



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



**Rapport**

**R30:1985**

**Ventilationsförluster  
hos oljeeldad villapanna**

**Poul H Rasmussen**

R  
90/85

|                                     |     |
|-------------------------------------|-----|
| INSTITUTET FÖR<br>BYGGDOKUMENTATION |     |
| Accnr                               |     |
| Plac                                | see |

**Byggeforskningsrådet**

R30:1985

VENTILATIONSFÖRLUSTER HOS OLJEELDAD VILLAPANNA

Poul H Rasmussen

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 801506-3  
från Statens råd för byggnadsforskning till Tre R,  
Ruth R Rasmussen & Co, Tullinge.

I Byggforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

R30:1985

ISBN 91-540-4331-X  
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Liber Tryck AB Stockholm 1985

## INNEHÅLL

|    |  |    |
|----|--|----|
|    | BETECKNINGAR   | 4  |
|    | FÖRORD   | 5  |
|    | SAMMANFATTNING   | 7  |
| .1 | UNDERSÖKNINGENS BAKGRUND OCH MÅL   | 11 |
|    | <i>.11 Vad är ventilationsförluster vid oljeeldning och varför finns de? - (11), .12 Hur ventilationsförlusterna har studerats i projektet (12), .13 Övriga förluster hos oljeeldade villapannor (14), .14 Problemets betydelse (17), .15 Projektets mål (17).</i> |    |
| .2 | METODER OCH MÄTTEKNIK  | 18 |
|    | <i>.21 Försöksplan (18), .22 Manuella mätningar och observationer (20), .23 Tryck- och vindobservationer (27), .24 Registrerade temperaturer och gasanalyser (51), .25 Sammanfattning av mätstorheter och standardavvikelser (60).</i>                             |    |
| .3 | UNDERSÖKNINGENS RESULTAT   | 61 |
|    | <i>.31 Rökgasförluster o d (61), .32 Ventilationsförluster och utetemperaturens inverkan på dessa (69), .33 Vindens inverkan på ventilationsförlusterna (83).</i>  |    |
| .4 | ANVÄNDNING OCH SLUTSATSER  | 88 |
|    | LITTERATUR   | 93 |

## BETECKNINGAR

## Latinska symboler

- A, B, C, D mellanresultat (.32)
- A, B, C, D oljebrännare i projektet, (.21)
- E, F, G, H, I, K oljebrännare enligt Johansson, (1982), (.22, .31)
- BD, N, S luftintag balanseerat drag, från norr respektive från söder
- C, c arbiträra konstanter (.23, .4, b)
- $F = F^* \times (1-i)$  Watt ventilationsförluster (.32)
- $f_g, f_d, f_p, f_v$  förlusttyper vid oljeeldning (.13)
- h m skorstenshöjd
- i relativ gångtid hos oljebrännare (.11)
- L  $m^3/h$  läckageflöde i panna
- $L_{40}$  vid  $p_e = 40$  Pa
- $L_{br}, L_{le}$  se (.31)
- $L_f, L_{fke}, L_{fkr}$  se (.31, a-e)
- $n_V, n_L, n_B$  exponenter till  $p_e$  i uttryck för V, L och  $V_B$  respektive (.22)
- $n_o, n_f$  antal observationer resp frihetsgrader
- p,  $p_e, p(0,0)$  tryck, undertryck i eldstad
- Q,  $Q_{Br}$  kg/h oljeflöde hos brännare
- r korrelationskoefficient
- $R_v, L_t$   $m^3/kg$  våt rökgas respektive torr förbränningsluft per kg olja
- $S_u(n)$  vindenergi (.23)
- s( ) standardavvikelse, medelmät fel
- $V = L + V_B$   $m^3/h$  ventilationsflöde,  $V_{40}$  vid 40 Pa
- $V_B$  flöde genom brännare

$$V(p) = V$$

$V(p)$  variansen av p

$v(O_2), v(CO_2)$  volymsprocent  $O_2$  respektive  $CO_2$  i torr rökgas

## Grekiska symboler

- $\alpha, \beta, \gamma, \delta$  pannor enligt Johansson (1982), (.22, .31)
- $\alpha$ , exponent, (.31, g)
- $\alpha W$ , koefficient till i (.32, t)
- $\alpha Pa, \beta Pa/DegC$  koefficienter (.32, d; .4, b)
- $\zeta, \eta, \xi$  transformerade variabler (.32, f)
- $\theta$   $^{\circ}C$ , temperatur
- $\theta_r$  runstemperatur
- $\theta_u$  utetemperatur
- $\theta_p$  panntemperatur
- $\theta_g$  rökgastemperatur
- $\theta_v$  ventilationslufttemp
- $\theta_y$  yttemp, rökkanal
- $\Sigma$  Summa

## FÖRORD

Detta projekt har kunnat genomföras tack vara intresse och stöd från många håll. Projektet har diskuterats med BFR, konsumentverket, representanter för brännartillverkare samt personal hos SIFU. Béntone AB och Electro Oil AB har ställt brännare till förfogande för projektet. SIFU, SMHI och Svenska träforskningsinstitutet har bistått med utlåning av mätutrustning. Annan hjälp har erhållits från väderlekstjänsten, F 18, KTH kemi, Siemens Svenska AB samt Sievert instrument AB. Sist men inte minst har BFR svarat för projektets finansiering. Till alla som således på olika sätt har underlättat projektet vill författaren rikta ett varmt tack.





## SAMMANFATTNING

Typiskt för oljeeldade villapannor är att brännaren endast är i gång ca 20 % av värmearläggningens drifttid. När brännaren står stilla finns ett termiskt betirgat luftflöde genom panna och skorsten, anläggningen ventileras. Projektets mål är att undersöka och kvantifiera det konvektiva värmefflöde som är förknippad med ventilationen, ventilationsförlusterna. Medan övriga förlusttyper, rökgasförluster, värmeförluster från pannkroppen samt luck- och bottenförluster vilka är lämpade för laboratorieundersökningar, är väl kända sedan tidigare har ventilationsförlusterna knappast förut undersökts systematiskt.

Undersökningen har utförts i en villa söder om Stockholm. Den har bedömts väl lämpad för ändamålet, bl a är den exponerad för vind från söder men annars skyddad av träd och annan bebyggelse. Vindregistreringar från en på skorstenen monterad vindmätare, 10 m över marken, har i försöken kunnat jämföras med synopobservationer och vindregistreringar hos den näraliggande vädertjänsten vid F 18 i Tullinge.

Försökspannan är CTC 265B. Fyra olika brännare har använts i försöken därav två nya och två från 70-talets början. Skorstenen är 10 m hög och av traditionellt utförande. Tillförsel av förbränningsluft har växelvis anordnats från norr, från söder och genom en evakueringskanal i skorstenen, balanserat drag. Brännarna har tvångsstyrts under försöken som utförts vid följande intermittensvärden:  $i = 1/8$ ,  $1/4$ ,  $1/2$  och  $7/8$ , varvid hela effektområdet har studerats. Försök har utförts vid alla tider av året och både i lugnt väder och med vind.

Ventilationsflödet bestäms indirekt utifrån undertrycket i pannan relativt pannrummet. En registrerande mikromanometer (0-40 Pa) har registrerat undertrycket i pannans eldstad omväxlande med rökkanalen. Som komplettering av de meteorologiska observationer har även tryckskillnaden mellan luftintagen åt norr och åt söder registrerats. Därutöver har ventilationsluftens temperatur, rökgastemperaturen,  $O_2$  halt i rökgaserna, panntemperatur, pannrumstemperatur mm löpande registrerats under försöken. Brännarnas oljeförbrukning har kalibrerats medelst vägning. Ventilationsflödet och den del av detta som utgörs av pannans läckage har bestämts för varje brännare och för olika undertryck i särskilda kalibreringsförsök.

En empirisk matematisk modell av ventilationsförluster i lugnt väder har anpassats till försöksresultaten.

Ventilations- och läckageflödena är enligt denna en

potensfunktion av undertrycket i pannan med exponenten,  $n = .58-.68$ . De funna ventilationsflöden hos de äldre brännarna är ca 50 % större än hos de nyare. Jämförelser har gjorts med motsvarande kalibreringsförsök avseende fyra pannor och sex brännare utförda vid Statens Provninganstalt, Johansson (1982).

Ventilationsluftens temperatur ökar med brännarens intermittens men är i huvudsak okänslig för undertrycket i pannan. Hos tre av brännarna har temperaturen kunnat approximeras med samma polynomium av andra graden i  $i$ . Hos den fjärde som dels har lägre rökgasförluster dels lägre oljeflöde (2.0 kg/h mot 2.2-2.5) är temperaturen lägre men kurvformen är identisk den samma.

Undertrycket i pannan ökar med brännarens intermittens och minskar med ökande utetemperatur,  $\theta_u$ . För varje luftförsörjningsfall har beräknats ett för brännarna gemensamt linjärt uttryck för undertrycket som funktion av intermittensen och utetemperaturen. Koefficienten till  $i$  är den samma i dessa uttryck ( $i = 13.1$ ). Undertrycket är lägre med balanserat drag än när förbränningsluften tas in genom ett vanligt luftintag. Skillnaden är störst vid låga utemperaturer för att sedan beräkningsmässigt försvinna vid  $\theta_u \sim 35 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Nämnda tre samband - flödet bestämt av draget i pannan, temperaturen av belastningen samt draget beräknat av belastning och utetemperatur - utgör tillsammans modellen av vilken ventilationsförlusterna kan beräknas. Kurvor över ventilationsförlusterna som funktion av belastningen för olika utemperaturer kan mycket nära approximeras med parabler. De har ett maximum för  $i \sim .3$ . Beräknade förluster vid nollast är ungefär 20 % lägre än maximet. Detta innebär att i verkligheten förekommande ventilationsförluster inte är mycket under maximivärdet. För  $i = 1$  är förlusterna definitionsmässigt lika med noll.

Vindens inverkan på ventilationsförlusterna har än så länge inte beaktats. Vinden är turbulent. Det innebär snabba stokastiska tryckvariationer. Även vindriktningen fluktuerar. För projektet tillgänglig mätutrustning har inte medgett simultan registrering av olika tryck. Försöksbearbetning och utvärdering har därvid försvårats och blivit mera osäker.

Vinden förorsakar varierande tryck vid skorstenstoppen och vid luftintaget. Försöken indikerar att variationerna fortplanter sig i det närmaste obehindrat till pannans förbränningsrum respektive pannrummet. Det termiska trycket överlagrat av skillnaden mellan dessa tryck styr det momentana ventilationsflödet. Försöken bekräftar att anläggningen är minst vindkänslig vid balanserat drag där luftinta-

get sker nära rökgasutsläppet varför tryckskillnaderna därvid minimeras.

Enligt projektplanen har eftersträövats en sammanlänkning av observerade bidrag från vinden till undertrycket i pannan med den tryckskillnad som vinden genererar mellan husets fasader mot norr respektive söder. I fall projektresultaten väcker intresse för närmare studier av vindens inverkan på ventilationsförlusterna i olika fastighetstyper med olika vindskydd finns eventuellt möjligheter att därtill utnyttja vindtunnelförsök, en både snabbare och billigare lösning än nya pannförsök.

Sammanlänkning eftersträvades också med existerande rutiner för meteorologiska observationer, därför samarbetet med vädertjänsten vid F 18. Med denna länk underlättas bedömningen av lokala vindeffekter med existerande väderdata som utgångspunkt.

Observerade tryck i vindförsöken är mindre lämpade för systematisk behandling än försöken utan vind. I stället har förhållandena exemplifierats i en genomgång av två typiska försöksserier. Den ena representerar frontalvind från söder, dvs största möjliga vindexponering. I den andra är vinden något lite kraftigare men riktningen är kring WSW från vilket håll fastigheten är bättre skyddad.

Vindhastigheten ovan husets tak är vid vindexponering 15-20 % lägre än den fria vindhastigheten hos F 18. Vindhastigheten i höjd med luftintagen - dvs nära marken - är endast ca hälften av den fria hastigheten.

Dragökningen med luftintaget exponerat för frontal vind är ca 60 % av vindtrycket på F 18. Den är därmed något större än tryckskillnaden över huset.

Med luftintaget i vindskugga är dragökningen 15-30 % av ökningen vid exponerat luftintag, vid balanserat drag endast ca 10 %.

I en tabell har exempel på beräknade ventilationsförluster, F Watt, lämnats för två brännare med  $i = .25$ , utetemperaturerna -10, 0 och +10 °C samt utan vind respektive vind ca 8 m/s med vindexponerat luftintag och med vindskyddat intag. Även balanserat drag har genomräknats. Med  $i = .125$  är ventilationsförlusterna ca 10 % lägre än tabellvärdena.

Merförbrukningen av olja till följd av ventilationsförlusterna uppskattas till 150-300 liter per år beroende på bl a panna och brännare. De är därmed för en traditionell fastighet något mindre än rökgasförlusterna. Hos ett välisolerat hus kan de kanske nå paritet med dessa.

Ventilationsflödet utgörs av luft som söker sig väg genom brännaren men också av läckage i pannan. Den senare delen har i projektet representerat 25-40 %

av ventilationsförlusterna. Läckaget påverkar även rökgasförlusterna. I försöksbearbetningen har beräknats vad en ökning av draget i pannan från 0 till 40 Pa innebär. CO<sub>2</sub> procenten minskar i medeltal från 14.2 till 11.1 %. Motsvarande beräkning för tät panna ger en minskning till 13.0 %, dvs knappast nämnvärd. Siffervärdena betyder att ca 70 % av ökningen hos förbränningsluftflödet är läckage i pannan. Mätningar enligt Johansson (1982) ger samma resultat.

Rökgasspjällets inverkan på ventilationsförlusterna har också undersökts. Det är helt verkningslöst! - Vad gäller rökgasförlusterna har det, enligt ovan, inte heller någon större betydelse - i varje fall om pannan är tät.

Det är kanske tid att avskaffa såväl pannläckage som rökgasspjäll i oljeeldade villapannor. De förefaller vara rudiment från en svunnen tid.

Det finns spjällanordningar som syftar till att stänga av ventilationsflödet. Enligt min mening löper man risk att därmed få kondens i skorstenen vilket kan innebära stora skadekostnader. Skorstenen kan behöva torka när brännaren har stannat.

Förslag till kompletterande, nya insatser som kan öka projektresultatens användbarhet:

- o Vindtunnelförsök enligt ovan. Insatserna bör samplaneras med andra frågeställningar rörande vind och läverkan kring fastigheter och med redan utförda studier.
- o Utveckling och utprovning av beräkningsprogram rörande klimatfaktorers inverkan på villapannors rökgasförluster och ventilationsförluster. Utvärdering av klimats ekonomiska betydelse i relation till klimatzoner och bebyggelse typer jämte eldningsutrustningar.
- o Närmare diskussion av energibesparande åtgärder i små och medelstora eldningsanläggningar i relation till bl a utetemperatur och vind.

## .1           UNDERSÖKNINGENS BAKGRUND OCH MÅL

*Vad är ventilationsförluster vid oljeeldning och varför finns de? - Hur ventilationsförlusterna har studerats i projektet. - Övriga förluster hos oljeeldade villapannor. - Problemetets betydelse. - Projektets mål.*

## .11           Vad är ventilationsförluster vid oljeeldning och varför finns de? -

När en oljebrännare stannar är panna och skorsten varm. Kvarvarande rökgaser söker sig uppåt och ersätts av luft som tar sig in i pannan genom förekommande läckor och genom brännaren. Luften värms i sin tur och ett kontinuerligt flöde, ventilation, bildas i pannan. Den varma ventilationsluften innebär en värmeavgivning från anläggningen som inte nyttiggörs, en förlust. Man talar om genomströmningförluster. Författaren har föredragit beteckningen 'Ventilationsförluster' vilken därför konsekvent används i det följande.

Vid eldning med traditionella fasta bränslen finns ingen egentlig motsvarighet till oljeeldningens ventilationsförluster. Skillnaden beror på att den effekt som våra oljebrännare avger under gång är praktiskt taget konstant. Detta skall ställas emot att erforderlig värmeförsörjning till pannan varierar över året inom vida gränser. Under varma somardagar skall brännaren endast svara för varmvattenbehovet och annars leverera tomgångsvärme för att hålla pannan varm. Vinterdagar med extrem kyla och kanske blåst skall den dessutom motsvara ett maximalt uppvärmningsbehov. Anpassning till värmeuttaget från anläggningen sker genom att oljevärmet tillförs pannan i form av impulser interfolierade med kortare eller längre stilleståndstider. Brännarens relativa gångtid (gångtid per timme, dygn eller år) varierar således med belastningen. Den relativa gångtiden kallas ofta intermittensen, i.

Man kan få en uppfattning om intermittensens storlek genom att jämföra en anläggnings årsförbrukning av olja - vanligen 3.5-5.0 m<sup>3</sup> - med den mängd olja brännaren kan förbruka vid oavbruten gång under ett helt år - 8760 timmar. Timförbrukningen för villabrännare varierar vanligen mellan 1.9 och 3.0 liter. Den kan dock vara både större och mindre. Med stöd av ovannämnda siffervärden finner man följande ungefärliga gränsvärden för i:

$$i_{\min} \sim 3500/8760/3.0 \sim .133 \text{ och}$$

$$i_{\max} \sim 5000/8760/1.9 \sim .300$$

Det framgår härav att villabrännare i varje fall står stilla större delen av året.

.12 Hur ventilationsförlusterna har studerats i projektet.

Ventilationsförlusterna hos villapannor har studerats och diskuterats redan tidigare, Dafgård & Peterson (1978), Hammarsten (1983), Peterson & Rosenthal (1978), Rasmussen (1962, 1963, 1977, 1980). Mätresultat enligt Rasmussen (1962) utgör del av underlaget även för övriga nämnda publikationer. Med hänsyn till den tekniska utveckling som skett under mellantiden är tillförlitligheten numera inte tillfredsställande. Även bortsett från åldern är försöksmaterialet bristfälligt då det grundats på laboratorieförsök vid vilka inverkan av yttre klimatfaktorer, vind och utetemperatur, eliminerats.

I föreliggande undersökning som utförts i författarens egen oljeeldningsanläggning har en i drift varande installation försetts med relativt omfattande mätutrustning. Försök har gjorts vid varierande klimatiska betingelser. Själva bestämningen av ventilationsförlusterna har liksom i ovan relaterade studier baserats på kalibrering av sambandet mellan undertrycket i pannan och det luftflöde som tryckskillnaden ger upphov till. I försöken mäts sedan undertrycket och temperaturen hos luften före och efter pannan. Av dessa kan ventilationsförlusterna lätt beräknas. Övrig försöksmetodik och mätteknik redovisas mera detaljerad i följande avsnitt. Här skall främst nämnas lite om de givna och oföränderliga förutsättningar som den valda uppläggningsen av projektet inneburit.

Det som är givet är fastigheten, dess konstruktion, utförande och läge samt pannanläggningen. Huset är beläget i Tullinge söder om Stockholm och är byggd 1961 av tegel och gasbetong med bjälklag av armerad betong. Det har rektangulär grundplan (ca 14 x 10 m) och sadeltak. Längdriktningen är öst-väst. Tomten är delvis lutande mot söder. Suterrängvåningen är således i nivå med tomtens mot söder. Åt söder avslutas tomtens ca 30 m ifrån huset med ca 35 m stup.

Mellan huset och stupet finns glesa träd. Figurerna .12a,b visar huset sett från SSW från ett avstånd av ca 1500 m respektive 800 m. Det syns att huset är vindexponerat från söder och att bakomliggande höglänt skogsklädd terräng utgör skydd mot norr. Skydd finns också mot ost och mot väst. Enligt Taesler (1972) utgör vind från SE, S och SW mera än 40 % av all vind i Tullinge.

Fastigheten har bedömts väl lämpad för den aktuella undersökningen i vilken väderlekens inverkan har prioriterats högt. En ytterligare fördel är att den är belägen endast ca 3 km norr om F 18 i Tullinge. Väderlekstjänsten där har med stor beredvillighet lämnat klimatuppgifter vid försökstillfällena.



Figur .12 a, b

Försöksfastigheten sett från SSW från 800 m (a) respektive 1500 m (b) avstånd. Huset är tämligen vindexponerat. Övre delen av stupet syns (a) och bakom skog (b). Balkong (1.4 m) kastar skugga på suterrängvåningen.

Pannrummet finns under köket mot norr. En  $4.5 \text{ m}^3$  oljetank finns i pannrummet vilket ändå lämnar utrymme för försöksutrustning och arbetsplats. Pannan är CTC 265 B från början av 70-talet. Den ingick i en tidigare undersökning på uppdrag av konsumentinstitutet som författaren svarade för, Rasmussen (1977). Det har bedömts förmånligt att resultat av en fullständig laboratorieprovning av pannan finns tillgänglig. Två brännare från samma tid har ingått i denna undersökning tillsammans med två fabriksnya brännare.

Skorstenen, av tegel, är ca 10 m hög mätt från pannrumsgolvet. Skorstenen går ut genom norra takytan intill taknocken. Den befinner sig några meter väster om husets mitt.

Ventilationsförlusterna utgör en utav flera förlusttyper som tillsammans bestämmer energiutbytet, effektiviteten, hos en oljeeldningsanläggning. Ventilationsförlusterna går inte att på ett enkelt sätt mäta i samband med vanlig driftkontroll. Bl a av denna anledning har de hittills ägnats begränsad uppmärksamhet. I det närmast följande avsnittet lämnas för sammanhangets skull en översikt över övriga förlusttyper tillsammans med några personliga reflexioner.

## .13 Övriga förluster hos oljeeldade villapannor.

För sammanhangets skull genomgås i det följande förlusterna hos små oljeeldade pannor. De kan uppdelas i följande typer:

|       |                              |
|-------|------------------------------|
| $f_g$ | Rökgasförluster              |
| $f_d$ | Luck- och bottenförluster mm |
| $f_b$ | Isoleringsförluster          |
| $f_v$ | Ventilationsförluster        |

*Rökgasförluster*

Av dessa avser rökgasförlusterna - som namnet anger - rökgasernas energiinnehåll när de lämnar pannan. Att tala om förluster i detta sammanhang är dock inte hela sanningen. Dels har rökgasernas värmeinnehåll tekniska funktioner i vanliga anläggningar som man inte bör negligera, dels återgår en del av värmen till bostaden genom att skorstensstocken värms upp. Denna värme går inte förlorad, i varje fall inte i sin helhet.

Två tekniska funktioner hos rökgasvärmen skall nämnas. De varma rökgaserna är lättare än omgivande luft varför ett undertryck alstras i pannan. Detta undertryck tjänar till att övervinna gasernas strömningmotstånd i systemet panna, rökkanal, skorsten samt till att vidmakthålla ett undertryck i förbränningsrummet och därigenom förhindra sanitära olägenheter till följd av utläckande förbränningsprodukter.

Den andra funktionen sammanhänger med att rökgaser vid oljeeldning innehåller stora mängder vattenånga. För varje liter olja som förbrännes bildas mera än en liter vatten i ångform. Man brukar ange 200 °C som en rimlig lägsta rökgastemperatur för att undvika skador till följd av kondensation av vatten i rökkanalen. Kondensatet från oljeeldning har lågt pH (p g a svaveloxider) och förstör lätt skorstenar. På grund av sin surhet får kondensatet inte heller obehandlat ledas till avlopp.

Det är naturligtvis fullt möjligt att konstruera en tät panna och skorsten av material som motstår kondensatangrepp. Man kan då utvinna högst 7 % mera värme ur oljan och samtidigt eliminera större delen av rökgasförlusterna. Mot ett sådant system talar dels kostnader och besvär för att neutralisera kondensatet dels investeringskostnaderna för installationen.

Rökgasförlusterna utgörs av energiinnehållet dels i eventuella oförbrända beståndsdelar hos rökgaserna dels p g a förhöjd temperatur. Oförbränt av nämnvärd betydelse förekommer normalt inte hos oljeeldade villapannor om sotvärdet motsvarar gällande bestämmelser. Ett undantag är dock brännare med s k blå låga - dvs icke lysande låga. Hos dessa kan förbränningen generera betydande kvantiteter



av aldehyder och kolmonoxid utan samtidig sotutveckling.

