av denna undersökning.

Som material i luftdysor nämns såväl olegerat kolstål, SS 2343 och 253 MA. Att kolstål går att använda är lite märkligt. Den pannan är torveldad och har gått i 12 000 timmar utan att man iakttagit några särskilda materialproblem. Sopeldning är värst och det förekommer försök med olika mer eller mindre avancerade material. Panntillverkarna är dock av förståeliga skäl lite hemlighetsfulla.

Det bör påpekas att ovanstående materialgenomgång bygger på ett begränsat underlag. Många har inte velat eller kunnat uppge materialvalet i pannornas olika delar.

4. ERFARENHETER AV CIRKULERANDE BÄDDAR

4.1 Allmänt

Cirkulerande fluidbäddar har aldrig några horisontella kylslingor i bädden. Dessa skulle snabbt nötas sönder. Det är knappt rekommendabelt att sätta ett termoelement rakt in från en pannvägg.

Fluidiseringshastigheten är högre i en CFB än i en FB. Den ligger kring 4 - 7 m/s i CFB och kring 2 m/s i FB. Rökgashastigheten in till cyklonerna i CFB är ett par m/s högre än fluidiseringshastigheten. En sak som däremot verkar i positiv riktning är att man ofta har mer finfördelad sand som bäddmaterial i CFB än i FB. Enligt inkomna svar använder man i de bubblande bäddarna sand som har korn upp till 2 mm grovlek, ofta upp till 3 mm grovlek. Om man bränner ett bränsle utan grova askpartiklar, kan det löna sig att hålla nere bäddmaterialets kornstorlek. Ett par av CFB-pannorna använder sand med upp till 2 mm kornstorlek, men de flesta ligger under 1 mm. Silversand 25 (korn upp till 0.7 mm) är vanligt. En uppges ha < 0.2 mm.

Svarsfrekvensen har som framgår av Tabell 1, varit lägre för CFB än för FB-pannor. Uppgifter har inkommit om hälften av de aktuella anläggningarna. Tre fabrikat är representerade i svaren. De flesta eldar flera bränslen, samtidigt eller i kampanjer var för sig. I två pannor eldas enbart torv och i en enbart skogsbränsle. Den senare är den enda där torv inte alls eldas. Således har svar inte erhållits från någon som har kol som enda bränsle. Hushållsavfall eldas endast i en av pannorna och då i form av sorterade sopor (RDF). Dessutom blandas soporna med andra bränslen. Av dessa skäl kan inte någon rubrikindelning göras på samma sätt som i avsnitt 3.

4.2 CFB-erfarenheter oavsett bränsle

Pannorna i undersökningen har drifttider på allting mellan en driftsäsong och 22 000 timmar.

Det för nötning mest utsatta stället i en CFB tycks vara reaktorns tak och avlänkningen till cyklonerna. Alla har dock inte bekymmer med reaktortaket. Av de som uppgivit livslängden har en angett att taket hållit i 4 år. En annan fick genombrott i det murade reaktortaket efter 50 timmar. Både tuber och murning förekommer i taket. Olika metoder att skydda taket är så kallade laxstjärtar som håller murverket på plats, eller mer speciella metoder som man inte vill avslöja. En pannägare uppger att taket håller tillfredsställande när piggar används i kombination med murning (murningens tjocklek = piggarnas längd). En som skyddat tuber i taket med stampmassa, uppgav att den till största delen försvunnit på en säsong. Olika typer av murverk är givetvis olika beständiga mot nötning. Men en närmare utredning av den saken ligger utanför detta projekt.

CFB-pannorna i undersökningen har alla sin nedre del av eldstaden infodrad med keramiskt material. Höjden varierar mellan 0.5 och 4 meter. Alla pannorna har vattenpaneler i väggarna. Flera har uppgivit att man har extra murning i pannans hörn, eftersom tuberna annars nöts för mycket. Det gäller att undvika turbulens i övergången mellan kyld och okyld vägg. Murningens utformning är viktig här. Någon har uppgett att man har gjutjärnsblock i övergången mellan murverk och panel. Flera uppger att man fått nötning av tuberna invid hörnen och 2 - 3 års livslängd anges av dem. Skadorna kan ibland vara mycket lokala. Två år betraktas inte som acceptabel livslängd hos tuber. Erosion förekommer också av panelvägg runt inspektionsluckor, vilket gett endast ett års tublivslängd.

De nötningsproblem som förekommer har man företrädesvis sökt lösa genom konstruktionsändringar. Ingen har provat att spruta med metall. Längsgående vertikala fenor svetsade mellan tuberna i panelväggen, är till för att förbättra värmeövergången och inte som erosionsskydd.

En pannägare uppger att de mest utsatta luftdysorna håller bara ett halvår. Två anger ett år och två menar att man inga dysproblem har, trots att en av pannorna gått så pass mycket som 22 000 timmar. Övriga har ej svarat på denna fråga. Skadeorsaken är i förefintliga fall nötning. Dysorna som hållit 22 000 timmar och är hela än, är av rak typ utan hattar.

Livslängden hos termoelementrör varierar likaså från ett halvår till flera år. De som eldar enbart torv verkar ha mindre slitageproblem än de som även eldar RDF eller kol.

Andra skador som omnämns är erosion runt och i inmatningsskruvarna, samt nötning i konvektionsdelen.

4.3 Materialval i CFB

Endast några få uppgifter har inkommit om vilka stål som används i CFB-pannorna.

För panelväggar uppges, liksom för bubblande bäddar, endast olegerat kolstål. St 35.8 och St 37.8 nämns, vilka har samma sammansättning. Men det senare stålet uppfyller några fler ISO-standarder. Samma stålsorter används i konvektionsdelarnas tuber.

Som material till luftdysor och termoelementskyddsrör nämns SS 2377. Till termoelementskyddsrör används även 253 MA.

Den enda panna som har överhettare har denna tillverkad av 15 Mo 3, vilket motsvarar SS 2912.

5. SLUTSATSER

I den första generationen bubblande FB-pannor ville man ta tillvara möjligheten till värmeväxling genom kylslingor i bädden. Nötningsproblemen blev dock omfattande och man har inte byggt flera pannor med denna typ av tuber i Sverige de senaste åren. Ovanstående påstående gäller ej de så kallade MBC-pannorna för vilka några nötningserfarenheter ej stått att få. Tekniken med bäddtuber kommer igen i de trycksatta fluidbäddarna. Men där är driftsförhållandena annorlunda. Framför allt är fluidiseringshastigheten lägre. Det mest framgångsrika sättet att minska bäddtuberosionen i bubblande pannor synes vara längsgående fenor svetsade på tuberna.

Både cirkulerande och bubblande pannor får nötningsskador på panelväggarna. Ned till ett års livslängd rapporteras på de mest utsatta tuberna. Den konstruktiva utformningen vid övergången mellan den nedre inklädda delen och fribordet är väsentlig. Sprutning av väggarna med 13 %-iga kromstål har varit positivt. Mest utsatta är koleldade pannor.

Okylda komponenter korroderar ibland snabbt, särskilt i sopeldade anläggningar. Cirkulerande bäddar har ibland också problem med nötning av murverk i tak och övergång mot cyklonerna.

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

- Elforsk
- Värmeverksföreningen
- Övrig industri

Värmeforsk samarbetar med Närings- och teknikutvecklingsverket (NUTEK).

STIFTELSEN FÖR VÄRMETEKNISK FORSKNING

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