I det följande bortses från kemiskt bunden energi i rökgaserna. Rökgasförlusterna bestäms då genom mätning av rökgasens övertemperatur,  $\Delta\theta_g$ , bestämning av koldioxidhalten,  $v(\text{CO}_2)$ , samt insättning i formeln

$$f_g = (.5/v(\text{CO}_2) + .007) \times \Delta\theta_g \quad \%$$

Låga rökgasförluster förutsätter låg rökgastemperatur och högt  $v(\text{CO}_2)$ -värde. Det ovan rekommenderade minimivärde hos rökgastemperaturen, 200 °C, motsvarar vid en pannrumstemperatur av 20 °C temperaturdifferensen 180 C. Med hänsyn tagen till sotbeläggningar etc är det kanske mest realistiskt att som gränsvärde räkna med

$$\Delta\theta_g = 200 \text{ C}$$

Beräkningsmässigt svarar fullständig förbränning utan luftöverskott till  $v(\text{CO}_2) = 15.4 \%$ . Även om vissa brännare kan ställas in till att gå nära på sotfritt vid mycket lågt luftöverskott är det inte realistiskt att sträva efter alltför höga  $v(\text{CO}_2)$ -värden under driftmässiga förhållanden. Bl a behövs det visst överskott av luft vid brännarstart - brännaren kan beräknas starta ca 10 000 gånger under ett år. Brännarfläktens luftflöde påverkas av varierande barometerstånd. Sotbeläggningar i brännarhuvudet stryker successivt lufttillförseln. Nämnade störningar eller annat kan vid för snål luftinställning snabbt leda till ökad sotalstring, ökande rökgastemperatur och andra sotbesvär - snålhet bedrar visheten.

Beroende på brännaren kan 10-12 % utgöra lämpliga inställningsvärden för  $v(\text{CO}_2)$ . Formeln ovan ger då följande värden för rökgasförlusterna

|                     |   |      |     |
|---------------------|---|------|-----|
| $v(\text{CO}_2) \%$ | = | 10   | 12  |
| $f_g \%$            | = | 11.4 | 9.7 |

Siffrorna och det ovan sagda visar att besparingsmöjligheterna är begränsade vad angår rökgasförlusterna om man redan har en anläggning som kan upp-nå driftvärden i närheten av de som använts i exemplet.

Luck- och bottenförluster mm

Dessa förluster ( $f_d$ ) avser värmeavgivning till pannans omgivning genom inte vattenkylda delar av pannan såsom olika luckor, pannbotten etc. Förlusterna beräknas på grundval av de varma ytornas storlek och uppmätta yttemperaturer. Rasmussen (1977) anger att luck- och bottenförluster liksom rökgasförlusterna är proportionella med intermit-tensen,  $i$ , och redovisar som resultat av 7 provningar värden varierande mellan .7 och 1.5 %, medeltal 1.0 %. Johansson (1982) finner .9-2.4 % hos

fyra provade pannor, medeltal 1,8 %. Den relativt stora skillnaden tycks bero på att Statens provningsanstalt inkluderar rökstosens värmeavgivning och på så sätt får högre värden.

Likheterna mellan rökgasförluster och luck- och bottenförluster - de är båda proportionella med oljeförbrukningen och de utgör båda ett värmeläckage från låga och förbränningsprodukter - gör det naturligt att slå ihop dem. Såsom medeltal av summan används vid efterföljande kalkyler  $f_{g+fd} = 12\%$ . De två återstående förlusttyperna, isoleringsförluster och ventilationsförluster utgörs väsentligen av värmetransmission från pannvattnet.

#### Isoleringsförluster

Isoleringsförlusterna ( $f_b$ ) utgörs av värmetransmission från pannans vattenmantel genom isolering och kåpa till pannrummet. Även pannvattnets värmeavgivning genom ledning till luckramar och luckor under t ex tomgång kan lämpligen räknas till isoleringsförlusterna. Rasmussen (1977) har bestämt isoleringsförlusterna för 7 pannor och funnit värden mellan .50 och .77 kW, medeltal .59 kW. Johansson (1982) har för fyra pannor funnit .32 till .56 kW, medeltal .46 kW. Siffrorna indikerar att viss förbättring skett av pannornas isolering under det decennium som förflutit mellan de två provningsserierna.

För att kunna bedöma isoleringsförlusternas inverkan på oljeförbrukningen bör man omräkna dem till olja. Respektive medelvärden enligt ovan ökar därigenom p g a rökgasförluster och luckförluster till  $.59/.88 = .67$  kW och  $.46/.88 = .52$  kW. För helt år får man då 5900 respektive 4600 kWh eller .59 respektive .46 m<sup>3</sup> olja. Man kan jämföra dessa värden med rökgas- och luckförluster - 12 % - enligt ovan. Vid en årsförbrukning av 3.5 m<sup>3</sup> uppgår dess till .42 m<sup>3</sup> olja. De når således inte upp i paritet med isoleringsförlusterna.

Då således isoleringsförlusterna förefallar vara de största förlusterna i en väl fungerande anläggning är det beklagligt att inte värmeavgivningen till pannrummet uppmärksammas mera i förekommande energi spar- och rådgivningsinsatser än som skett.

Enligt uppgift har Statens provningsanstalt på uppdrag av Konsumentverket utfört jämförande provning med en tilläggsisolerad panna och därvid funnit att årsförbrukningen kunde minskas med 400 liter olja. Detta utgör en bekräftelse på kalkylerna enligt ovan.

#### Ventilationsförluster

Ventilationsförlusterna ( $f_v$ ) utgörs av värmeinnehållet i det luftflöde som under brännarens stillestånd ventilerar genom pannan och kyler denna. Ventilationsförlusterna har redan berörts ovan och skall behandlas mera ingående i det följande.

#### .14 Problemets betydelse

God kännedom om förlusterna vid oljeeldning i små pannor förbättrar möjligheterna att undanröja eller optimera dem och således spara olja. Att minska Sveriges oljeberoende är ett nationellt intresse som i många fall bäst tas till vara genom att förverkliga besparingsmöjligheter som finns i de enskilda anläggningarna. Uppskattningsvis en halv miljon småhus är beroende av oljeeldning. Problemet har därför stor räckvidd både nationellt och privatekonomiskt.

De tre förlusttyper som redovisades i föregående avsnitt är väl kända och undersökta. Detta är inte fallet med ventilationsförlusterna. Man vet att de finns, att de är svåra att mäta och att de gör sig gällande under större delen av året eller eldnings-säsongen. Uppfattningarna går isär om deras storlek och om deras beroende av främst klimatiska parametrar. Bättre kvantifiering av ventilationsförlusterna behövs kanske främst såsom beslutunderlag beträffande eventuella motåtgärder.

#### .15 Projektets mål

Målet för projektet är att kvantifiera ventilationsförlusterna vid oljeeldning för en representativ villainstallation i mellersta Sverige. Undersökningarna har utförts med en i befintliga villor vanlig panntyp i vilken flera olika brännare har applicerats. Ventilationsförlusterna bestäms för olika belastningstillfällen, olika årstider och vid lugnt väder respektive vind.

Under projektets gång har det visat sig lämpligt att även dra in olika sätt att anordna brännarens luftförsörjning i projektplanen, nämligen genom det ordinarie luftintaget (mot norr), genom en dörr på glänt åt söder samt genom en evakueringskanal i skorstensstocken, balanserat drag. Även klimatets inverkan på olika brännare under gång har belysts i projektet.

Vid planeringen har eftersträvat att ingående komponenter, panna och brännare, skulle vara av god kvalitet och ha väsentliga marknadsandelar företrädesvis i befintlig bebyggelse. Projektet syfter således snarare till en verklighetsbeskrivning än tekniskt/konstruktivt nyhetsvärde vad avser komponenterna.

Försöksfastigheten och med denna förknippade försöksbetingelser har redan redovisats i avsnitt .12 ovan.

## .2 METODER OCH MÄTTEKNIK

*Försöksplan. - Manuella mätningar och observationer. - Tryck- och vindobservationer. - Registrerade temperaturer och gasanalys.*

Detta kapitel handlar om HUR undersökningen utförts medan VAD som funnits - alltså resultaten - behandlas i det följande kapitlet (.3). Den som i första hand är intresserad av resultaten rekommenderas att ta del av avsnittet 'försöksplan' nedan och sedan eventuellt förbigå återstoden av kapitlet.

## .21 Försöksplan

Försöksplanen i stort har styrts av de ytre parametrar som prioriterats i projektet, nämligen inverkan av utetemperatur och vind. Genomförandet har fått anpassas till väderleksförhållandena och försök göras vid olika årstider, sommar, vinter samt övergångsperioderna vår eller höst. För varje nivå hos utetemperaturen har sedan i möjligaste mån valts försöksdagar med lugnt väder respektive med vind från söder.

Försök har gjorts med följande fyra brännare. Timpförbrukningen av olja har bestämts medelst vägning.

|   |                     |          |
|---|---------------------|----------|
| A | International 1 PL1 | 2.5 kg/h |
| B | CTC B 210           | 2.2 -    |
| C | Bentone FC4A        | 2.0 -    |
| D | Inter 11 GR         | 2.5 -    |

A och B är äldre brännare, ca 1970, medan C och D är fabriksnya brännare, 1982.

Fyra belastningsfall har undersökts motsvarande följande värden av intermittensen, i. Inställda gång- och stilleståndstider i minuter är angivna i parentes

|                  |         |
|------------------|---------|
| i = 1/8, Låglast | (4, 28) |
| 1/4, Normallast  | (4, 12) |
| 1/2, Halvlast    | (8, 8)  |
| 7/8, Höglast     | (28, 4) |

Med varje inställd intermittens har utförts försöksserier med olika sätt att anordna brännarens lufttillförsel, nämligen

Luft från norr genom det ordinarie luftintaget.  
Luft genom en dörr på glänt mot söder.  
Luft genom en evakueringskanal i skorstensstocken, balanserat drag.

Det har i projektplaneringen bedömts väsentligt att få så väl styrda och dokumenterade försöksbetingelser som möjligt. Detta har inneburit att

- o oljebrännaren tvångsstyrs med tidrelä. Verkliga tider har mätts med tidtagarur
- o försök med viss belastning eller intermittens utförs i en serie omfattande ovan nämnda luftförsörjningsfall i nämnd ordning. Serien föregås normalt av tre inkörningsperioder. Syftet härmed är att i själva försöken uppnå temperaturförhållanden i skorstenen och drag i anläggningen som inte i störande grad påverkas av den pannbelastning som funnits tidigare. Det är inte fråga om att nå fortvarighetstillstånd. Det skulle dröja många timmar. Serien avslutas med en upprepning av försöket med luftförsörjning från norr. Upprepningen belysar eventuella signifikanta skillnader mellan dragförhållandena vid seriens början och slut. Två perioder körs med varje luftförsörjningssätt. Normalt registreras först undertrycket i pannans eldstad och därefter undertrycket i rökkanalen
- o skillnaden i vindtryck mellan husets fasader mot syd och mot norr registreras i varje försöksserie under ca 1 period före och efter mätningarna i pannan. Om nämnvärd vind råder registreras vindtrycket dessutom under en period mitt i försöksserien. Rådande vindförhållanden kontrolleras dessutom dels med hjälp av en på husets skorsten uppsatt vindmätare för registrering av vindhastighet och riktning dels genom inhämtning av väderleksobservationer och registrerade vinddata från väderlekstjänsten, F 18
- o rökgasens  $O_2$  %, gastemperatur i rökkanalen vid gång och stillestånd hos brännaren samt rumstemperatur och temperaturer i pannan, stigare, retur och panntopp, registreras med termoelement kopplade till en kompensationspunktskripare

Rapporten bygger på totalt 280 försök. Ett antal försök som utförts i projektets inledningsskede under vilket försöksplanen utvecklades har inte medtagits.

Det visade sig snabbt att vindens turbulens skulle innebära svårigheter att med önskvärd noggrannhet definiera vindpåverkan vid försöken. För detta hade erfordrats utrustning för simultan tryckregistrering av vind- och panntryck. Detta var inte möjligt att åstadkomma inom projektets ramar. Förhållandet är särskilt markerat för halvlast- och höglastförsöken med deras korta stilleståndstider - 8 resp 4 minuter. Slumpen får då starkt inflytande på mätresultaten. 98 försök eller 35 % tillhör vindförsöken medan lugnt väderlek eller svag vind har rått vid 182 försök eller 65 %. Medelvärde av intermittensen skiljar sig också mellan grupperna. För vindförsöken är  $i = .31$  medan  $i = .37$  för övriga försök.

## .22 Manuella mätningar och observationer

Försökstekniken i projektet motsvarar i huvudsak teknik som författaren tidigare använt, Rasmussen (1963, 1977). Nya moment och modifikationer har tillkommit dels till följd av att projektet genomförts i en anläggning i drift dels med hänsyn till förekommande klimatfaktorer vilka i tidigare undersökningar mest möjligt eliminerats.

I detta delavsnitt redovisas dels några konstruktiva installationsdetaljer samt kalibreringar av olika slag dels manuella inställningar och mätningar som ingått i projektets löpande försök.

*Panna*

Såsom redan nämnts har försöken utförts i en panna, CTC 265 B. Pannan har varit undanställd under ca 10 år sedan tidigare undersökningar avslutades. I fastigheten fanns en EXONOM panna från 1961. Pannan var i bra skick men det bedömdes mindre lämpligt att använda en så gammal panna i forskningssammanhang. CTC pannan torde däremot vara representativ för många existerande villaanläggningar. Följande speciella åtgärder vidtogs i installationen

- o en kortslutningsledning med avstängningsventil monterades mellan stigare och returledning för att möjliggöra tomgångskörning med öppen shunt. Det bedömdes nämligen att man annars skulle riskera bristfällig kontroll av panntemperaturen.
- o rökrörsanslutningen utfördes av  $\phi$  125 mm stålror med flänsförband. Anslutningen utgår från pannans översida och utgörs av en rektangulär stös i pannan samt ett övergångsstycke med muffar i båda ändar. Den övre är cirkulär och svarar väl mot stålroret. Detta är försett med en 90° böj som kan tas bort för kalibrering av ventilations- och läckageflöden i pannan. Uttag för sotprov och manuell gasanalys finns i övergångsstycket. För dragmätning i rökkanalen finns uttag både över och under det nederste flänsförbandet. Normalt används det nedre uttaget. På samma nivå finns uttag för kontinuerlig automatisk analys av rökgasen och för registrering av rökgastemperaturer.
- o Pannans rökgasspjäll som har sin plats under ovan nämnda stös har tagits bort. En viktig anledning till detta är de läckage som finns i infästningen av spjället. Författaren menar att pannspjället - med de brännare som nu finns - praktiskt taget saknar betydelse. I bland kan det till och med vara skadligt.

## Brännare

Vid installationen av försöksbrännarna skulle två krav uppfyllas, nämligen

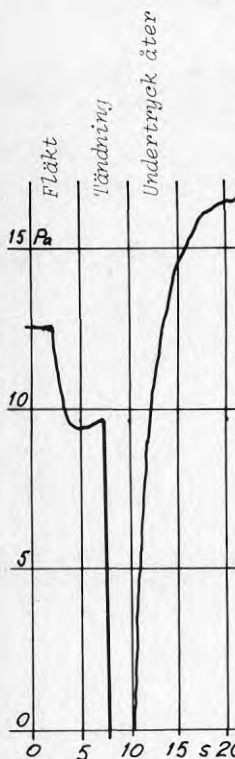
- o att oljeflödet skulle vägas samt
- o att byte av brännare skulle utföras enkelt och snabbt

Med hjälp av två trevägskraner kan brännarens olje-tillförsel respektive returledning oberoende av varann kopplas antingen till oljetanken eller till ett kärl på en skjutvåg (25 kg). Överföring av olja till kärlet görs genom att enbart returledningen kopplas dit. Återföring sker genom att ställa båda kraner i motsatt ställning. Returflödet mättes till 40 kg/h. Med den begränsade oljekvantitet som kan hanteras i kärlet innebär så kraftig cirkulation att oljan värms kännbart. Det bestämdes därför att oljan vid försöken skulle tas direkt från tanken och vägning endast användas som kalibrering.

Vid vägning av oljan ställdes skjutvikten så att kärlet hade en smula övervikt. Kort tid efter brännarstart slog vågen över och tidtagning startades. På kärlets lock ställdes successivt följande vikter 500 g, 1000 g och 1500 g och tidtagning gjordes vid respektive överslag hos vågen, Rasmussen (1963). Summan av vikterna, 3 kg, dividerades sedan med summan av tidavläsningarna varvid oljeflödet fanns.

För att underlätta brännarbyte monterades fasta oljeslangar dels i trevägskranen för tilloppsflödet dels i brännarens returanslutning. De övriga två anslutningar har förskruvningskopplingar. El ledningen till brännaren har kopplats med en vanlig jordad stickpropp mellan brännare och panntermostat.

För styrning av brännaren under försöken har använts ett mekaniskt tidrelä, typ Siemens, med kvicksilverbrytare. Gångtid och stilleståndstid kan var för sig inställas mellan ca 2 och ca 28 minuter. Reläet är inkopplat efter brännarens huvudströmställare. Tidreläets reproducerbarhet är god (ca 1 s). Inställningen kan däremot avvika 10-15 s från avsett värde p g a att skalan är grov. I försöken har därför gång- och stilleståndstider mäts med tidtagarur och verklig intermittens beräknats. De två nya brännarna i projektet har fördröjd tändning (ca 5 s) vilket utgör ett annat skäl för tidtagning i försöken. Efter montering har brännarna inreglerats med hjälp av Fyrite och sotmätare, typ Bacharach till ett acceptabelt värde av  $v(CO_2)$  och sotvärde  $< 1$ . Det har inte eftersträövats att uppnå högsta möjliga  $v(CO_2)$  hos brännarna. Det är därför väl tänkbart att någon eller några av dem kan prestera högre värden än de som uppnåtts i undersökningen.



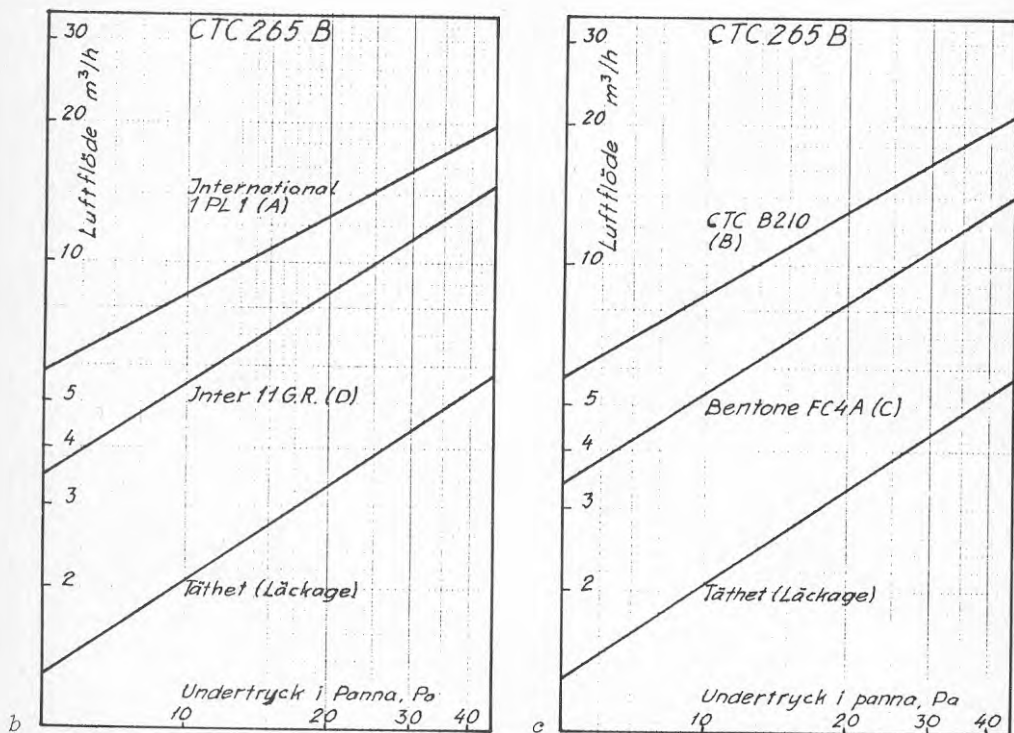
Figur .22 a Undertryck i eldstad vid start av brännare med fördröjd tändning. Brännare C, tomgång, 1983-05-29,  $\theta_u = 13$  C.

Kalibrering av ventilations- och läckageflöden

Efter inreglering av brännaren har kalibreringsförsök utförts för att bestämma ventilations- och läckageflödena för olika undertryck i pannan, Rasmussen (1963). För bestämning av läckageflödet har brännaren borttagits och brännaröppningen täckts med en pappskiva mellan brännarfläns och pannlucka. Undertryck i pannan har mätts med Fuess mikromanometer. Standardavvikelsen på tryckmätningarna uppskattas till ca 1 Pa. Luftflödena har bestämts med flottörmätare. Standardavvikelse ca .3 m<sup>3</sup>/h.

Flödena  $V$  respektive  $L$  kan uttryckas som potenser av undertrycket  $p$  i pannan

$$V = V_{40} \times (p/40)^{n_V} \quad L = L_{40} \times (p/40)^{n_L} \quad (.22, a)$$



Figur .22 b, c. Kurvbladen ovan visar ventilations- och läckageflödena som funktion av undertrycket i pannan inom intervallet (5,40) Pa. Då kurvorna delvis bestämts av mätpunkter utanför nämnda intervall har enskilda mätvärden inte ritats in. I varje figur finns kurvor för en ny och en äldre brännare. Läckagekurvan är den samma i båda figurerna.  $V_{40}$ ,  $L_{40}$  samt  $n_V$  och  $n_L$  har beräknats till

| Brännare        | A    | B    | C    | D    | Läckage               |
|-----------------|------|------|------|------|-----------------------|
| $V_{40}/L_{40}$ | 19.2 | 19.6 | 13.0 | 13.6 | 5.3 m <sup>3</sup> /h |
| $n_V/n_L$       | .579 | .597 | .648 | .662 | .675                  |



Ventilationsflödet är ca 50 % större hos de äldre brännarna (A,B) än hos de nyare (C,D). Däremot finns det knappast nämnvärd skillnad mellan brännarna inom de två grupperna. För de nyas vidkommande får man dock vid jämförelse komma i håg att effekten/oljeflödet hos brännare D är 25 % högre än hos brännare C. Exponenten till  $p$  är i medeltal för alla brännarna .622 men ökar med minskande flöde. Störst är den för läckageflödet, .675.

Med hjälp av nedanstående formler kan man bestämma ett med (.22, a) analogt - approximativt - uttryck för den del av ventilationsflödet som passerar genom brännaren,  $V_B$ .

$$\begin{aligned} V_B &= V_{B,40} \times (p/40)^{n_B} \quad \text{där} \\ V_{B,40} &= V_{40}^{-L_{40}} \quad \text{och} \\ n_B &= n_V + \frac{L_{40}}{V_{40}^{-L_{40}}} \times \frac{1 - (p_C/40)^{n_L - n_V}}{\ln(p_C/40)} \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} V_B \\ V_{B,40} \\ n_B \end{aligned}} \right\} (.22, b)$$

Formeln ger korrekta värden av  $V_B$  för  $p=(0, p_C, 40)$ . Med  $p_C=10$  Pa antar  $n_B$  följande värden för de olika brännarna

| Brännare | A    | B    | C    | D    |
|----------|------|------|------|------|
| $n_B$    | .545 | .570 | .630 | .654 |

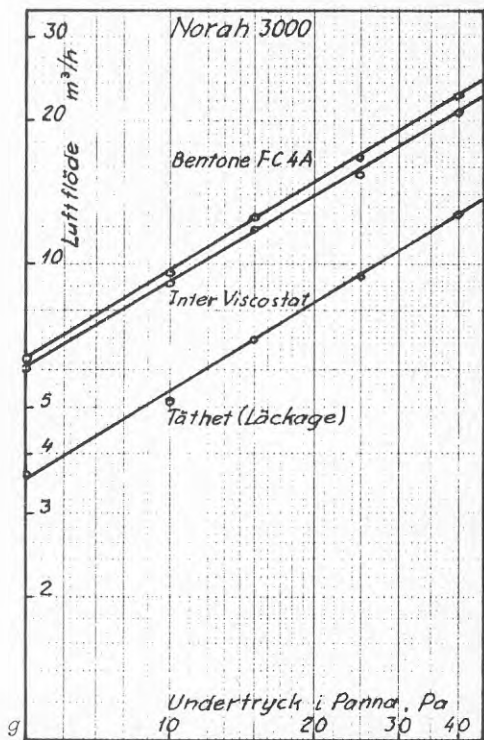
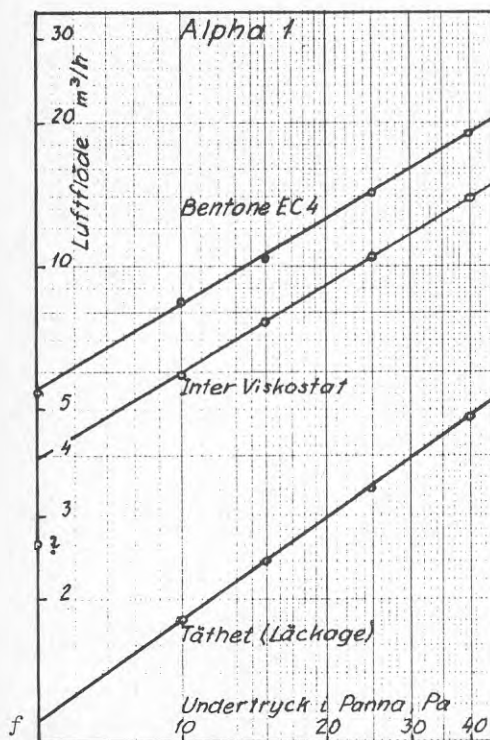
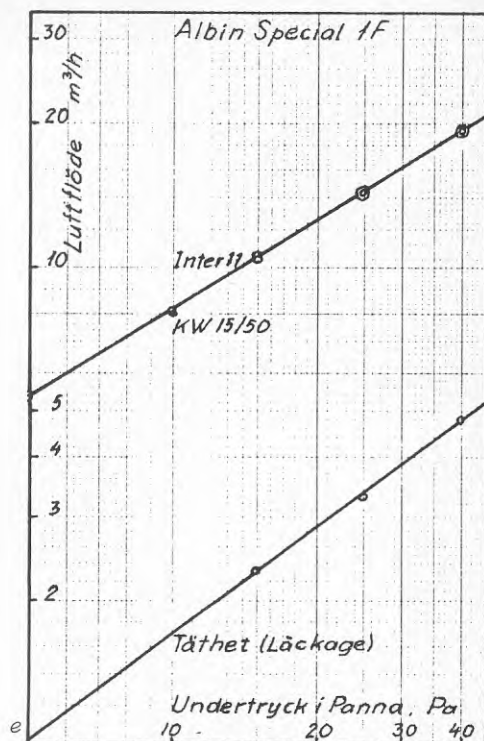
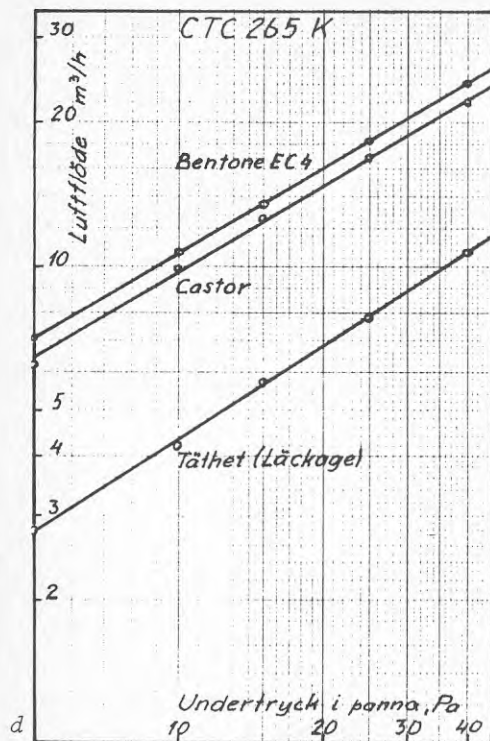
Ur metodsynvinkel utgör kalibrering av ventilationsflödena och vad därtill hör en hörnsten i projektet. Vad avser projektets allmängiltighet är kalibreringen en av dess svagaste punkter, nämligen därför att endast en panna har undersökts. Data om oljepannors ventilations- och läckageflöden finns normalt inte allmänt tillgängliga. Genom lyckliga omständigheter förhåller det sig emellertid så att Statens Provninganstalt under 80-talets första år på uppdrag av Konsumentverket provat fyra pannor och sex brännare - två brännare i varje panna - och publicerat provningsresultaten, Johansson (1982). Provningarna har bl a omfattat ventilationsflöden och täthet. Författaren har excerperat relevanta siffervärden och visar dem i omstående med figur .22, b,c analoga figurer (.22 d,e,f,g)

Provningarna omfattade följande pannor

|          |                  |
|----------|------------------|
| $\alpha$ | CTC 265 K        |
| $\beta$  | Albin Special 1F |
| $\gamma$ | Alpha 1          |
| $\delta$ | Norah 3000       |

och följande brännare

|   |                 |
|---|-----------------|
| E | Castor          |
| F | Bentone EC4     |
| G | Inter 11        |
| H | KW 15/50        |
| I | Inter Viscostat |
| K | Bentone FC 4A   |



I matrisen nedan med 4 kolumner - motsvarande de provade pannorna - och 7 rader har beräknats i första raden  $L_{40}$  och  $n_L$  panna för panna och i de följande 6 raderna för de olika brännarna i kombination med respektive pannor,  $V_{40}$ ,  $n_V$  och  $n_B$ .

| Panna            | $\alpha$             | $\beta$              | $\gamma$             | $\delta$             |
|------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| $L_{40}$ , $n_L$ | 10.7, .664           | 4.8, .750            | 4.8, .705            | 12.6, .606           |
| Brännare         |                      |                      |                      |                      |
| E                | 22.6<br>.614<br>.571 |                      |                      |                      |
| F                | 24.2<br>.595<br>.542 |                      | 19.1<br>.602<br>.570 |                      |
| G                |                      | 19.3<br>.613<br>.572 |                      |                      |
| H                |                      | 19.3<br>.622<br>.583 |                      |                      |
| I                |                      |                      | 13.5<br>.581<br>.518 | 20.6<br>.587<br>.557 |
| K                |                      |                      |                      | 22.5<br>.612<br>.620 |

Läckaget i projektets panna,  $L_{40} = 5.3 \text{ m}^3/\text{h}$ , är endast hälften av motsvarande panna ( $\alpha$ ) i matrisen, vilket kan vara resultat av de tätningsinsatser som gjorts. Pannan kan därmed närmast jämföras med de tätaste av de pannor som SP provat ( $4.8 \text{ m}^3/\text{h}$ ). Högsta värdet hos SP är  $12.6 \text{ m}^3/\text{h}$  vilket är av samma storleksordning som lägsta förekommande värde hos ventilationsflödet ( $13.5 \text{ m}^3/\text{h}$ ). Läckagekurvens lutning - exponenten till p - ökar med minskande flöde analogt med ventilationsflödeskurvorna i projektet. Denna trend återfinns däremot inte hos SPs ventilationsflödeskurvor vilka jämförelsevis är nästan parallella.

För de två brännare som SP provat i olika pannor är deras andel av ventilationsflödet för F, 13.5 resp 14.3 och för I, 7.7 resp  $8.0 \text{ m}^3/\text{h}$ . Projektets två

Figur .22 d,e,f,g. Kurvbladen visar ventilations- och läckageflöden hos fyra pannor provade av SP med två oljebrännare vardera, Johansson (1982). Analogt med figur .22 b,c över motsvarande mätningar i projektet har kurvorna ritats i logaritmiska skalor varvid de med god tillnärmelse kan approximeras med räta linjer. Dessa linjer har beräknats i en matris och jämförs i texten med de resultat som erhållits inom projektet.

nya brännare C och D förekommer också hos SP, K och G. För dessa är skillnaderna större, 7.7 mot 9.9 och 8.3 mot 14.5. Skillnaden mellan C och K kan bero på effektskillnad, ca 17 %. Till den stora skillnaden mellan D och G finner jag däremot ingen lika näraliggande förklaring.

Utöver försöken ovan till teknisk diskussion av kalibreringsförsöken har jag gjort några räkneövningar genom att beräkna medeltal och spridning på siffermaterialiet. Jag kallar det räkneövningar därför att materialet knappast tillfredsställer elementära krav för meningsfull statistisk behandling. Huruvida det är representativt är svårt att med säkerhet yttra sig om. Att de siffervärden det handlar om inte är inbördes oberoende är däremot helt klart.

Av tolv bestämningar av ventilationsflödet har funnits

$$\bar{V}_{40} \sim 19 \text{ m}^3/\text{h}, \quad s \sim 3.7 \text{ m}^3/\text{h} \text{ och}$$

$$\bar{n}_V \sim .61$$

och av 5 värden av läckageflödet på analogt sätt

$$\bar{L}_{40} \sim 7.6 \text{ m}^3/\text{h}, \quad s \sim 3.7 \text{ m}^3/\text{h} \text{ och}$$

$$\bar{n}_L \sim .65$$

Av dessa kan beräknas

$$\bar{V}_{B40} \sim 11.4 \text{ m}^3/\text{h} \quad \text{och}$$

$$\bar{n}_B \sim .58$$

*Lufttryck och  
Utetemperatur  
Yttemperatur*

Både lufttryck och utetemperatur har mätts med enkla hushållsinstrument. Utetermometrar på husets norr- eller ostfasad har använts beroende på vilken som vid måttillfället kunde anses opåverkat av solstrålning.

En jämförelse med temperatur- och lufttrycksvärden vid Fl8 har visat att projektets utetemperaturmätningar i genomsnitt är ca 1.5 C högre än Fl8s värden. Skillnaden kan dels bero på att termometrarna påverkats av närheten till byggnaden dels på nollpunktsfel hos instrumenten.

Lufttrycksmätningarna är genomgående ca 10 mBar lägre än motsvarande värden hos Fl8. Orsaken torde vara bristfällig kalibrering.

Några försök till korrigerings av avlästa värden har inte gjorts i rapporten.

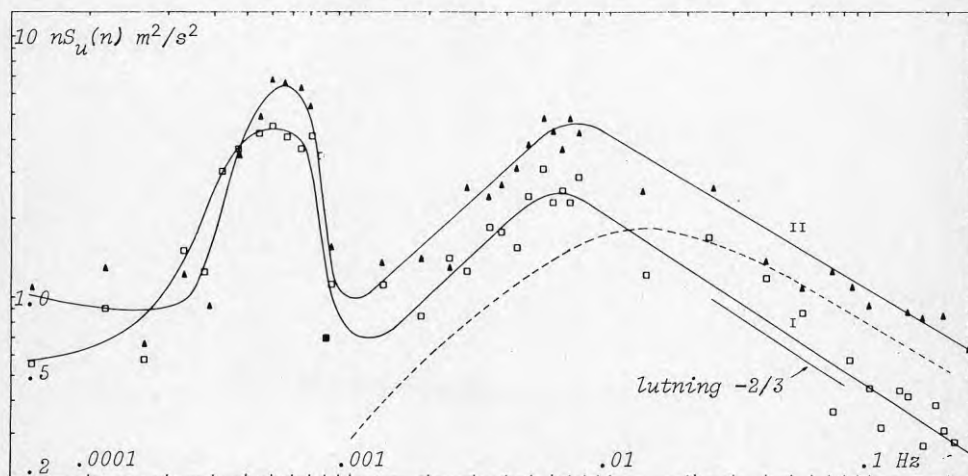
Yttemperatur har mätts med technoterm 5500 instrument med Fe-Konst termoelement. I försöken har rökkanalens yttemperatur mätts ungefär i åttonde perioden - inklusive inkörning. Mätningar har gjorts på flänskanten till tidigare omnämnt böj, fyra flänsar, 3 mätställen utefter periferien.

## .23 Tryck- och vindobservationer

Detta delavsnitt ägnas främst mätstorheter som har registrerats kontinuerligt under försöken. Det vill säga undertrycket i pannans eldstad och i rökkanalen samt tryckskillnaden mellan försöksfastighetens norrfasad och sydfasad, vidare berörs vindobservationer vid fastigheten samt vindregistreringar och synopobservationer hos Fl8 i Tullinge.

Tryck- och temperaturgradienter i atmosfären ger upphov till turbulenta rörelser i luftmassan och alstrar därmed stokastiska tryckvariationer vilka påverkar eldningsanläggningen.

Vindenergin ökar med minskande frekvens. Dahlström (1980) har studerat extremvind och turbulent variation och visar bl a kamelryggliknande kurvor/vindspektra från Landvetter över vindenergins,  $S_u(n)$ , beroende av frekvensen,  $n$  Hz, figur .23 a. Både abskissan,  $n$ , och ordinatan är i logaritmisk skala. Ordinatan visar  $n \times S_u(n)$ . Genom att multiplicera energin med frekvensen har man uppnått att hålla ordinatans variation inom ca 1.5 dekad samt fått en mycket anslående bild.



Figur 14. Vindspektra från Landvetter 1979-09-13. De romerska siffrorna avser vindgivare I respektive II. Den streckade linjen avser spektrum enligt Davenport/Panofsky.

Figur .23 a. Vindspektra från Landvetter enligt Dahlström (1980).

För höga frekvenser är

$$\log(n \times S_u(n)) = -2/3 \times \log(n) + c \quad \text{eller}$$

$$S_u(n) = C \times n^{-5/3} \quad \text{ca } .02 < n$$

Detta innebär att höga frekvenser saknar intresse i vårt projekt. Vid något lägre frekvenser är

$$\log(n \times S_u(n)) = \log(n) + c \quad \text{eller}$$

$$S_u(n) = C \quad \text{ca } .0012 < n < .006$$

Inom detta frekvensområde, ca 3-15 min periodlängd, är vindenergin således i det närmaste frekvensoberoende. Kring frekvensen  $n \sim .0005$  visar kurvorna ett lokalt maximum - andra kamelpuckeln - där vindenergin är ungefär  $10 \times C$ . För ännu lägre frekvenser är vindenergin i det närmaste proportionell mot periodlängden, alltså

$$S_u(n) = C/n \quad \text{ca } n < .0002$$

För kontinuerlig tryckmätning har använts ett elektroniskt instrument uppbyggt kring en tryckkänslig kapacitans. Instrumentet har kalibrerats mot Fuess mikromanometer varvid fanns att

$$1 \text{ Pa} \sim .45 \text{ mV}$$

Angivet mätområde är 25 Pa. Instrumentet har överbelastats något vid brännarstart och ibland även under löpande försök utan problem fram tills nära slutet av försöksprogrammet då det medio januari 1984 användes för registrering av kraftig vind över huset. Förekommande tryckstötter rubbade då kalibreringen så att instrumentet sedan efter visade

$$1 \text{ Pa} \sim .75 \text{ mV}$$

Kalibreringskurvan är inte helt linjär. En rät linje har anpassats bäst möjligt till observationerna inom det område där större delen av försökskurvorna är belägna. Denna approximation innebär för tryckmätningarnas bearbetning att låga värden är lite för stora medan högre värden är lägre än de verkliga. De fel som approximationerna ger upphov till har bedömts sakna praktisk betydelse.

Instrumentets nolläge är inte helt stabilt varför nollägeskontroll har fått göras vid omkopplingar mellan mätställen. Detta har inneburit nollägeskontroll med ca 15-30 minuters intervall under hela projektarbetet.

För att dämpa tryckstötter och för att få användbara kurvor anordnades dämpning på olika sätt. I de trycköverförande ledningarna inkopplades  $\phi$  1 mm kapillär-rör å 1.5 m. Instrumentets egen elektriska dämpning kopplades till och viss dämpning skedde i kompensationslinjeskrivaren med vilken signalerna registrerades. Uppskattningsvis har alla frekvenser över .5-1 Hz på så sätt filterats bort. Skrivaren inställdes på mätområde 20 mV och pappershastighet 800 mm/h.

Vid bearbetningen av registreringarna har dessa delats upp i två minuters remsor för vilka sedan medelvärdet fastställts visuellt. Noggrannheten har

därmed givetvis blivit bättre för försöken med svag vind eller lugn vars tryckkurvor är tämligen glatta och jämna än för vindförsöken. Vid omkoppling och nollägeskontroll har registrering inte kunnat göras under 1 - 1 1/2 minut. Vid bearbetningen har kurvorna visuellt extrapolerats att täcka dessa observationsluckor.

Enligt försöksplanen (avsnitt .21) har försök med luftförsörjning från norr inlett och avslutat alla försöksserier. Skillnaden mellan eldstadsundertrycken hos 46 dylika försökspar vid svag vind eller lugn har i 15 fall varit negativ. Medeltalet av samtliga värden är .3 Pa vilket visar att signifikanta ändringar hos försöksbetingelserna inte har förekommit. På grundval av differenserna har standardavvikelsen hos beräknade undertryck bestämts till  $s = 1.3$  Pa. Standardavvikelsen hos vindförsöken uppskattas 50 % större eller  $s = 2.0$  Pa.

De följande sidorna visar exempel på registrerade tryckkurvor tillhörande de fyra undersökta brännarna. Kurvorna har ordnats i tre grupper av vilka den första illustrerar samband mellan draget och pannbelastningen. Den andra visar dragets beroende av utomhustemperaturen och av de olika sätt på vilka förbränningsluften har tagits in. I tredje gruppen jämförs vind från söder med försök i lugnt väder eller svag vind. Där visas också tryckskillnaden mellan fastighetens fasader mot söder respektive norr. Inom varje grupp visas kurvor för de olika brännarna A-D i alfabetisk följd.

De registrerade kurvorna har med ljusbord manuellt överförts till ritfilm. Därvid har dels nolläget kunnat justeras dels kurvorna spegelvändas. På så sätt har tidaxeln i figurerna blivit orientrad mot höger så som är brukligt. Jämförelser har underlättats genom att flera kurvor ritats in i samma figur. Brännarstart är i yttersta västerkant av varje figur.

Följande försöksbetingelser och övriga förutsättningar gäller inom de olika grupperna

*Grupp 1  
8 figurer*

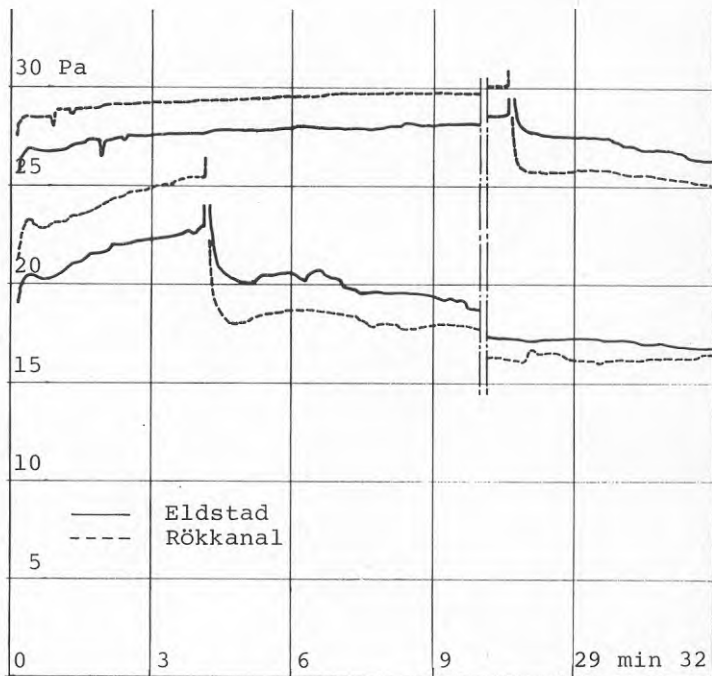
Undertryck i eldstad (heldragen) och rökkanal (prickat) visas för olika belastningsfall vid lugnt väder eller svag vind och  $\theta_u = 0$  C°. Förbränningsluften tas in genom det normala luftintaget åt norr. Höglast- och låglastförsök visas i figurerna .23 bA-bD medan .23 cA-cD visar halvlast- och normallastförsök.

*Grupp 2  
8 figurer*

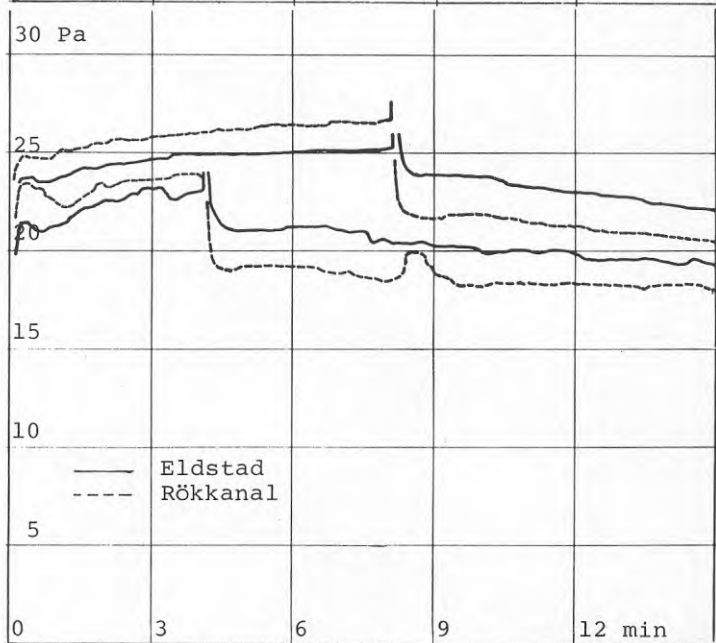
För normallast och lugnt väder eller svag vind visas registrerade undertryck vid  $\theta_u = 0$  C° (heldragen) och  $\theta_u = 20$  C° (prickat) för de tre olika luftförsörjningssätten. De högst belägna kurvorna för varje temperaturvärde motsvarar luft från söder medan de lägsta motsvarar luft genom evakueringskanal i skorstensstocken, balanserat drag.

Figurerna .23 dA-dD visar undertryck i eldstaden och figurerna .23 eA-eD undertryck i rökkanalen.

Figur .23 bA, grupp 1.  
Brännare A. Undertryck  
i eldstad och rökkanal  
vid höglast resp låg-  
last, lugnt.  $\theta_u = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$ .  
ca 17 minuter av för-  
sökstiden borttagen.



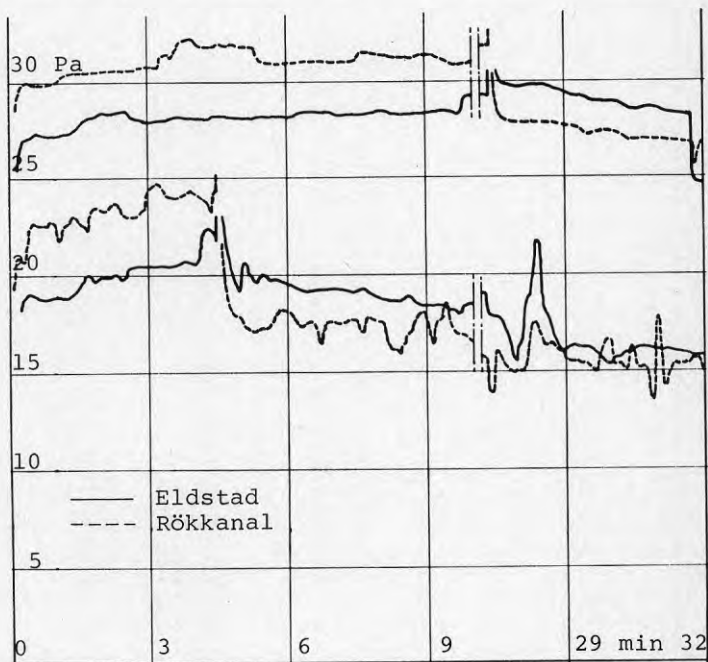
Figur .23 cA, grupp 1.  
Brännare A. Undertryck  
i eldstad och rökkanal  
vid halvlast resp nor-  
mallast, lugnt.  
 $\theta_u = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$ .



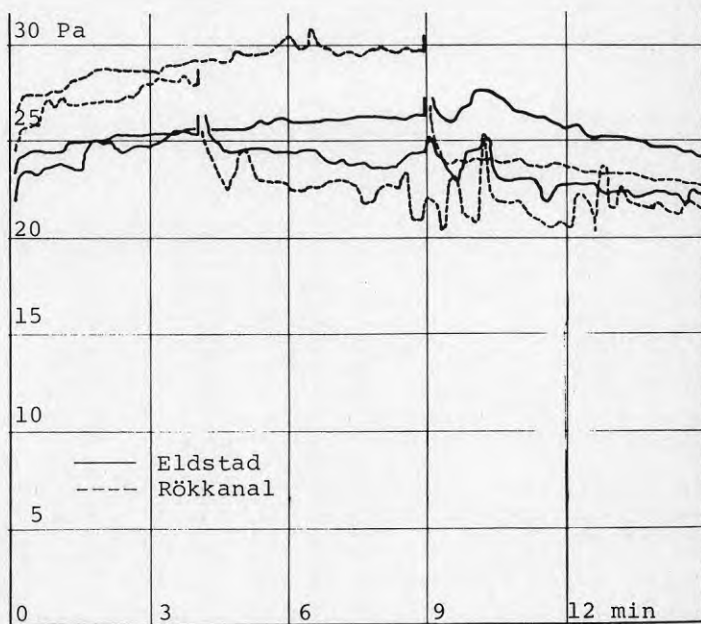


Grupp 3  
16 figurer

Exempel på registrerade vindtrycksskillnader mellan fastighetens fasader mot söder respektive norr visas i figurerna .23 fA-fD. Registreringarna har utförts i anslutning till de försök som visas sedan. De följande figurerna motsvarar  $\theta_u = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ , vind från söder (mer eller mindre) respektive lugnt väder eller svag vind och visar undertryck i eldstaden. I



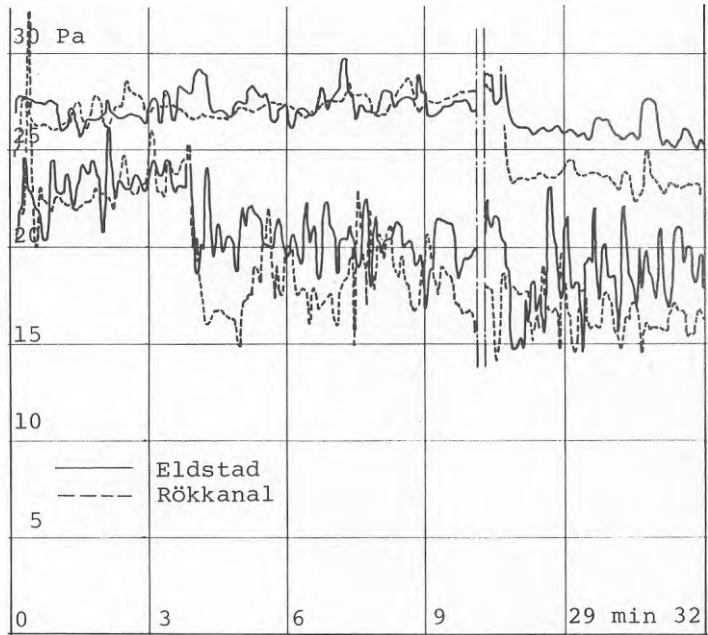
Figur .23 bB, grupp 1. Brännare B. Undertryck i eldstad och röckkanal vid höglast resp låglast, lugnt.  $\theta_u = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ . ca 17 minuter av försökstiden borttagen.



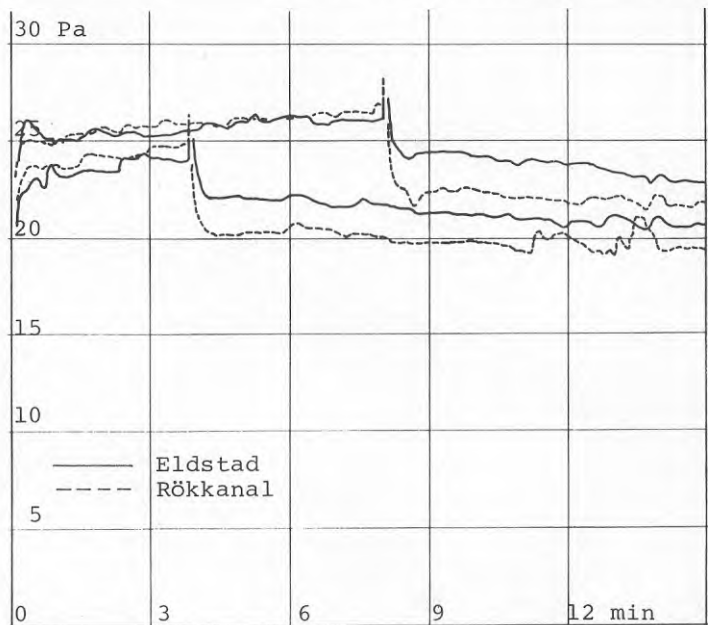
Figur .23 aB, grupp 1. Brännare B. Undertryck i eldstad och röckkanal vid halvlust resp normallast, lugnt.  $\theta_u = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ .

figurerna .23 gA-gD har förbränningsluften tagits in genom en dörrspringa åt söder, i figurerna .23 hA-hD genom luftintaget åt norr och i figurerna .23 iA-iD genom evakueringskanal i skorstensstocken.

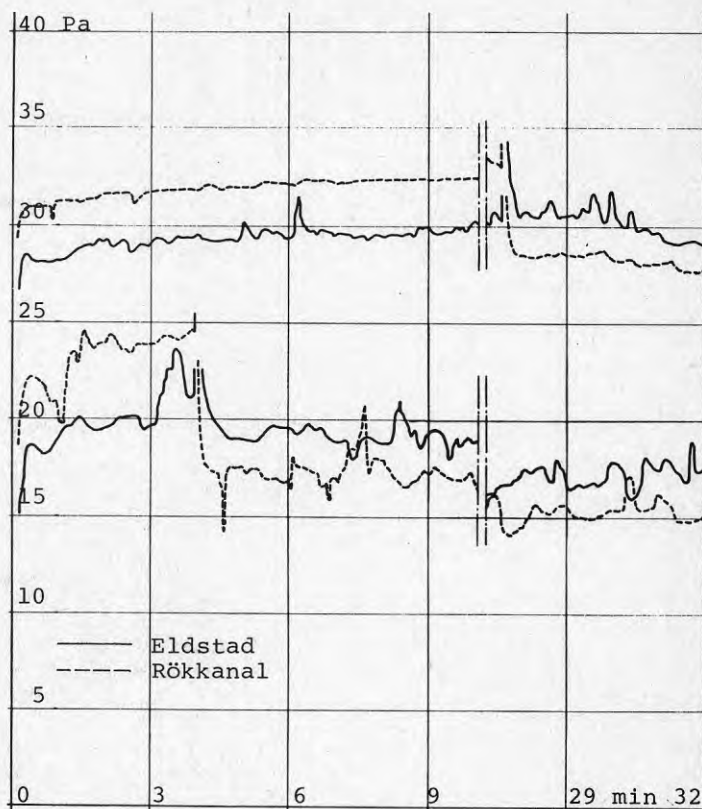
Figur .23 bC, grupp 1.  
Brännare C. Undertryck  
i eldstad och rökkanal  
vid höglast resp låg-  
last, svag vind.  
 $\theta_u = 0^\circ$ . ca 17 minu-  
ter av försökstiden  
borttagen.



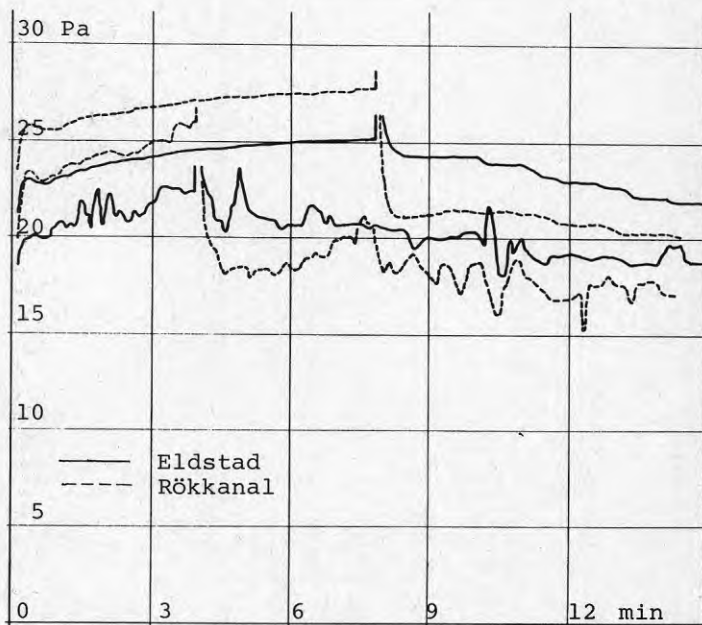
Figur .23 cC, grupp 1.  
Brännare C. Undertryck  
i eldstad och rökkanal  
vid halvladd resp nor-  
mallast, lugnt el svag  
vind.  $\theta_u = 0^\circ$ .



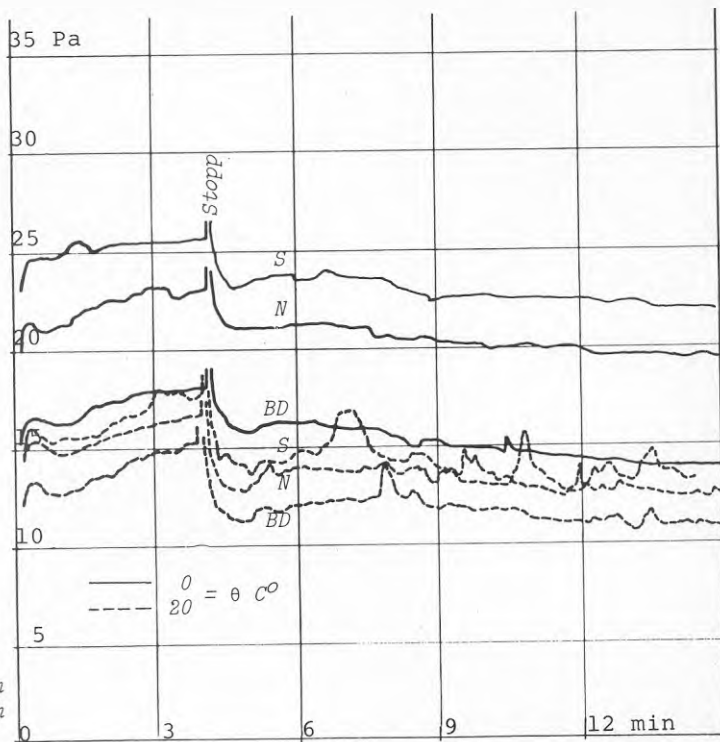
Figur .23 bD, grupp 1.  
Brännare D. Undertryck  
i eldstad och röckkanal  
vid höglast resp låg-  
last, svag vind.  
 $\theta_u = 0^\circ$ . ca 17 minu-  
ter av försökstiden  
borttagen.



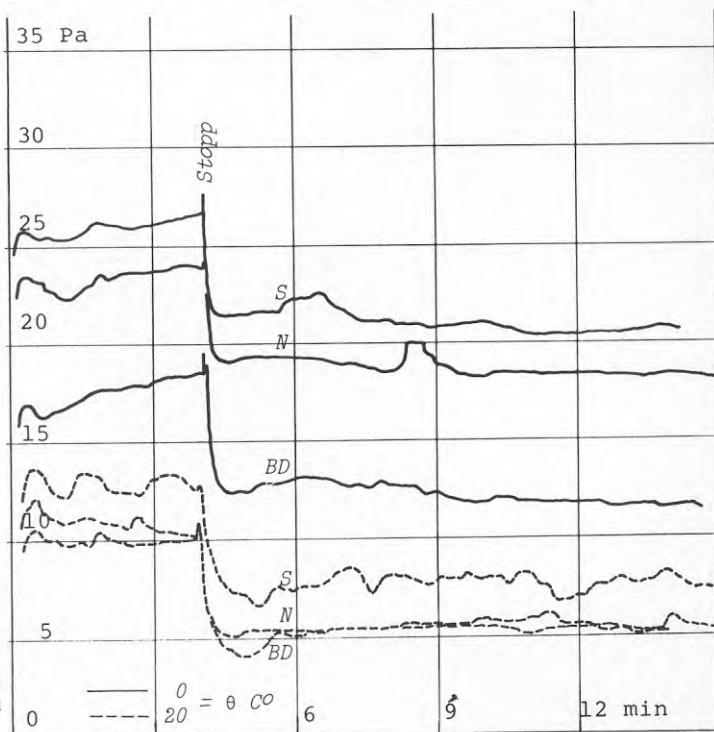
Figur .23 cD, grupp 1.  
Brännare D. Undertryck  
i eldstad och röckkanal  
vid halvlást och nor-  
mallást, lugnt.  
 $\theta_u = 0^\circ$ .

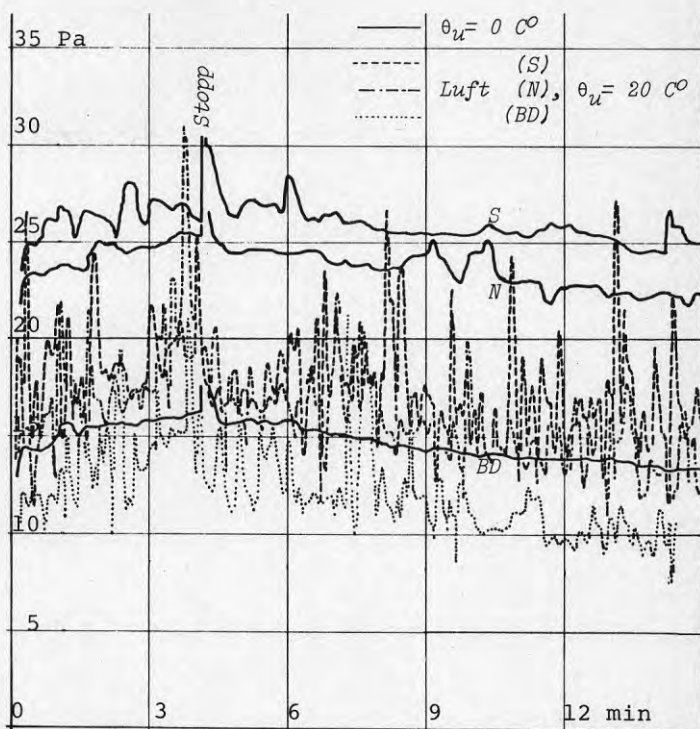


Figur .23 dA, grupp 2.  
Brännare A. Undertryck  
i eldstad vid  $\theta_u = 0^\circ$   
(heldragen) resp  $20^\circ$   
(prickad) och luft från  
söder (S), norr (N) och  
balanserat drag (BD).

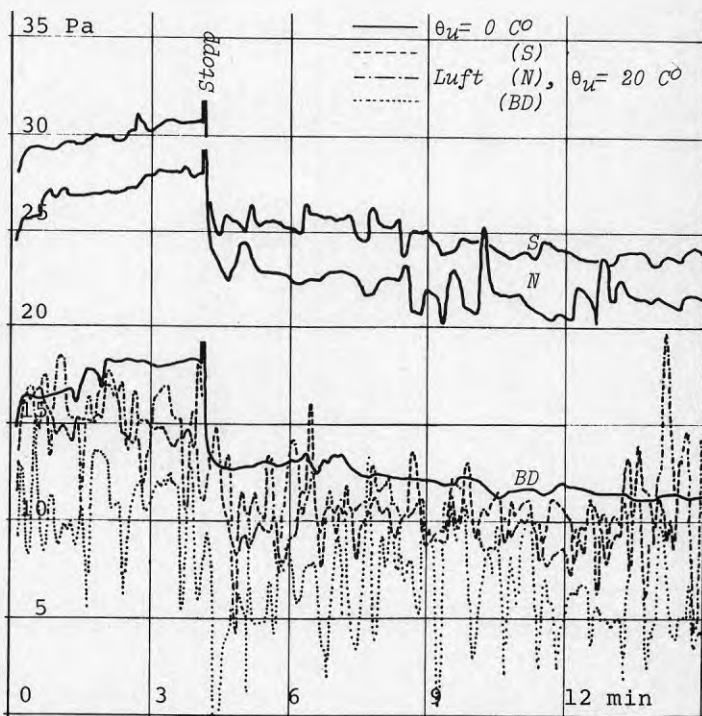


Figur .23 eA, grupp 2.  
Brännare A. Undertryck  
i rökkanal vid  $\theta_u = 0^\circ$   
(heldragen) resp  $20^\circ$   
(prickad) och luft från  
söder (S), norr (N) och  
balanserat drag (BD).



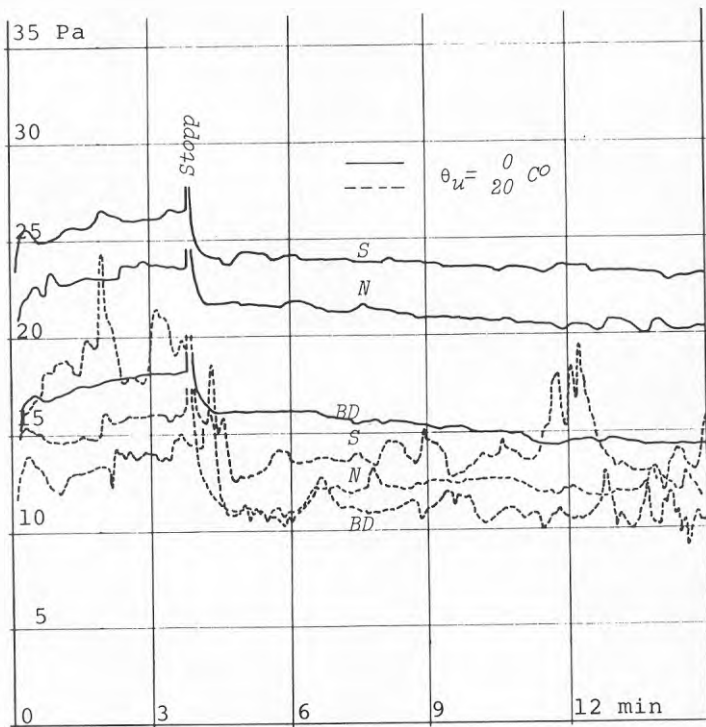


Figur .23 dB, grupp 2. Brännare B. Undertryck i eldstad vid  $\theta_u = 0\text{ }^\circ\text{C}$  (heldragen), lugnt och  $20\text{ }^\circ\text{C}$  (prickad), måttlig vind N-W. Luft från söder (S), norr (N) och balanserat drag (BD).

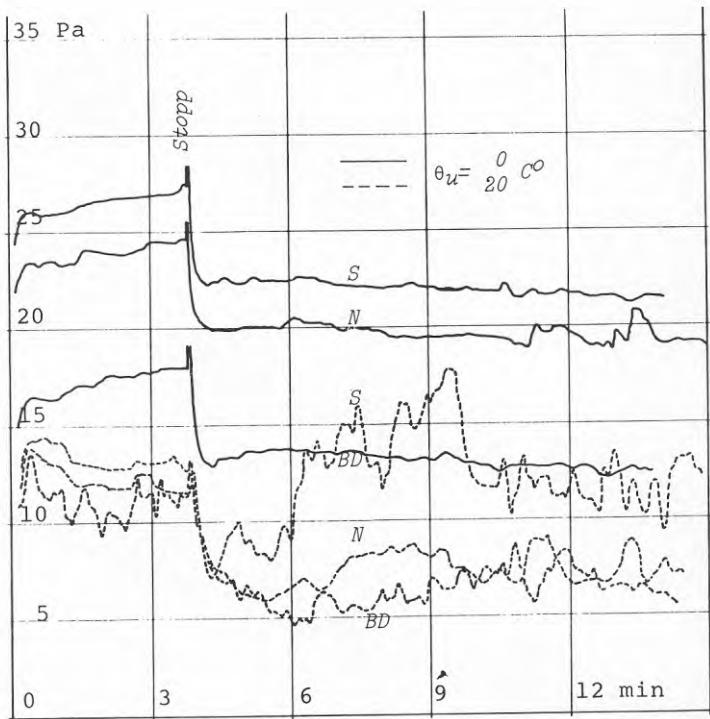


Figur .23 eB, grupp 2. Brännare B. Undertryck i rökkanal vid  $\theta_u = 0\text{ }^\circ\text{C}$  (heldragen), lugnt och  $20\text{ }^\circ\text{C}$  (prickad), måttlig vind N-W. Luft från söder (S), norr (N) och balanserat drag (BD).

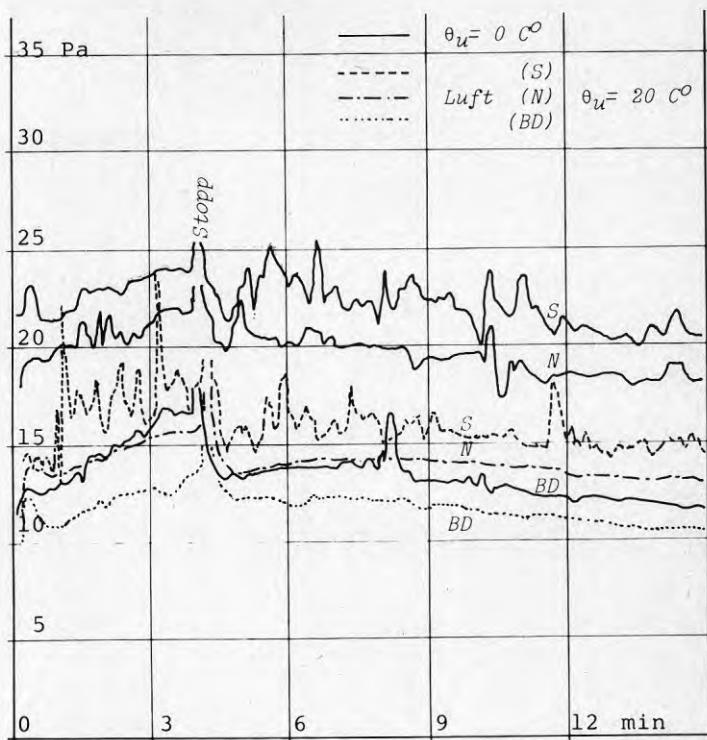
Figur .23 dC, grupp 2.  
Brännare C. Undertryck  
i eldstad vid  $\theta_u = 0^\circ$   
(heldragen) lugnt resp  
 $20^\circ$  (prickad) måttlig  
vindby S-W. Luft från  
söder (S), norr (N) och  
balanserat drag (BD).



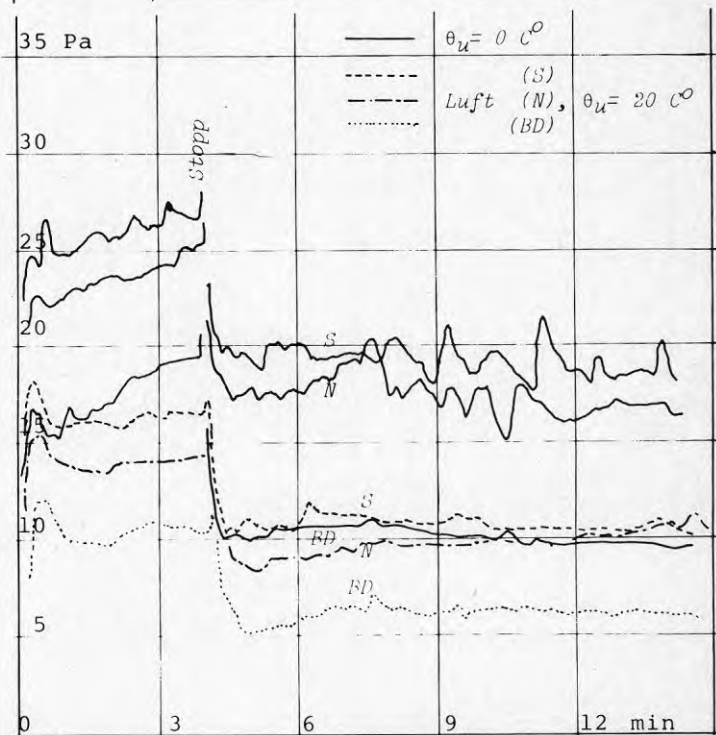
Figur .23 eC, grupp 2.  
Brännare C. Undertryck  
i rökkanal vid  $\theta_u = 0^\circ$   
(heldragen) lugnt resp  
 $20^\circ$  (prickad) måttlig  
vindby S-W. Luft från  
söder (S), norr (N) och  
balanserat drag (BD).



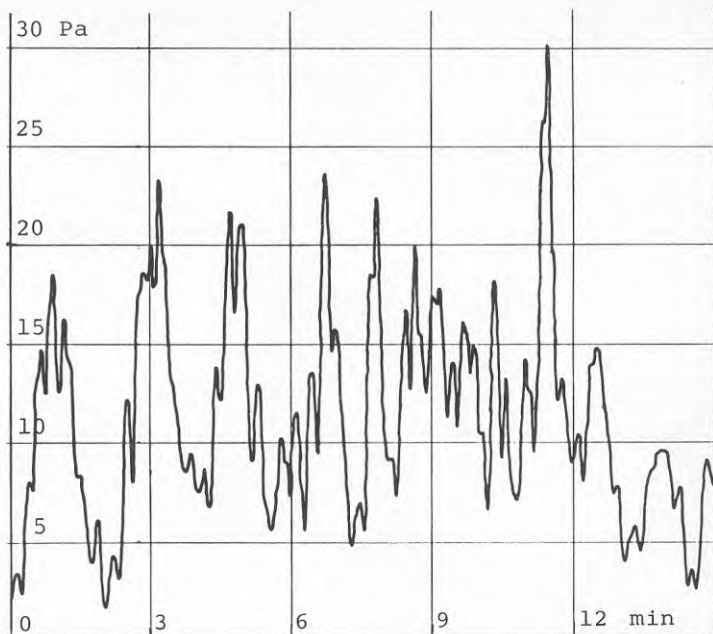
Figur .23 dD, grupp 2.  
Brännare D. Undertryck  
i eldstad vid  $\theta_u = 0^\circ$   
(heldragen) lugnt resp  
 $20^\circ$  (prickad). Svag  
vind NW resp SO. Luft  
från söder (S), norr  
(N) och balanserat drag  
(BD).



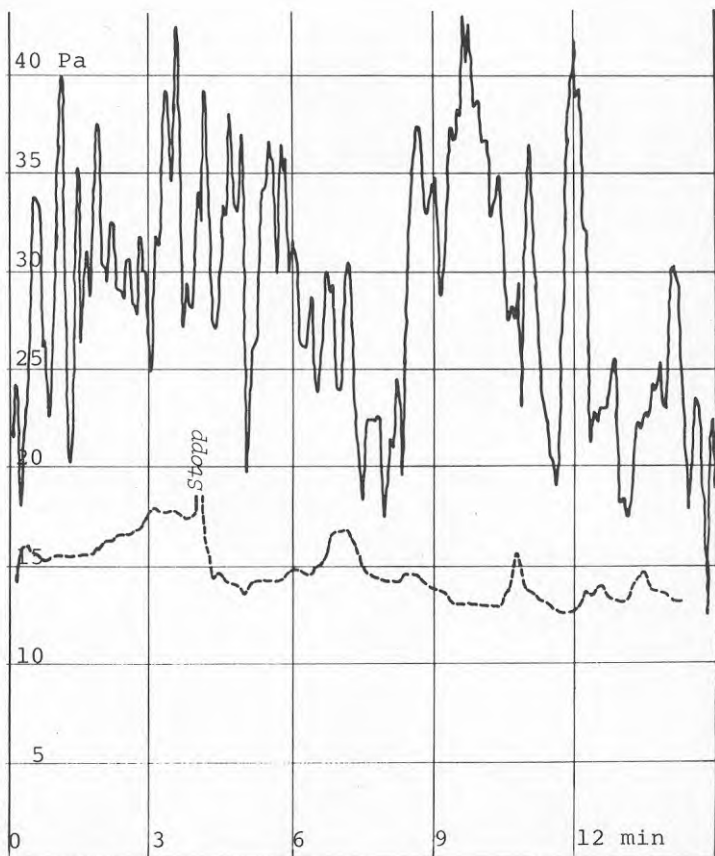
Figur .23 eD, grupp 2.  
Brännare D. Undertryck  
i rökkanal vid  $\theta_u = 0^\circ$   
(heldragen) lugnt resp  
 $20^\circ$  (prickad). Svag  
vind NW resp SO. Luft  
från söder (S), norr  
(N) och balanserat  
drag (BD).



Figur .23 fA, grupp 3.  
Vindtryck över hus,  
S-SW, medel 12.4 Pa  
 $\theta_u = 20\text{ }^\circ\text{C}$ , mätt i an-  
slutning till försök  
enligt .23 gA-iA (hel-  
dragen).

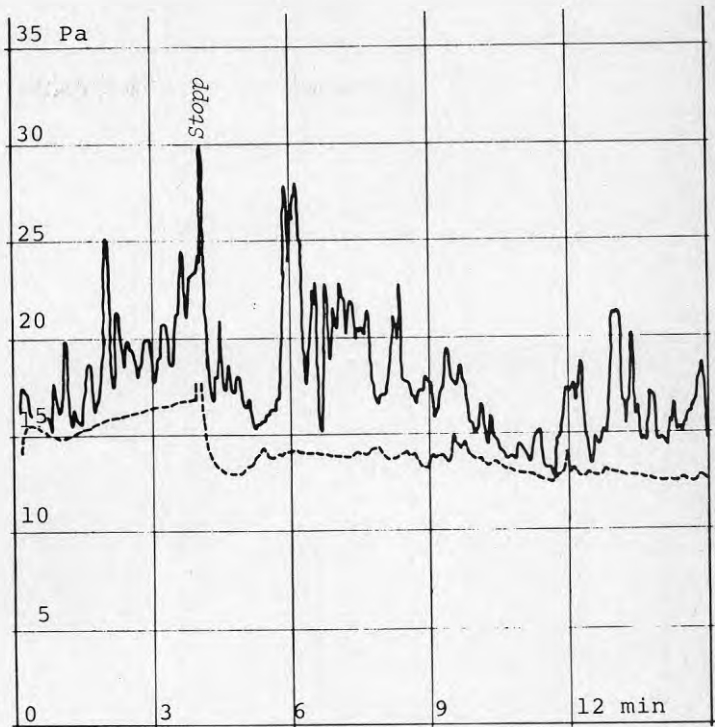


Figur .23 gA, grupp 3.  
Brännare A, normallast  
Undertryck i eldstad,  
 $\theta_u = 20\text{ }^\circ\text{C}$ . Luft från  
söder. Vind S-SW enligt  
.23 fA (heldragen) samt  
lugnt (prickad).

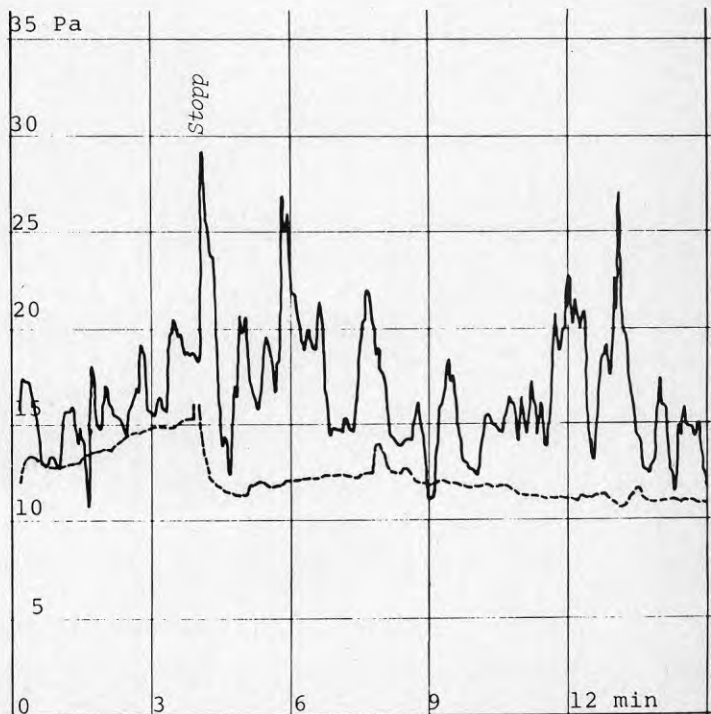




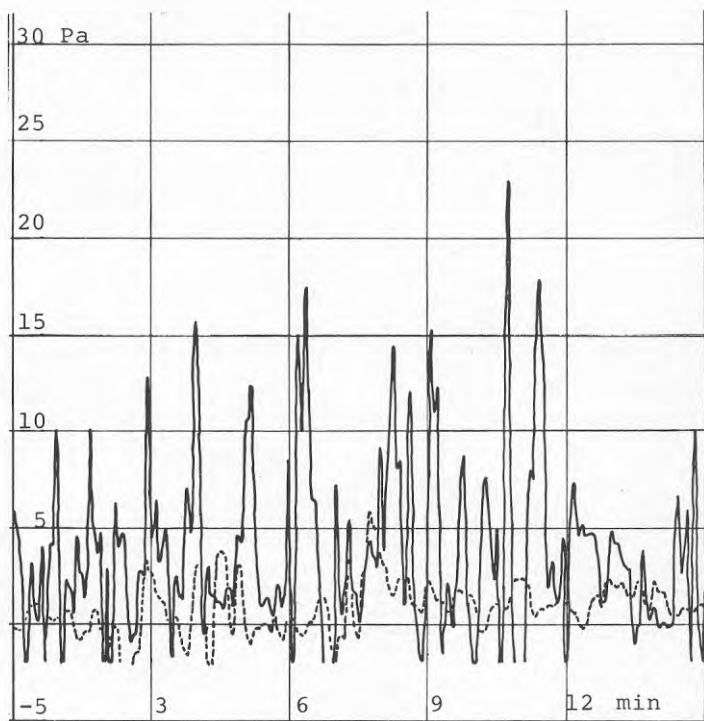
Figur .23 hA, grupp 3.  
Brännare A, normallast  
Undertryck i eldstad,  
 $\theta_u = 20^\circ$ . Luft från  
norr. Vind S-SW enligt  
.23 fA (heldragen) samt  
lugnt (prickad).



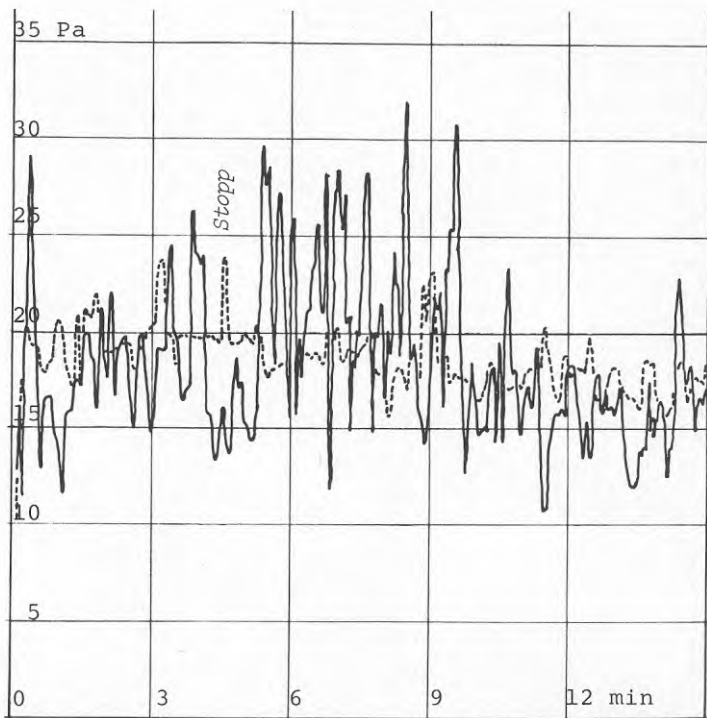
Figur .23 iA, grupp 3.  
Brännare A, normallast  
Undertryck i eldstad,  
 $\theta_u = 20^\circ$ . Balanserat  
drag. Vind S-SW enligt  
.23 fA (heldragen) samt  
lugnt (prickad).



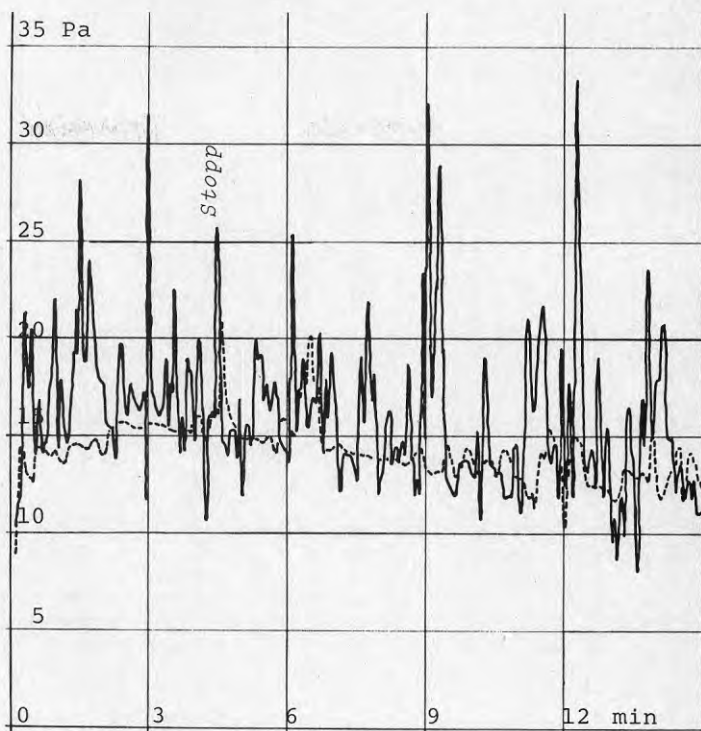
Figur .23 fB, grupp 3.  
Vindtryck över hus, SW  
-W, medel 4.1 Pa (hel-  
dragen) och W, medel  
.9 Pa (prickad). Mätt  
i anslutning till för-  
sök enligt .23 gB-iB  
(heldragen resp prick-  
ad).  $\theta_u = 20^\circ$ .



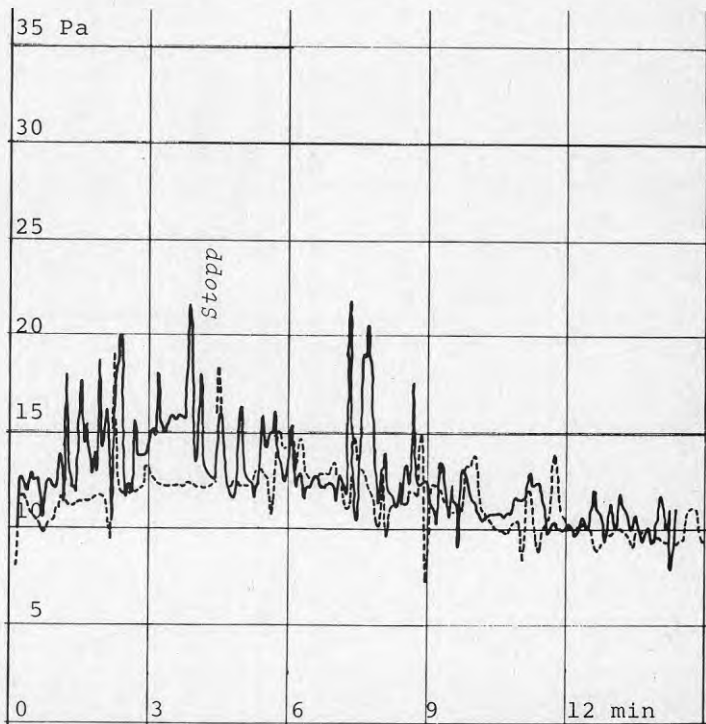
Figur .23 gB, grupp 3.  
Brännare B. Normallast  
Undertryck i eldstad,  
 $\theta_u = 20^\circ$ . Luft från  
söder. Vind från SW-W  
resp W enligt .23 fB.



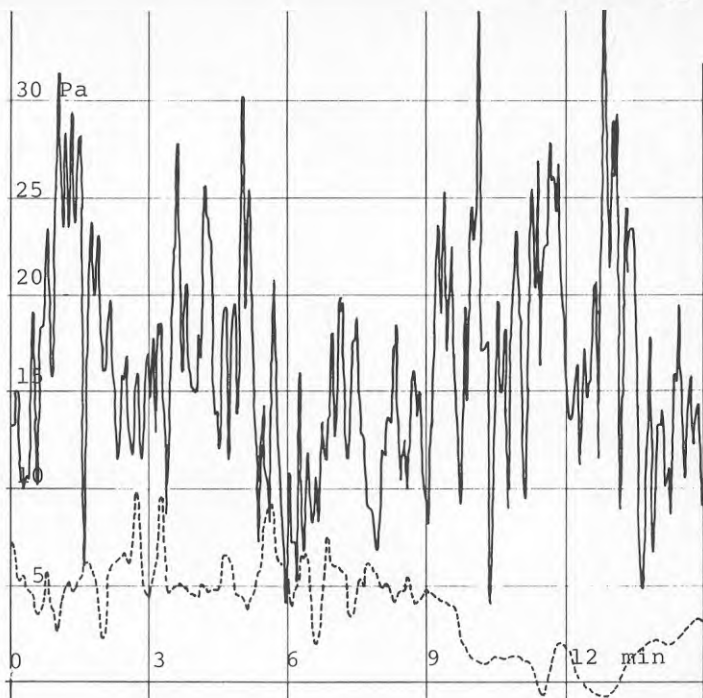
Figur .23 hB, grupp 3.  
Brännare B. Normallast  
Undertryck i eldstad,  
 $\theta_u = 20^\circ$ . Luft från  
norr. Vind från SW-W  
resp W enligt .23 fB.



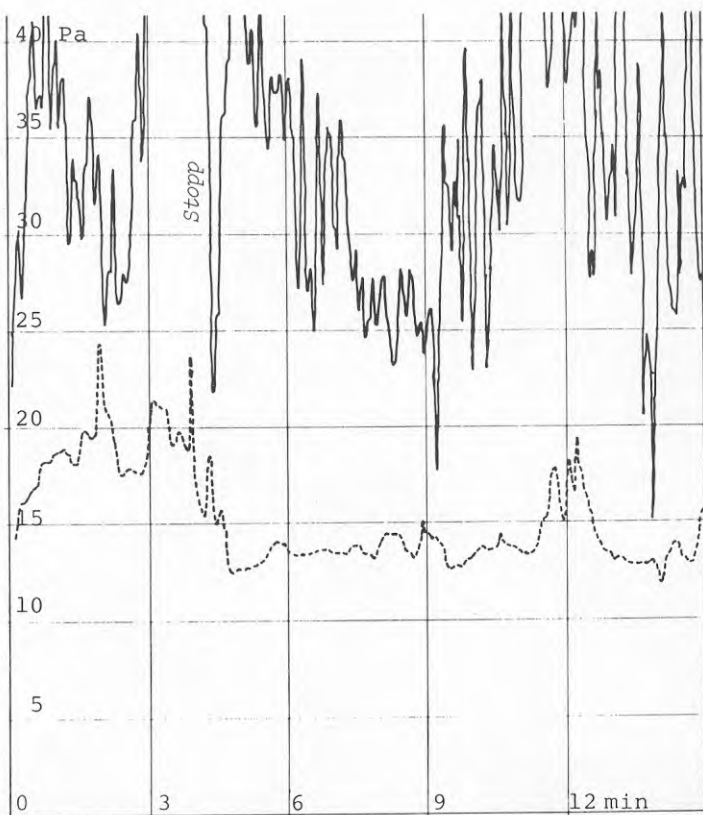
Figur .23 iB, grupp 3.  
Brännare B. Normallast  
Undertryck i eldstad,  
 $\theta_u = 20^\circ$ . Balanserat  
drag. Vind från SW-W  
resp W enligt .23 fB.



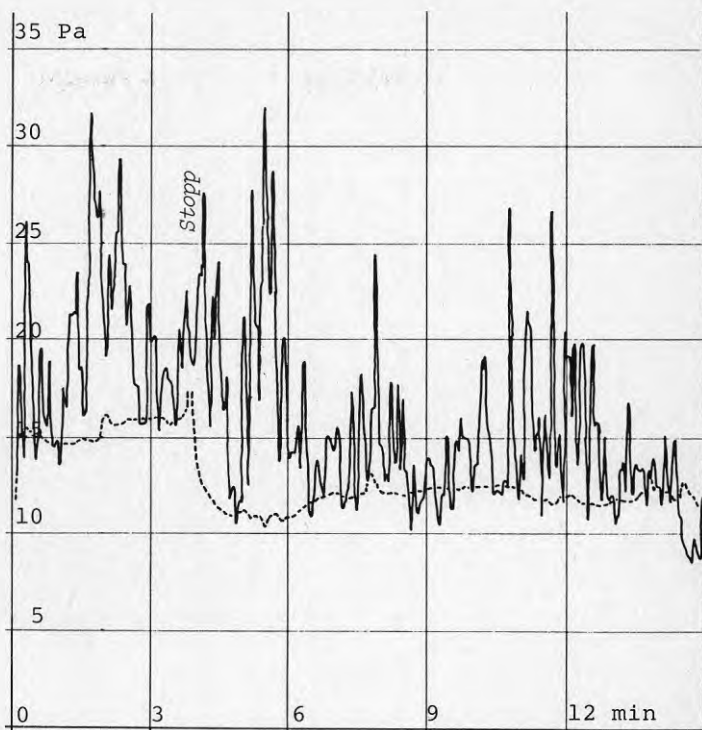
Figur .23 fc, grupp 3.  
Vindtryck över hus, S,  
medel 16.2 Pa (heldra-  
gen) och S-SSO, medel  
4.1 Pa (prickad).  
 $\theta_u = 20\text{ }^\circ\text{C}$ . Mätt i an-  
slutning till försök  
enligt .23 gC-iC (hel-  
dragen resp prickad).



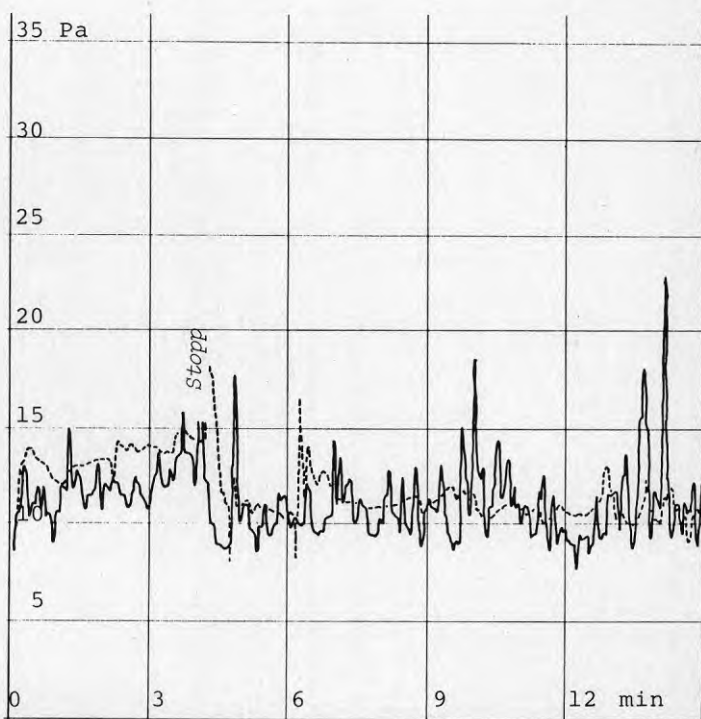
Figur .23 gC, grupp 3.  
Brännare C. Normallast.  
Undertryck i eldstad,  
 $\theta_u = 20\text{ }^\circ\text{C}$ , luft från  
söder. Vind från S  
resp S-SSO enligt  
.23 fc.



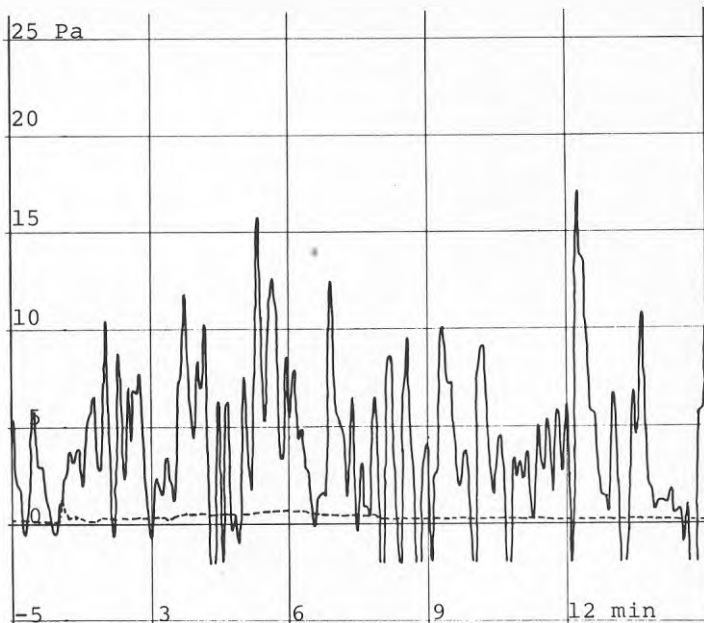
Figur .23 hC, grupp 3.  
Brännare C. Normallast.  
Undertryck i eldstad,  
 $\theta_u = 20\text{ }^\circ\text{C}$ , luft från  
norm. Vind från S resp  
S-SSO enligt .23 fC.



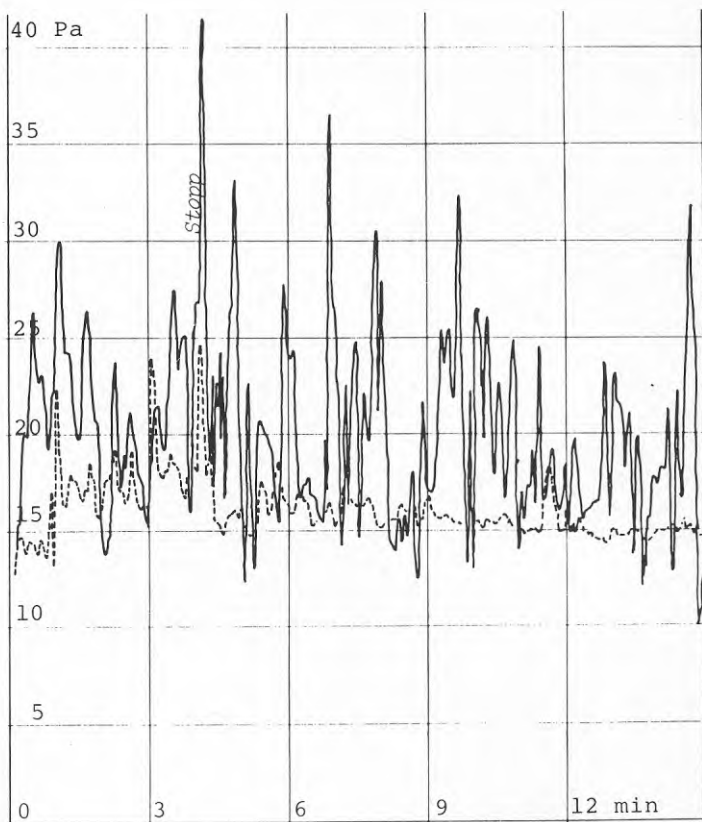
Figur .23 iC, grupp 3.  
Brännare C. Normallast.  
Undertryck i eldstad,  
 $\theta_u = 20\text{ }^\circ\text{C}$ , balanserat  
drag. Vind från S resp  
S-SSO enligt .23 fC.

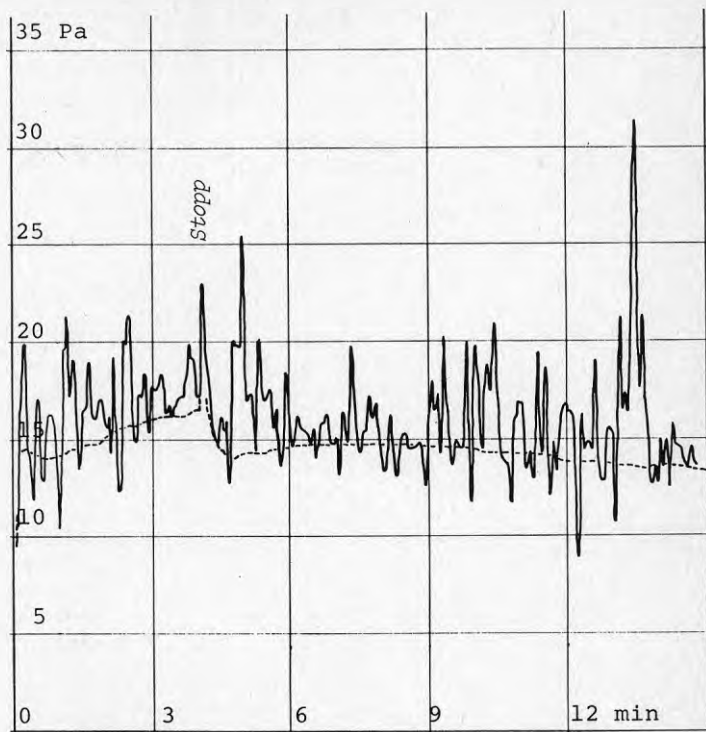


Figur .23 fD, grupp 3.  
 Undertryck över hus,  
 W-SW, medel 3.8 Pa  
 (heldragen) och SO,  
 medel .1 Pa (prickad).  
 $\theta_u = 20^\circ$ . Mätt i an-  
 slutning till försök  
 enligt .23 gD-iD (hel-  
 dragen resp prickad)

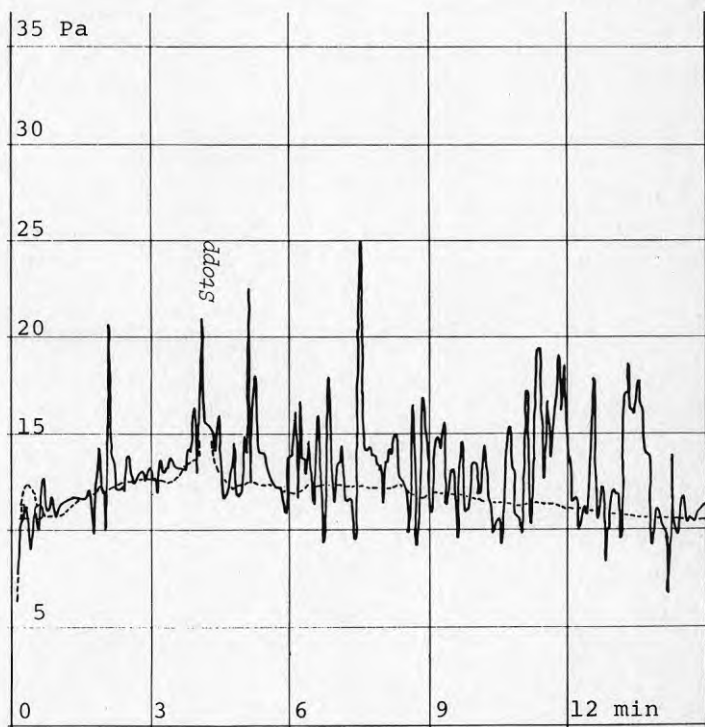


Figur .23 gD, grupp 3.  
 Brännare D. Normallast.  
 Undertryck i eldstad,  
 $\theta_u = 20^\circ$ , luft från  
 söder. Vind från W-SW  
 resp SO enligt .23 fD.





Figur .23 hD, grupp 3.  
Brännare D. Normallast.  
Undertryck i eldstad,  
 $\theta_u = 20\text{ C}^\circ$ , luft från  
norr. Vind från W-SW  
resp SO enligt .23 fD.



Figur .23 iD, grupp 3.  
Brännare D. Normallast.  
Undertryck i eldstad,  
 $\theta_u = 20\text{ C}^\circ$ , balanserat  
drag. Vind från W-SW  
resp SO enligt .23 fD.

16 sidor med mer eller mindre snarlika kurvor är svårsmältt läsning. I det följande skall därför knytas några kommentarer till både likheter och skillnader hos kurvorna.

Brännarstart är i figurens vänsterkant, tidpunkten noll. Varje kurvblad täcker 15 minuters registreringar. I startögonblicket bildas momentant ett övertryck i pannan, se figur .22 a, som snabbt ersätts av undertryck. Detta ökar allt efter som rökkanalen och skorstenen varms upp. Kurvorna uppvisar sedan en momentan stegring av undertrycket när brännaren stannar. Därefter minskar undertrycket under stillestånd fram till nästa starttillfälle. Detta schematiska tryckförlopp överlagras av tryckvariationer betingade av bl a vinden. Kurvorna för undertrycket i rökkanalen följer i princip samma mönster.

#### Grupp 1

Kurvbladen är som tidigare nämnt ordnade i grupper (1-3). Grupp 1 (figurerna .23 b,c) visar alla de fyra undersökta belastningsfallen och motsvarar närmast ett normalt, idealiserat drifttillstånd. Det är normalt på så sätt att förbränningsluften tagits in genom det befintliga luftintaget åt norr. Idealiseringen utgörs av att kurvorna registrerats under lugna väderleksförhållanden och motsvarar utomhustemperaturen  $\theta_u = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Medeltemperaturen under eldnings-säsongen finns för stora delar av Sverige inom ett relativt snävt intervall kring nollstreck. I verkligheten har det naturligtvis inte varit möjligt att utföra försöken vid precis noll grader. I resultatkapitlet visas härledningen av formella samband mellan undertrycket i pannan och utomhustemperatur och pannbelastning. Dessa har utgjort verktyg för de korrekationer som gjorts i figurerna.

Figurerna .23 bA-bD visar undertryck i eldstad och rökkanal vid höglast- och låglastförsök vilka båda har periodlängden 32 minuter. Av denna tid har ca 17 minuter av gångtiden respektive stilleståndstiden av utrymmesskäl inte tagits med i figuren. Man ser emellertid att tryckförändringarna är relativt små över det tidintervall som fattas. Man kan därför ändå bilda sig en god uppfattning om hela förloppet. Figurerna .23 cA-cD visar motsvarande förlopp hos halvlast- och normallastförsök. Periodlängden är 16 minuter hos dessa varför kurvorna inte når helt fram till brännarstart.

Vid jämförelser mellan kurvorna kan man finna indikationer på samband eller slutsatser. Det är således uppenbart att draget ökar med belastningen. Höglastkurvorna ligger 8-10 Pa över låglastkurvorna. Skillnaderna mellan brännarna är rätt liten i detta avseende.

Under stillestånd är undertrycket undantagslöst större i eldstaden än i rökkanalen. Med hänsyn till att det finns en höjdskillnad av .9 m mellan mätställena är detta rätt naturligt. Under gång är däremot undertrycket i rökkanalen signifikant större än i eldstaden hos tre utav brännarna. Undantaget



är brännare C hos vilken kurvorna är nära sammanfallande. Förhållandet torde bero på strömningsmotstånd i pannan för de varma rökgaserna och på att brännare C har den lägsta effekten av de brännare som undersökts och därför också lägsta rökgasflödet. Den höga viskositeten hos varma gaser torde också ha betydelse i sammanhanget. Annars finns inga stora skillnader att se mellan de olika brännarna. I följande grupper behandlas endast normallast fallet.

### Grupp 2

Kurvorna i grupp 2 illustrerar inverkan av variationer hos utomhustemperaturen och av olika anordningar för intag av förbränningsluft. Figurerna .23 dA-dD visar undertryck i eldstaden vid noll och tjugo grader utomhus medan figurerna .23 eA-eD omfattar motsvarande kurvor över trycket i rökkanalen. Tonvikten har fortfarande lagts vid lugnt väder eller svag vind.

Ser man till de heldragna kurvorna ( $\theta_u = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$ ) är draget signifikant större vid luft från söder än från norr. Medverkande till detta kan vara dels strömningsmotstånd hos det ordinarie luftintaget dels det förhållandet att luftintaget finns i takhöjd i pannrummet. Dörrspringan som har använts vid luftintag från söder ger något större genomströmningsarea och räcker ner till golvet varför kanske den luftpelare som alstrar draget också är något högre. Lågst är draget vid luftintag genom evakueringskanalen i skorstenen - balanserat drag. Detta kan bero på dels strömningsmotstånd dels uppvärmning av förbränningsluften från de varma kanalväggarna.

Samma inbördes relationer kan skönjas hos de prickade kurvorna ( $\theta_u = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$ ). Dessas inbördes avstånd är dock mycket mindre än för  $\theta_u = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$  varför fenomenet inte är lika tydligt. Däremot är det klart att utomhustemperaturens inverkan på de registrerade undertryck är olika beroende på luftförsörjnings sättet. Inverkan av vindturbulens syns i kurvorna för brännare B. Även i kurvorna för brännare C finns vissa störningar - främst vid luft från söder. De är emellertid mera lågfrekventa och kan gissningsvis ha termiska orsaker. De inbördes skillnaderna mellan brännarna är fortfarande relativt små.

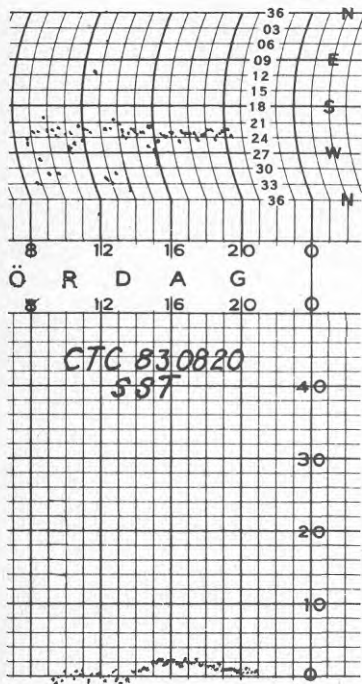
### Grupp 3

Till grupp 3 som avser visa vindens inverkan på trycket i pannan hör figurerna .23 f, g, h och i. Figur .23 f visar tryckskillnader mellan husets fasader åt söder och åt norr. Mätutrustningen är kopplad så att övertryck från söder ger positiv signal. Figurerna .23 g, h och i illustrerar undertrycken i pannans eldstad. De gäller tryck vid luftförsörjning från söder, från norr och balanserat drag i nämnd ordning. Heldragna kurvor motsvarar vindförsök, medan prickade kurvor avser försök i lugnt väderlek eller svag vind vilka medtagits för jämförelse. Utomhustemperaturen är  $20 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

I vindförsöken med brännarna A och C har vinden verkat frontalt mot husets sydsida. Man ser nämligen (figur .23 fA och fC) att uppmätta vindtryck över huset är positiva hela tiden, medelvärdena är 12.4 respektive 16.2 Pa. I dessa fall kan man konstatera markant stegring av undertrycket i pannan vid luftförsörjning från söder (figur .23 gA och gC) medan inverkan vid luftförsörjning från norr och vid balanserat drag är relativt måttlig i varje fall vad gäller medelvärdena (figur .23 hA, iA och hC och iC). Vid de två övriga försöken - med brännarna B och D - (figur .23 fB och fD) är vindtryckets medelvärde positivt men kurvorna korsar då och då nollinjen. Orsaken till detta torde vara växlande vindriktning med anfall snett i förhållande till husets sydfasad. Vindens inverkan på draget är under dessa förhållanden ganska måttlig för alla tre luftförsörjningssätt (figur .23 gB, hB, iB och gD, hD och iD).

Det är intressant att jämföra den prickade vindtryckskurvan hos brännare C (figur .23 fC) med den hel- dragna kurvan hos brännare D. Medeltrycket hos C är faktiskt större än D men kurvan är mjukare och effekterna på eldstadstrycket är också helt annorlunda.

Syftet med att visa exempel på registrerade vindkurvor enligt ovan är främst att ge en uppfattning om karaktären hos det försöksmaterial som bildar en väsentlig del av underlaget för försöksbearbetningen i nästa kapitel samt visa på kvalitativa indikationer som kan härledas visuellt ur materialet. De kurvor (ca 90) som på så sätt visats utgör endast en mindre del av det totala försöksmaterialet.

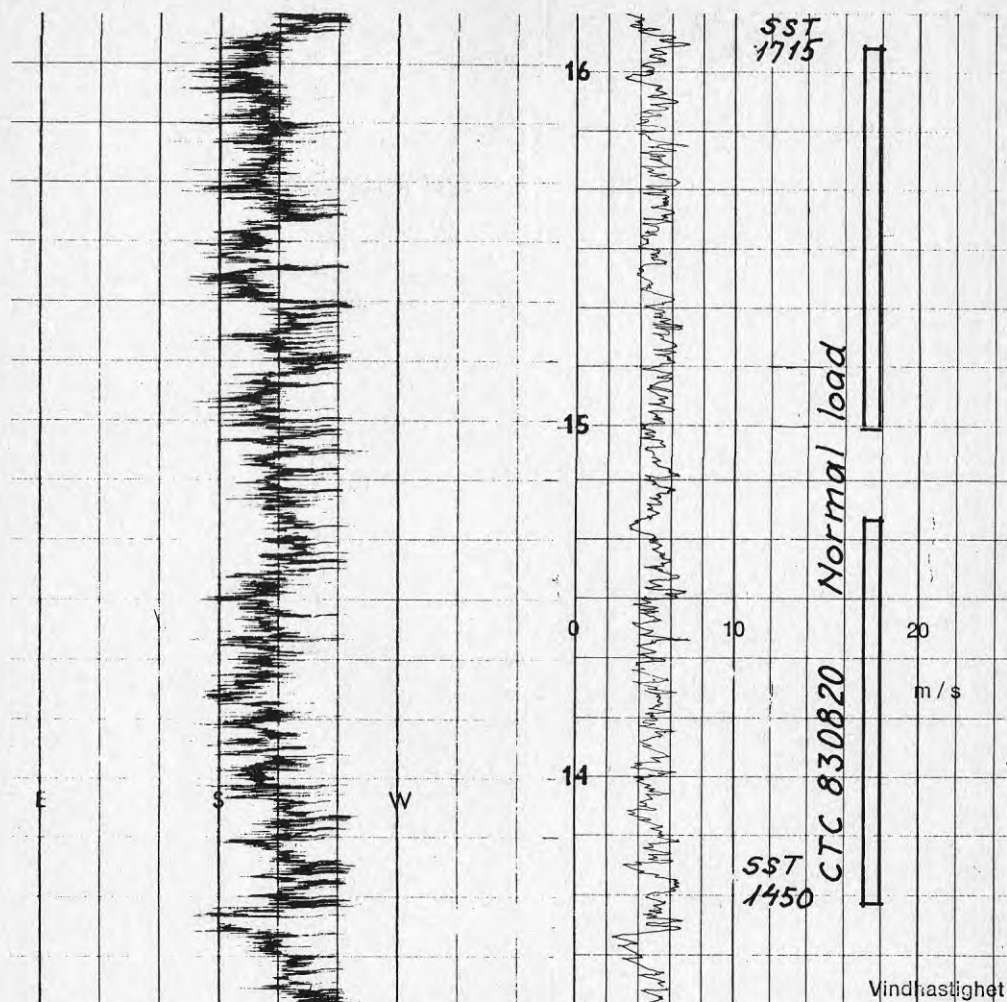


#### Vindobservationer.

Registrering av vindtrycksskillnader mellan husets fasader åt söder och åt norr enligt ovan utgör ett utav flera sätt att karakterisera vindens och atmosfärens del av försöksbetingelserna i projektet. Med hjälp av det kan samband mellan yttre tryck och tryckmätningar i pannans eldstad studeras. En nackdel är emellertid att resultaten är strikt bundna till fastigheten.

För också i någon mån att knyta ihop registreringarna med kända meteorologiska parametrar

Figur .23 kB. Vindregistreringar å försöksfastigheten motsvarande försök med brännare B. Angivna tider är svensk sommartid (SST). Inledningsskedet är lugnt med starkt fluktuerande vindriktning. Under tiden ca 0930-1300 förekommer nollregistreringar vilka visar att det finns nollfel om ca -1 m/s. Senare när vinden börjar komma stabiliseras vindriktningen kring riktning 24 (ca SW). Under tiden ca 1500-1800 motsvarar 10 minuters medelvärdena av vindhastigheten tidvis 3.5-4.0 m/s.



Figur .23 LB. Vindregistreringar, F 18, motsvarande försök med brännare B enligt figurerna .23 kB och mB. Vindriktningen fluktuerar kring SSW och hastigheten är i huvudsak inom intervallet 4-6 m/s. För att få en reproducerbar figur var det nödvändigt att dra upp hastighetskurvan med tuschpenna. Tiden är svensk sommartid (SST). Överensstämmelsen med figur .23 kB förefaller med hänsyn till omständigheterna tämligen god.

har en registrerande vindmätare lånats hos SMHI och monterats på toppen av husets skorsten, ca 10 m över tomtens nivå åt söder. Instrumentet mäter kontinuerligt vindhastigheten och integerar elektroniskt denna över 10 minuters intervall. Även vindriktningen känns av med elektronisk signalgivare. Medelhastighet och momentan vindriktning trycks 6x per timme på registreringspapper, se figur .23 kB.

Ytterligare information om vindriktning och vindhastigheter har tillkommit genom att registreringar regelbundet utlånats från F 18 för kopiering av för försöken aktuella avsnitt, se figur .23 LB. För kompletterande allmän information om väderleksdata finns

Datum 83820

SYNOP-OBSERVATION

Stations Tidning 2409

| nr | Temperatur | Fuktighet | Relativ fuktighet | Vind | Riktning | Höjd | Höjd i |    |    | Sikt |    |    | Lufttryck |    |    | DME | Tid |
|----|------------|-----------|-------------------|------|----------|------|--------|----|----|------|----|----|-----------|----|----|-----|-----|
|    |            |           |                   |      |          |      | mm     | cm | ft | mm   | cm | ft | mm        | cm | ft |     |     |
| 01 | 17.5       | 71        | 80                | 0    | 0        | 0    | 0      | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 0         | 0  | 0  | 0   | 0   |
| 02 | 17.5       | 71        | 80                | 0    | 0        | 0    | 0      | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 0         | 0  | 0  | 0   | 0   |
| 03 | 17.5       | 71        | 80                | 0    | 0        | 0    | 0      | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 0         | 0  | 0  | 0   | 0   |
| 04 | 17.5       | 71        | 80                | 0    | 0        | 0    | 0      | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 0         | 0  | 0  | 0   | 0   |
| 05 | 17.5       | 71        | 80                | 0    | 0        | 0    | 0      | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 0         | 0  | 0  | 0   | 0   |
| 06 | 17.5       | 71        | 80                | 0    | 0        | 0    | 0      | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 0         | 0  | 0  | 0   | 0   |
| 07 | 17.5       | 71        | 80                | 0    | 0        | 0    | 0      | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 0         | 0  | 0  | 0   | 0   |
| 08 | 17.5       | 71        | 80                | 0    | 0        | 0    | 0      | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 0         | 0  | 0  | 0   | 0   |
| 09 | 17.5       | 71        | 80                | 0    | 0        | 0    | 0      | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 0         | 0  | 0  | 0   | 0   |
| 10 | 17.5       | 71        | 80                | 0    | 0        | 0    | 0      | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 0         | 0  | 0  | 0   | 0   |
| 11 | 17.5       | 71        | 80                | 0    | 0        | 0    | 0      | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 0         | 0  | 0  | 0   | 0   |
| 12 | 17.5       | 71        | 80                | 0    | 0        | 0    | 0      | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 0         | 0  | 0  | 0   | 0   |
| 13 | 17.5       | 71        | 80                | 0    | 0        | 0    | 0      | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 0         | 0  | 0  | 0   | 0   |
| 14 | 17.5       | 71        | 80                | 0    | 0        | 0    | 0      | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 0         | 0  | 0  | 0   | 0   |
| 15 | 17.5       | 71        | 80                | 0    | 0        | 0    | 0      | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 0         | 0  | 0  | 0   | 0   |
| 16 | 17.5       | 71        | 80                | 0    | 0        | 0    | 0      | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 0         | 0  | 0  | 0   | 0   |
| 17 | 17.5       | 71        | 80                | 0    | 0        | 0    | 0      | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 0         | 0  | 0  | 0   | 0   |
| 18 | 17.5       | 71        | 80                | 0    | 0        | 0    | 0      | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 0         | 0  | 0  | 0   | 0   |
| 19 | 17.5       | 71        | 80                | 0    | 0        | 0    | 0      | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 0         | 0  | 0  | 0   | 0   |
| 20 | 17.5       | 71        | 80                | 0    | 0        | 0    | 0      | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 0         | 0  | 0  | 0   | 0   |
| 21 | 17.5       | 71        | 80                | 0    | 0        | 0    | 0      | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 0         | 0  | 0  | 0   | 0   |
| 22 | 17.5       | 71        | 80                | 0    | 0        | 0    | 0      | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 0         | 0  | 0  | 0   | 0   |
| 23 | 17.5       | 71        | 80                | 0    | 0        | 0    | 0      | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 0         | 0  | 0  | 0   | 0   |

Figur .23 mB. Synopobservationer, F 18, motsvarande försök med brännare B enligt figurerna .23 kB och .23 LB. Tiderna är Greenwich Mean Time (GMT) medan tiderna i figurerna .23 kB och .23 LB är svensk sommartid (SST). Tidskillnaden är således 2 timmar. Angivna vindriktningar - 10 km/h - är lägre än de som registrerats enligt kurvorna ovan medan vindriktningarna stämmer någonlunda överens. Utetemperaturen - ca 24 °C - överensstämmer med försöksvärdena.

synopobservationer varje timme också de från F 18, se figur .23 mB. Anknypningen till officiell klimatstatistik innebär starkt ökade möjligheter att nyttja projektresultaten å andra orter. Den utgör därför en mycket väsentlig länk i projektet.

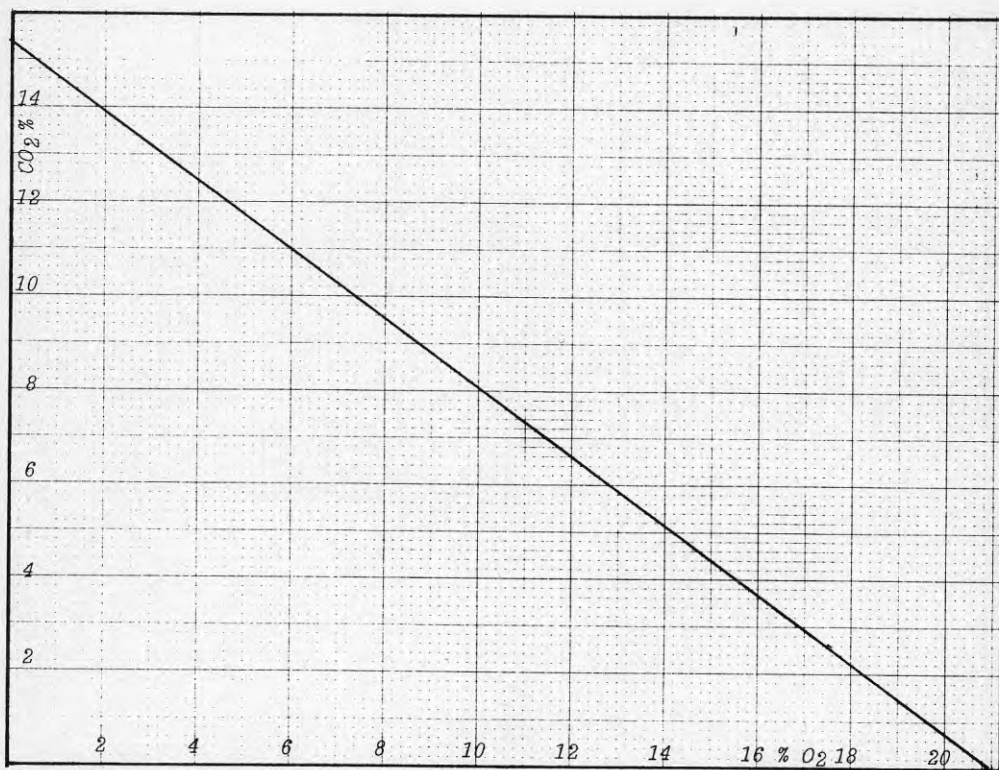
## .24 Registrerade temperaturer och gasanalys.

Några parametrar av direkt betydelse för försöken och andra som kan belysa anläggningens allmänna tillstånd har registrerats med en 20 punkters kompen- sationsskrivare, Speedomax, med mätområde 5 mV, matningshastighet ca 300 mm/h (12"/h) samt registre- ringsperiod 80 s. Totalt är sju mätställen inkoppla- de. Av dessa har tre kopplats till fyra ingångar varvid de registreras varje tjugonde sekund medan övriga som endast kopplats till två ingångar regis- treras med 40 sekunders intervall.

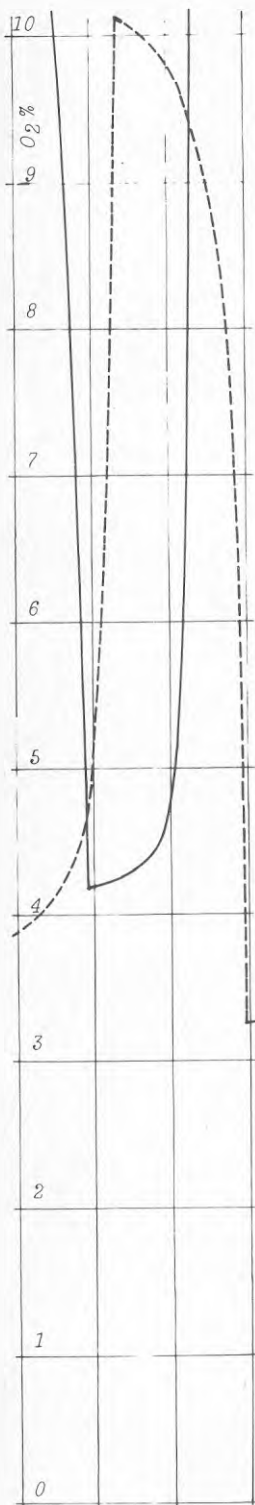
I sammanställningen nedan redovisas mätställen, mät intervall och utförda manipulationer med mätområ- dena.

| Mätstorhet                       | Mätprincip     | Mätområde |
|----------------------------------|----------------|-----------|
| <i>Intervall 20 sekunder</i>     |                |           |
| O <sub>2</sub> -procent i rökgas | Siemens 10 %   |           |
| Gastemperatur                    | Chromel-Alumel | 10 mV     |
| Stigartemperatur                 | Cu-Constantan  | 5 mV      |

*fortsättes nästa sida*



Figur .24 a. Samband mellan  $v(\text{CO}_2)$  och  $v(\text{O}_2)$  i torr rökgas vid oljeeldning och fullständig förbränning, Rasmussen (1963).



Fortsättning. Intervall 40 sekunder

|                 |               |         |
|-----------------|---------------|---------|
| Returtemperatur | Cu-Constantan | 5 mV    |
| Panntopp        | - o -         | 5 mV    |
| Kallt lötställe | - o -         | 5 mV    |
| Rumstemperatur  | - o - x4      | 1.25 mV |

I det följande diskuteras mätningarna i ovan angivna följd.

### *O<sub>2</sub>-analys*

För bestämning av rökgasförluster och luftöverskott hos brännarna under gång har rökgasernas O<sub>2</sub> %,  $v(O_2)$ , mätts med en paramagnetisk oxygenmätare, Siemens Oxymat, 0-10 %. Gasuttaget utgörs av en sugpyrometer i rökkanalen, Rasmussen (1963) varvid gasanalys och temperaturmätning sker i samma gasprov. Traditionell bestämning av  $v(CO_2)$  har således ersatts av  $v(O_2)$ . Vid oljeeldning med fullständig förbränning finns följande samband mellan dessa storheter, Rasmussen (1963).

$$\frac{v(CO_2)}{15.4} + \frac{v(O_2)}{21.0} = 1 \quad \text{eller}$$

$$v(CO_2) = 15.4 - .73 \times v(O_2) \quad (.24, a)$$

Sambandet visas grafiskt i figur .24 a.

Motsvarande mängd torr förbränningsluft är

$$L_t = \frac{161}{v(CO_2)} + .73 \quad \text{nm}^3/\text{kg} \quad (.24, b)$$

Vid förbränningen bildad våt rökgas uppgår till

$$R_v = L_t + .73 \quad \text{nm}^3/\text{kg} \quad (.24, c)$$

Figuren .24 b visar ett exempel på  $v(O_2)$ - och rökgastemperaturregistreringar vid normallast. Typiska drag är att medan rökgastemperaturmätningen reagerar spontant vid brännarstart och brännarstopp så är  $v(O_2)$  mätningarna ca 1 minut fördröjda.  $v(O_2)$  mätningarna hinner i det närmaste stabiliseras under de fyra minuter brännaren är i gång, medan rökgastemperaturen inte uppnår stabilitet. Vid beräkning av rökgasförluster, etc används värden registrerade omedelbart före brännarstopp.

Figur .24 b.  $v(O_2)$  - heldragen - och rökgastemperatur,  $\theta_g$ , - prickad - under gång vid normallast. Tidaxeln går från höger mot vänster. Delningarna motsvarar 2.5 minuter. Brännarstart är intill figurens högerkant. Man ser vid brännarstopp att O<sub>2</sub> registreringarna börjar öka ca 1 minut senare än rökgastemperaturen börjar falla. Orsak till fördröjningen är dels tröghet hosmätaren dels försening i sugslangen. Rökgastemperaturen reagerar däremot praktiskt taget spontant på brännarstart och brännarstopp. Gångtiden är fyra minuter. Inom denna tid hinner  $v(O_2)$  nästan stabiliseras medan  $\theta_g$  inte gör det.

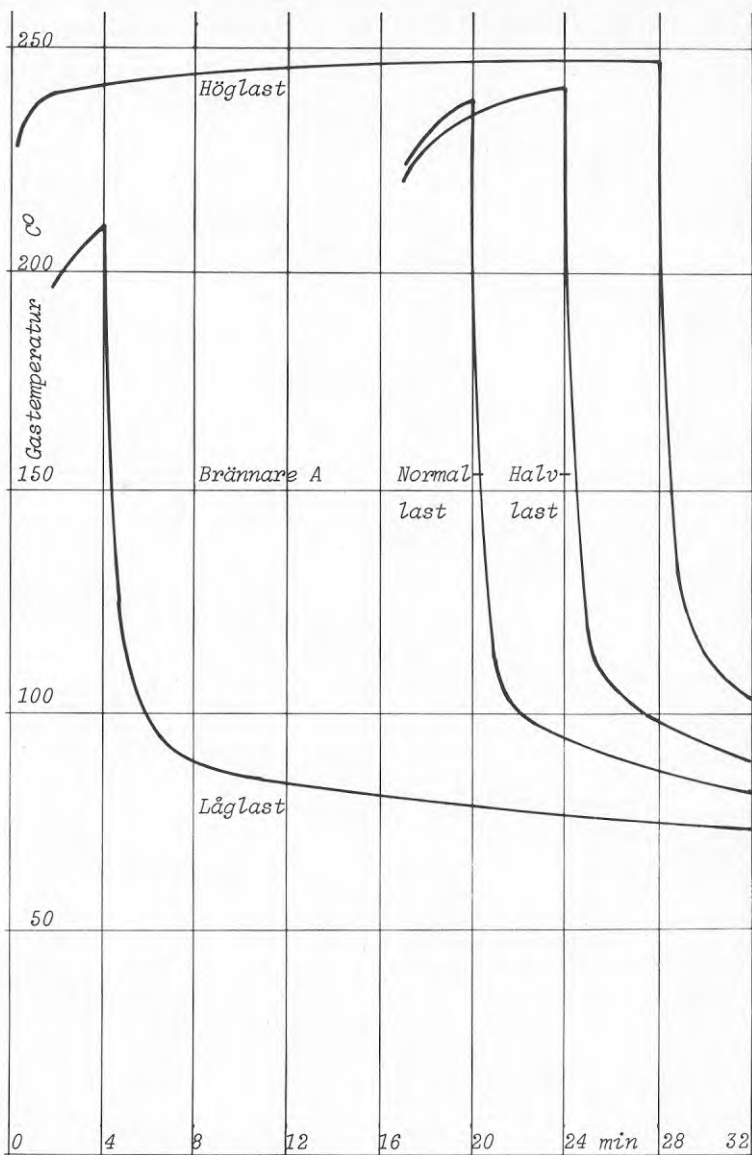
För att i försöken få så tillförlitliga gasanalyser som möjligt har mätinstrumentet varit påkopplad minst ett dygn före varje försökstillfälle. Under några timmar före observationernas början har även gaspumpen varit igång och spolat rumsluft genom mätaren. Instrumentet är försett med kalibreringsanordning baserad på atmosfärisk luft samt kontroll av den stabiliserade mätströmmen - 500 mA. Före försök har kalibrering gjorts. Med hänsyn tagen till nämnda åtgärder uppskatter författaren medelmätfelet på  $v(O_2)$  till .2 procentenheter. Skrivarens bidrag till medelmätfelet kan skattas till .02 procentenheter vilket är försumbart.

Observerade värden av  $v(O_2)$  i försöken är normalt inom intervallet 2-6 %. Medelfelet enligt ovan utgör således ca 10-3.0 % av mätstorheten. Rasmussen (1977) har skattat medelmätfelet hos manuelle  $CO_2$ -analyser med Orsat apparat under laboratoriebetingelser till 1.5 % av analysresultatet. En jämförelse visar att respektive felberäkningar ger samma noggrannhet vid  $v(CO_2), v(O_2) = ca 10, 7.6$ . Vid förbränning med lägre luftöverskott innebär den skattning som används här en något bättre noggrannhet och vice versa.

#### *Gastemperaturer*

Med gastemperatur menas här temperaturen i röckanalen. När brännaren är igång avses rökgastemperatur och under stillestånd temperaturen hos ventilationsluften. Gastemperaturen mäts med sugpyrometer, Rasmussen (1963). Mätkroppen utgörs av ett Chromel-Alumel termoelement inbyggt i ett  $\phi$  5 mm tunnväggigt rostfritt rör, vilket fungerar som strålningsskydd. Prov av gasen sugas kontinuerligt förbi termoelementet med hjälp av den pump som hör till gasanalysinstrumentet. På grund av att termospänningen under gång är större än 5 mV - skrivarens mätområde - är termoelementet kopplat över en spänningsdelare (Danbridge 5000  $\Omega$ , tre dekader, noggrannhet .1 %). Reduktionsfaktorn är inställd på .5 varvid skrivarens mätområde ändras till 10 mV. Termoelementets resistans är ca 75  $\Omega$  varför registrerade signaler p g a strömmen i termoelementet blir ca 1.5 % för låga. För detta korrigeras vid bearbetningen av försöksresultaten. Termoelementets anslutningar i spänningsdelaren utgör referenspunkt - kallt lötställe - för signalerna. Det kalla lötställes temperatur registreras separat med hjälp av ett Cu-Konstantan termoelement med kallt lötställe i en termos med is.

I figurerna .24 cA-cD visas exempel på korrigerade gastemperaturkurvor för respektive brännare. Kurvbladen visar temperaturkurvor motsvarande de fyra undersökta belastningsfallen. Tidaxeln går från vänster mot höger och delningarna motsvarar fyra minuter. Kurvbladen täcker 32 minuters försökstid vilket motsvarar en period vid höglast och låglast. Brännarstart är för dessa kurvor i figurens vänsterkant. Kurvorna för halvlast och normallast är placerade så att brännarstart är i figurens mitt. Man får således för samtliga avbildade försök ny brän-

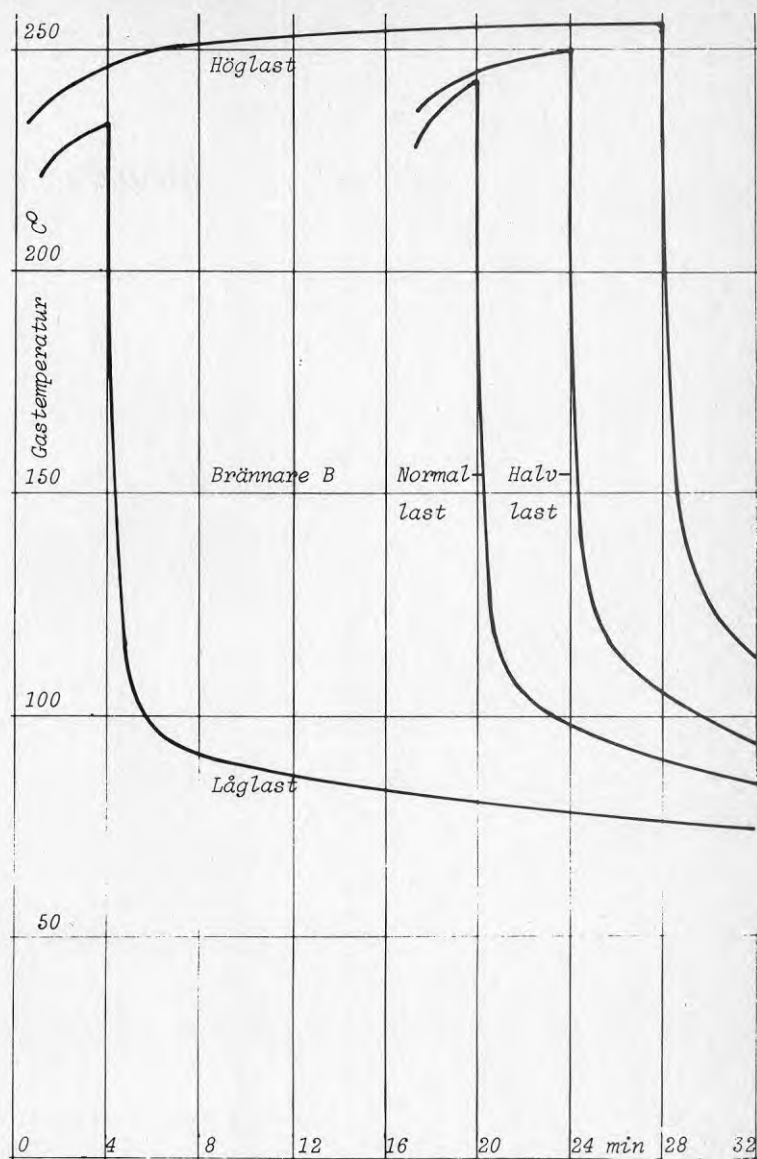


Figur .24 cA. Kurvor över gastemperaturer i olika belastningsfall. Brännare A. Lugnt eller svag vind.

narstart i kurvbladens högerkant. Den valda placeringen av kurvorna syftar till att underlätta jämförelser mellan främst gastemperaturens förlopp i olika försök vid stillestånd hos brännaren. Detta innebär naturligtvis inte att temperaturerna under brännarens gång saknar intresse.

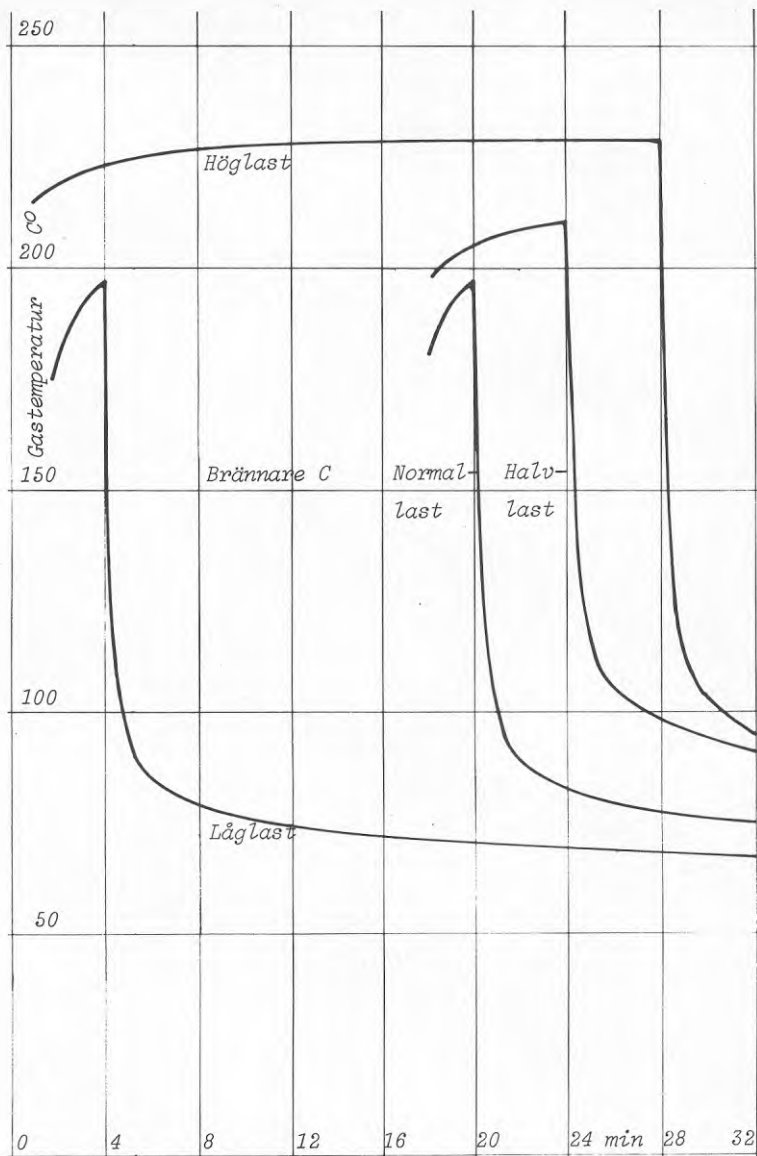
Rökgasttemperaturen uppnår hos samtliga brännare sina högsta värden vid höglastförsöken. I dessa försök planar temperaturkurvan i det närmaste ut när brännaren har gått ca halva tiden. En annan obser-





Figur .24 cB. Kurvor över gastemperaturer i olika belastningsfall. Brännare B. Lugnt eller svag vind.

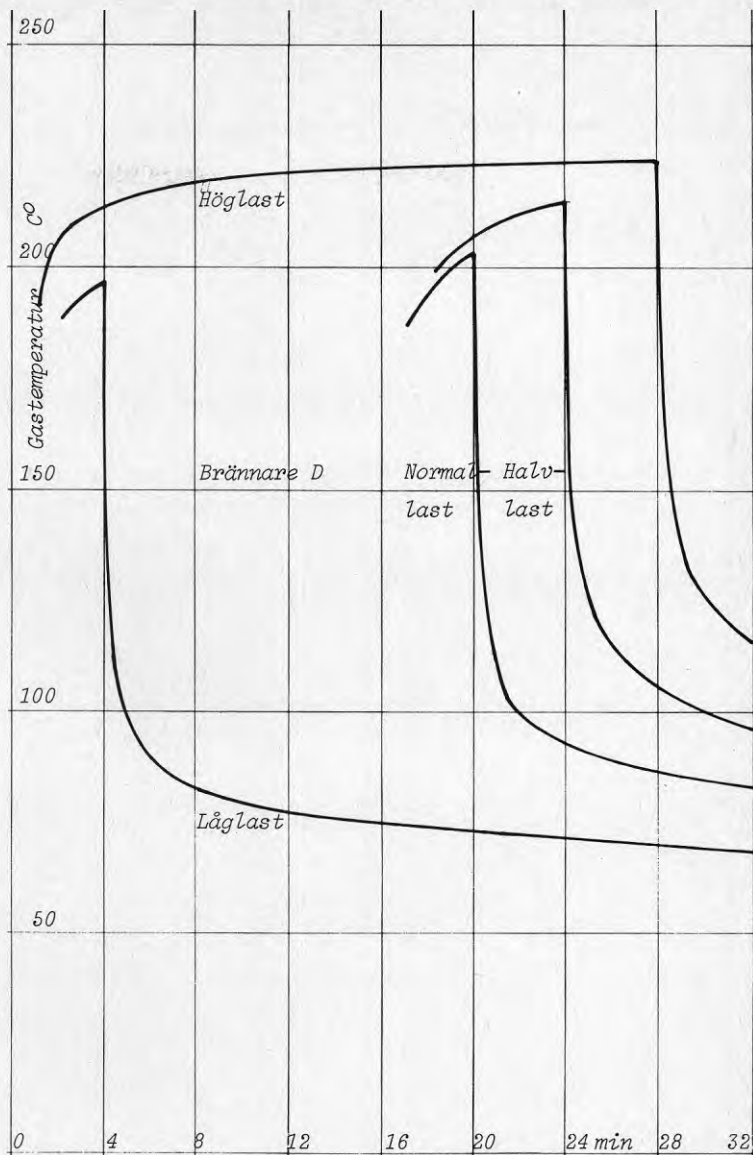
vation är att rökgastemperaturen hos dessa försök ökar snabbare vid start än den gör vid lägre belastningar. Det finns således faktorer hos pannan som kan överföra värme till rökgaserna på ett sätt som är beroende av gångtiden. Det kan exempelvis röra sig om varma luckor och luckramar, den eldfast inklädnaden av pannbotten eller eventuellt rökstosen, spjällinfästningen och rökkanalens anslutning till pannan. Dessa delar har förutsättningar att uppnå höga temperaturer varför värmeavgivning kan ske från dem efter det att brännaren har stannat.



Figur .24 cC. Kurvor över gastemperaturer i olika belastningsfall. Brännare C. Lugnt eller svag vind.

Rökgastemperaturkurvorna från halvlastförsöken ger också intryck av att en utplaning är nära förestående när brännaren stannat. Ser man till ventilationsluftens tempertur hos dessa båda belastningsfall kan man konstatera att den i allt väsentligt är högre än panntemperaturen. Detta förhållande bekräftar att värmeavgivningen från icke vattenkylda delar av pannan kan antas ha väsentlig inflytande på gastemperaturens förlopp vid höga belastningar.

Temperaturkurvorna hos normal- och låglastförsöken



Figur .24 cD. Kurvor över gastemperaturer i olika belastningsfall. Brännare D. Lugnt eller svag vind.

är något annorlunda. Rökgastemperaturen ökar markant helt fram till brännarstopp och ventilationsluftens temperatur är under en längre eller kortare del av stilleståndstiden av samma storleksordning som panntemperaturen. Visuellt bedömt förefaller dock ventilationsluftens medeltemperatur vid normallast vara ungefär 10 Deg C högre än vid låglast. Ovannämnda karakteristiska drag hos temperaturkurvorna indikerar således att pannans vattenkylda ytor inte är ensamma om att påverka gastemperaturen i försöken.

Rökgastemperaturen är högst hos de äldre brännarna och av dessa återigen högst hos brännare B. Skillnad mellan A och B av någon betydelse förekommer närmast vid låglast. Hos de två nya brännarna, C och D, är låglastkurvorna för rökgastemperaturen sammanfallande. Höglastkurvan för C ligger högre än för D medan förhållandet är motsatt för halvlast och normallast. Vid stillestånd är bilden delvis annorlunda.

Inga av de övriga brännarna visar exempel på högre ventilationslufttemperaturer än B, men D-kurvorna i halvlast och höglastförsöken är nästan sammanfallande med motsvarande kurvor hos B. Samtliga D-kurvor ligger högre än motsvarande kurvor hos brännare C. Allmänt sett förefaller således kurvorna osystematiska i olika avseenden.

I det följande redovisas tillvägagångssätt vid bearbetningen av gastemperaturkurvorna och medelmätfelet diskuteras.

I bearbetningen av försöken sättes rökgastemperaturen,  $\theta_g$ , i princip till det senaste registrerade värdet före brännarstopp. Det innebär en tidmässig osäkerhet av 20 sekunder därför att registreringsintervallen är av denna storleken. Ventilationsluftens temperatur,  $\theta_v$ , avläsas halva den nominella stilleståndtiden senare, vilket innebär att även den påverkas av osäkerheten i tiden.

I tabellen nedan har bestämts temperaturtillväxten per 20 sekunder för olika belastningsfall. Varje värde är medeltal av åtta bestämningar.

|   | Höglast | Halvlast | Normallast | Låglast |
|---|---------|----------|------------|---------|
| $\Delta\theta_g(20\text{ s}) \text{ Deg C}$ | -       | .4       | 1.1        | 1.1     |
| $\Delta\theta_v(20\text{ s}) \text{ Deg C}$ | -1.8    | -1.4     | -.6        | -       |

Sannolikhetsfördelningen av felet kan antas vara rektangulär. Variansen blir därför  $(\Delta\theta)^2/12$ .

Medelmätfelet på rökgastemperaturen räknas i enlighet med Rasmussen (1977) vara 3% av temperaturskillnaden mellan rökgas och förbränningsluft. Det är fram för allt stratifieringen av de varma rökgaserna som motiverar ett relativt högt medelmätfelet. Minsta rubbning av termoelementets läge kan innebära flera graders skillnad hos mätresultatet.

Hos ventilationsluften finns inte samma utpräglade temperaturskillnader i gasflödet varför samma - 3% - procentsats tillämpas för  $\theta_v$ .

Med en temperaturskillnad av exempelvis 200 Deg C hos rökgaserna blir variansen vid normallast

$$\text{Var}(\theta_g) = (200 \times 3/100)^2 + 1.1^2/12 \approx 36$$

Man ser att osäkerheten hos tidbestämningen i detta fall saknar betydelse.

För ventilationsluften räknas två exempel nämligen höglast med ca 90 Deg C temperaturskillnad och halvlast ca 80 Deg C.

$$\text{Var}(\theta_p)_{90} = (90 \times 3/100)^2 + 1.8^2/12 = 7.6 \quad (\text{Deg C})^2$$

$$\text{Var}(\theta_p)_{80} = (80 \times 3/100)^2 + 1.4^2/12 = 5.9$$

I dessa fall är osäkerheten hos tidbestämningen inte helt negligerbar.

*Temperaturer hos pannvatten, rumsluft, etc.*

Som redan tidigare nämnt är oljebrännaren tvångsstyrd under försöken. Anpassning av pannbelastningen till tillförd effekt görs därför manuellt. Vid låga belastningar utgör shuntventilen ett lämpligt instrument för detta. Vid högre last hålls shuntventilen öppen och kylning erhålls genom att värmeelement som annars hålls stängda öppnas. Är detta inte tillräckligt får man tillgripa varmvattentappning. Som stöd vid styrningen av värmeavgivningen registreras panntemperaturen i följande tre mätpunkter: i stigareledningen, i returledningen och i panntoppen.

Vattentemperaturerna mäts med Cu-Constantan termoelement av SIFUs tillverkning, Rasmussen (1963). Termoelementen är inbakade i isolermassa och försedda med skyddsror av rostfria kanylror. Tillhörande kalla lötställen är på motsvarande sätt monterade i skyddsror av  $\phi$  5 mm tunnväggiga rostfria rör - sex lötställen i varje rör. Under försöken placeras de kalla lötställen i en termos med is.

Mätningarna av vattentemperaturen i pannan används också till korrigerering av uppmätta gastemperaturer. Korrigeringar görs om temperaturerna i pannan nämnvärt avviker från normala driftbetingelser.

Vid försök med öppen shunt kan panntemperaturen mätas i stigareledningen. Annars får termoelementet i panntoppen användas. Ett problem är då att temperaturen vid panntoppen visar benägenhet att fladdra. Anledningen härtill torde vara att utbyte av vatten sker mellan pannan och expansionsledningen. Det kallare vatten som därmed oregelbundet tillförs panntoppen innebär dykningar hos temperaturmätningarna och därmed givetvis också ökad mätosäkerhet i bestämningen av panntemperaturen. Med hänsyn till nämnda förhållanden har vid försöksbearbetningen endast de högsta registrerade värden - topparna - av vattentemperaturen i panntoppen ansetts representera panntemperaturen.

Ovannämnda konstruktion av Cu-Constantan termoelement har även använts till registrering av rumsluftens temperatur,  $\theta_p$ , Rasmussen (1977). Fyra serie-

kopplade termoelement har utplacerats på olika ställen och olika höjder i pannrummet och summan av termospänningarna registrerats. I praktiken verkar detta arrangemang som ett tänkt termoelement vilket då registreras med mätområdet  $5 \text{ mV}/4 = 1.25 \text{ mV}$ . Ett termoelement har också fästs vid kalla lötstället för gastemperaturmätning.

Bortsett från stigaretemperaturen sker alla ovan nämnda mätningar med Cu-Constantan termoelement med 40 sekunders intervall.

Enligt Rasmussen (1977) är .5 Deg C en rimlig skattning av medelmätfelet hos vattentemperaturmätningarna. I våra försök är intresset främst förknippad med panntemperaturen för vilken mätbetingelserna - såsom framgår av det föregående - inte är idealiska. I det följande tillämpas därför dubbla det nämnda värdet eller 1 Deg C. Samma värde används för rumstemperaturen, Rasmussen (1977). Förekommande osäkerheter i bestämningen av temperaturen hos det kalla lötstället för gastemperaturmätningarna förutsättes ingå i de uttryck för medelmätfelet som angetts i det föregående.

.25 Sammanfattning av mätstorheter och standardavvikelser.

Kalibrering av ventilations- och läckageflöden (.22)

$$\begin{array}{llll} \text{Undertryck, } p \text{ Pa} & s(p) \sim & 1 & \text{Pa} \\ \text{Flöde, } V(p), L(p) & s(V), s(L) \sim & .3 & \text{m}^3/\text{h} \end{array}$$

Bestämning av undertryck i eldstad och vindtryck (.23)

$$\begin{array}{llll} \text{Undertryck i eldstad} & & & \\ \text{lugnt väderlek} & s(p) \sim & 1.3 & \text{Pa} \\ \text{vind} & s(p) \sim & 2 & \text{Pa} \end{array}$$

Gasanalys- och temperaturregistreringar (.24)

$$\begin{array}{llll} \text{Oxygen, } v(O_2) & s(v(O_2)) & .2 & \% O_2 \\ \text{Gastemperaturer, } \theta_g, \theta_v & s(\theta) \sim & 3 & \% \text{ av} \\ & & & (\theta - \theta_r) \\ \text{Pannvattentemperatur, } \theta_P & s(\theta_P) \sim & 1 & \text{Deg C} \\ \text{Rumstemperatur, } \theta_r & s(\theta_r) \sim & 1 & \text{Deg C} \end{array}$$

## .3           UNDERSÖKNINGENS RESULTAT

*Rökgasförluster o d. - Utetemperaturens inverkan på ventilationsförlusterna. - Vindens inverkan på ventilationsförlusterna. -*

## .31           Rökgasförluster o d

Undersökningens mål är att undersöka förhållandena vid stillestånd hos brännaren. I det följande behandlas dock först förhållandena under gång vid försöken.

Tabellen nedan visar oljekapaciteten hos de använda oljebrännarna och de intervall inom vilka de uppmätta rökgasförlusterna har varierat vid utförda normallastförsök ( $i=0.25$ ), lugnt väder eller svag vind och luftförsörjning från norr.

| Brännare  | A        | B        | C       | D        |
|-----------|----------|----------|---------|----------|
| olja kg/h | 2.5      | 2.2      | 2.0     | 2.5      |
| $f_g$ %   | 8.3-10.5 | 9.6-11.6 | 7.6-9.8 | 8.3-11.2 |

Rökgasförluster enligt tabellen är acceptabla. De lägre värdena kan dock innebära risk för kondensation i röckkanalen. Förekommande variationer är inte avsiktliga i undersökningen utan är en följd av att försöken är fältmässiga. Säsongsbetonade variationer hos drag och barometerstånd samt sotbildning och pannsotning är tillsammans med förekommande variationer hos panntemperaturen några exempel på bakomliggande funktionella faktorer. Även för försöken speciella omständigheter såsom brännarbyten, nedmontering av röckkanalanslutning för kalibrering av ventilationsluftflöde och annat utgör bidragande orsaker. Vid brännarbyten skakas sotbeläggningar i brännaruvidet delvis loss så att förbränningsluftflödet vid återmontering är mindre strypt än det var vid avmonteringen. Även viss rubbning av inställningar i samband med montagearbeten kan inte helt uteslutas. Detta gäller både reglaget för förbränningsluften och uttaget för mätning av rökgastemperatur och gasanalys. Nämnade mångfald av faktorer gör det omöjligt att från fall till fall med säkerhet ange vilka som har varit utslagsgivande.

Försöksprotokollen visar god reproducerbarhet hos försök som upprepats inom samma försöksserie och mellan försöksserier med en och samma brännare utförda inom några dagar eller veckor utan mellanliggande montagearbeten, pannsotning eller dylikt. Av speciellt intresse är att de dragvariationer som förekommer inom försöksserierna i samband med ändringar hos luftförsörjningen knappast alls påverkar rökgastemperaturen. De variationer som observerats är inom mätnoggrannheten.

Förbränningsluft  
och läckage

I föregående kapitel visades att bestämningen av rökgasförlusterna är mest tillförlitlig i höglast- och halvlastförsöken där brännarens gångtid är 28 respektive 8 minuter mot endast 4 minuter i normal- och låglastförsöken. För dessa förstnämnda försök har därför gjorts en bearbetning av rökgasanalyserna.

Försöksmaterialet omfattar 18 försöksserier motsvarande 146 brännarperioder vid lugnt väder eller svag vind. För varje period har förbränningsluftflödet,  $L_f$ , beräknats av rökgasens  $O_2$  halt medan läckageluftflödet,  $L_l$ , har beräknats av formeln (.22,a) på grundval av registrerade undertryck i eldstaden respektive rökkanalen.

Materialet har i första hand utnyttjats till att beräkna variansen inom försöksserierna först för det totala luftflödet i försöken och sedan för detta flöde minskat med läckageluftflödet beräknat antingen på grundval av eldstadsundertrycket eller draget i rökkanalen. För varje period har antingen den ena eller den andra av dessa storheter registrerats.

Beräkningsresultaten utgörs av tre varianser nämligen - antalet frihetsgrader betecknas med  $n$

Variansen hos det beräknade luftflödet,  $L_f$

$$V(L_f) = .2872 \quad (m^3/h)^2, \quad n = 127 \quad (.31 a)$$

Variansen hos det beräknade luftflödet minskat med läckaget motsvarande undertrycket i eldstaden,

$$L_{fke} = L_f - L_{le}$$

$$V(L_{fke}) = .0833 \quad (m^3/h)^2, \quad n = 55 \quad (.31 b)$$

Variansen hos det beräknade luftflödet minskat med läckaget motsvarande draget i rökkanalen,

$$L_{fkr} = L_f - L_{lr}$$

$$V(L_{fkr}) = .0989 \quad (m^3/h)^2, \quad n = 54 \quad (.31 c)$$

Beräkningarna är en sammanfattning av resultaten med alla fyra undersökta brännare. Som man kunde vänta är skillnaderna mellan brännarna försumbara i detta sammanhang.

Skillnaden mellan varianserna hos de två korrigerade luftflöden är inte signifikant. Medeltalet är .09 vilket motsvarar standardavvikelsen .3  $m^3/h$  eller samma värde som mätnoggrannheten i försöken (.25). Man ser däremot att variansen hos det totala luftflödet är ungefär tre gånger större. Därav bör man kunna dra slutsatsen att inom försöksserierna förekommande variationer hos  $v(O_2)$  till en betydande del beror på läckaget i pannan.

För att i någon mån belysa denna punkt har samma försöksmaterial behandlats enligt följande.



Frågan gäller brännarnas känslighet för tryckskillnader mellan luftintag och brännarhuvud under gång. Den kan tämligen enkelt besvaras om man har tillgång till lämplig provbänk för flödes- och tryckmätning. Utförda undersökningar är jämförelsevis ett trubbigt verktyg. Det är emellertid vad som står till buds.

Inom varje försöksserie har eldstadstrycket registrerats dels med luftförsörjning från söder dels med balanserat drag. Den genomsnittliga skillnaden mellan tryckvärdena i dessa två fall är 6.6 Pa (14 försök). Motsvarande skillnad hos de korrekterade luftflödena är  $.38 \text{ m}^3/\text{h}$ . Dessa siffror ger som medeltal för brännarna i försöken

$$\frac{dL}{dp} = .38/6.6 = .058 \text{ m}^3/\text{h}/\text{Pa} \quad (.31 d)$$

Medelluftflöde och medelundertryck i eldstaden är vid balanserat drag  $29.4 \text{ m}^3/\text{h}$  respektive 18.1 Pa. Genom att korrigera luftflödet till  $p_e = 0$  kan man eliminera läckagets inverkan och får därvid

$$L_f = 29.4 - 18.1 \times .058 = 28.3 \text{ m}^3/\text{h} \quad (.31 e)$$

I tabellen nedan visas ökningarna av luftflödet för olika värden av undertrycket i eldstaden dels genom brännare,  $\Delta L_{br}$ , dels till följd av pannans läckage,  $L_{le}$ .

| Undertryck<br>i eldstad Pa           | 0 | 10  | 20  | 30  | 40  |
|--------------------------------------|---|-----|-----|-----|-----|
| $\Delta L_{br} \text{ m}^3/\text{h}$ | 0 | .6  | 1.2 | 1.7 | 2.3 |
| $L_{le} \text{ m}^3/\text{h}$        | 0 | 2.1 | 3.3 | 4.4 | 5.3 |

Utan läckage, det vill säga för  $p_e = 0$ , är  $v(\text{CO}_2) = 14.2\%$ . För  $p_e = 40 \text{ Pa}$  ökar lufttillförseln med  $7.6 \text{ m}^3/\text{h}$  enligt tabellen och  $v(\text{CO}_2)$  minskar till 11.1%. Räknar man bort läckageflödet och tänkar sig pannan helt tät får man i stället  $v(\text{CO}_2) = 13.0\%$ , det vill säga en nästan försumbar inverkan av eldstadstrycket på luftflödet och därmed på rökgasförlusterna. När brännarens funktion i så ringa grad påverkas av tryckförändringar i pannan behövs uppenbarligen inget pannspjäll för att reducera draget. Det vore mera angeläget om pannkonstruktionerna kunde göras ordentligt täta.

Rökgastemperaturer  
och luftflöden enl  
Johansson (1982)

Av tidigare nämnda skäl är undersökningens mätresultat inte lämpade för detaljerad analys av variationerna hos  $\text{O}_2$  halt och rökgastemperatur med varierande undertryck i pannan. De samband som finns kan bättre studeras under laboratorieförhållanden. Konsumentverket har låtit utföra dylika provningar vid Statens Provningsanstalt. Den senaste av dessa

Johansson (1982), har redan återopats i avsnitt (.22) ovan. Där visades en matris med resultat av ventilations- och läckagemätningar för fyra pannor och sex brännare - varje panna provad med två olika brännare.

Matrisen nedan redovisar rökgasmätningar från samma undersökning. Den är uppbyggd analogt med den tidigare matrisen och visar  $v(CO_2)$  och  $\theta_g$  vid undertryck i eldstaden lika med noll respektive 40 Pa.

|          | $v(CO_2) \%$<br>$\theta_g \text{ } ^\circ\text{C}$ | Panna    |                      |                      |                      |
|----------|--|----------|----------------------|----------------------|----------------------|
|          |  | $\alpha$ | $\beta$              | $\gamma$             | $\delta$             |
| Brännare |  |          |                      |                      |                      |
| E        | 12.6- 8.5<br>179-182                               |          |                      |                      |                      |
| F        | 11.3- 7.9<br>196-199                               |          |                      | 11.7- 9.5<br>217-239 |                      |
| G        |  |          | 11.2- 9.0<br>149-168 |                      |                      |
| H        |  |          | 12.3- 9.9<br>160-172 |                      |                      |
| I        |  |          |                      | 14.5-11.5<br>196-226 | 13.1-10.1<br>166-176 |
| K        |  |          |                      |                      | 11.9- 9.2<br>183-190 |

De provade pannorna visar exempel på mycket olika beteende vad gäller rökgasttemperaturen. Hos pannan  $\alpha$  som är en CTC 265K ökar rökgasttemperaturen med endast 3 Deg C hos bägge de provade brännarna. Då pannan i våra undersökningar också är en CTC 265 kan man anta att de två pannorna - trots ålderskillnaden - har många gemensamma drag. I varje fall skulle detta kunna förklara att ingen signifikant påverkan av rökgasttemperaturen kan beläggas i undersökningen vid de dragvariationer som förekommit inom försöksserierna. Man får därvid också uppmärksamma att dragvariationerna i undersökningen inte uppgår till 40 Pa. Den andra ytterligheten utgörs av pannan  $\gamma$  som med brännare I har en temperaturökning på 30 Deg C och med F på 22 Deg C - de två högsta noteringar som finns i matrisen.

Minskningarna av  $v(CO_2)$  varierar också mellan olika pannor och mellan olika kombinationer av pannor och brännare. De är dock alla beaktansvärda. Procentvärdena och skillnaderna mellan dem är emellertid svåra att direkt jämföra. Viss minskning av  $v(CO_2)$ , exempelvis med två procentenheter har mindre betydelse om utgångsvärdet är högt, säg 13 %, än om det är lägre, säg 9 %. Se tabellen på nästa sida

där rökgasförlusterna har beräknats för en temperaturskillnad mellan rökgaser och rumsluft på 200 Deg C och olika värden av  $v(CO_2)$ .

|                |     |      |      |      |
|----------------|-----|------|------|------|
| $v(CO_2)$ %    | 13  | 11   | 9    | 7    |
| $f_g$ %        | 9.1 | 10.5 | 12.5 | 15.7 |
| $\Delta f_g$ % |     | 1.4  | 2.0  | 3.2  |

Vid behandlingen av undersökningens egna resultat enligt ovan grundades diskussionen på förekommande förbränningsluft- och läckageflöden. För att få bättre överblick över innebörden av matrisens  $v(CO_2)$  värden har även dessa omräknats till luftflöden i tabellen nedan. Erforderliga siffervärden för tillförd effekt vilka enligt Johansson (1982) angetts i kW för respektive fullastförsök har omräknats till kg olja per timme genom multiplikation med faktorn .08406. Förbränningsluftflödena har sedan beräknats enligt Rasmussen (1963).

| Undertryck i panna |              | 40 Pa          |                 | 0 Pa           |                 |                                     | 40 Pa                  |
|--------------------|--------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|-------------------------------------|------------------------|
| Panna/<br>Brännare | Olja<br>kg/h | $v(CO_2)$<br>% | Luft<br>$m^3/h$ | $v(CO_2)$<br>% | Luft<br>$m^3/h$ | $\Delta$ Luft<br>$m^3/h$<br>(4)-(6) | Läckage<br>$m^3/h$ (%) |
| 1                  | 2            | 3              | 4               | 5              | 6               | 7                                   | 8                      |
| $\alpha E$         | 2.196        | 8.45           | 43.44           | 12.60          | 29.66           | 13.78                               | 10.7 (78)              |
| $\alpha F$         | 2.243        | 8.00           | 46.78           | 11.35          | 33.45           | 13.33                               |                        |
| $\beta G$          | 2.489        | 9.00           | 46.34           | 11.20          | 37.60           | 8.74                                | 4.8 (56)               |
| $\beta H$          | 2.560        | 9.90           | 43.50           | 12.40          | 35.11           | 8.39                                |                        |
| $\gamma F$         | 2.105        | 9.50           | 37.21           | 11.70          | 30.50           | 6.71                                | 4.8 (74)               |
| $\gamma I$         | 2.125        | 11.55          | 31.17           | 14.60          | 24.98           | 6.19                                |                        |
| $\delta I$         | 1.958        | 10.05          | 32.80           | 13.10          | 25.49           | 7.31                                | 12.6 (-)               |
| $\delta K$         | 1.961        | 9.20           | 35.75           | 11.90          | 27.96           | 7.79                                |                        |
| Medel, ej $\delta$ |              |                |                 |                |                 | 9.52                                | 6.77 (71)              |

Resultaten av flödesberäkningarna finns i tabellens kolumn (7) och utgör skillnaden,  $\Delta$  Luft, mellan förbränningsluftflödet vid 40 Pa undertryck i pannan och flödet vid 0 Pa. Luftflödet ökar dels genom att brännarfläkten får arbeta mot ett mindre tryck och dels på grund av läckage i pannan. Läckageflödena bestämdes i avsnitt .22 och finns här angivna i kolumn (8). I parentes anges läckageflödet i procent av den totala flödesökningen (7).

Pannan  $\delta$  skiljer sig från övriga genom att det beräknade läckageflödet enligt (8) är större än den totala flödesökningen enligt (7). Detta bör av tekniska skäl inte kunna förekomma i verkligheten. För övriga tre pannor är läckageflödet i medeltal 71 % av flödesökningen.

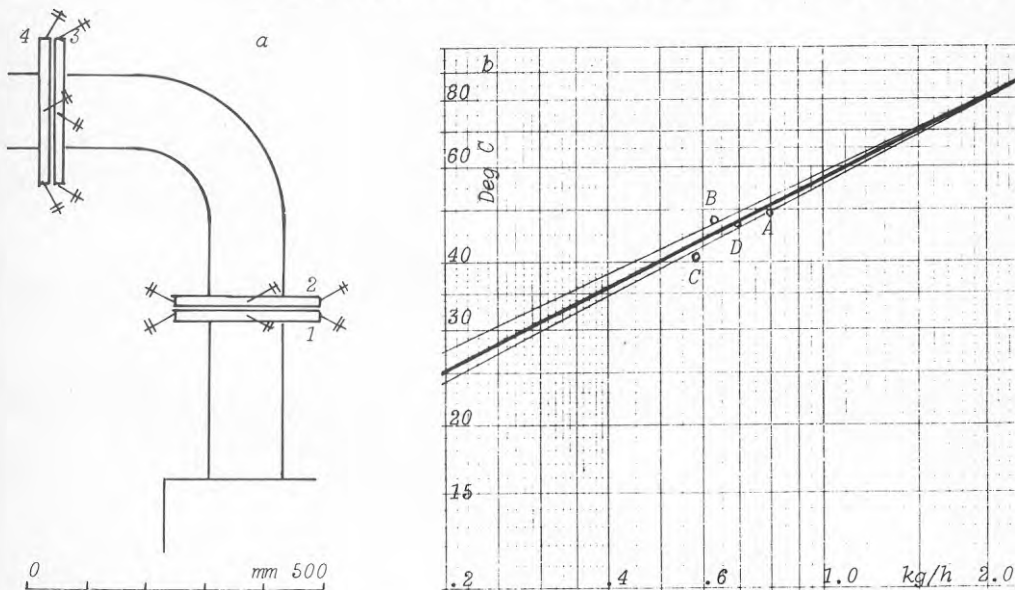
Hos försöksanläggningen är den mot (7) svarande siffran i medeltal - enligt beräkningarna ovan -  $2.3 + 5.3 = 7.6 \text{ m}^3/\text{h}$ . Procentsiffran är  $100 \times 5.3 / 7.6 = 70\%$ . Överensstämmelsen är således - med nämnda undantag - god mellan de båda undersökningarna och slutsatserna enligt ovan beträffande önskvärdenheten av täta pannor har blivit ytterligare underbyggda.

Yttemperaturer hos  
röckkanal mm

Vid bearbetningen av uppmätta rökgastemperaturer har approximativ korrigering gjorts för varierande panntemperaturer enligt uttrycket

$$d\theta_g = .5 \times d\theta_p \quad (.31 f)$$

Det stod redan tidigt i undersökningen klart att rökgastemperaturmätningarna kunde bli ett problem. Tidigare nämnda mätningar av yttemperaturer på rökkanalen kan därför delvis ses som ett försök att skapa redundans i observationerna. Mätningarna saknar således en självständig roll i den teoretiska modell som legat till grund för projektets planering. Figuren (.31 a) visar de tolv mätställena. Föreliggande försöksmaterial omfattar 61 försöks-



Figur .31 a. Rökkanalanslutning med rörböj och flänsar samt mätställena för yttemperaturer. 25 mm mineralullsisolering av rörböjen visas inte i figuren.

Figur .31 b. Korrelation av medeltemperaturskillnad mellan rökkanalyta,  $\bar{\theta}_y$ , och rumstemperatur,  $\bar{\theta}_r$ , mot respektive oljeflöde i 61 försöksserier. Oljeflödet har varierat inom hela det intervall - ca 1 dekad - som medtagit i figuren. Okulärt bedömt finns inga påtagliga skillnader mellan värdena för brännarna A, C och D medan försöken med brännare B gett något högre temperaturer - visat med tunna streck. För varje brännare anges det geometriska medelvärdet av respektive observationer. Den tjocka linjen avser korrelation av samtliga 61 observationspar.

serier. Mätning har gjorts en gång i varje serie (.22). I en enkel korrelationsanalys (Figur .31 b) har medelvärdet av alla tolv mätpunkter,  $\bar{\theta}_y$ , minskat med rumstemperaturen,  $\theta_r$ , jämförts med olje-flödet,  $Q_{Br}$  kg/h, i respektive försöksserie. Bearbetningen har gjorts i log-log skala. Korrelationskoefficienten,  $r$ , och linjens lutning,  $\alpha$ , bestämdes för samtliga observationspar till

$$r = .98097 \quad \text{respektive}$$

$$\alpha = .49987 \sim .5$$

Med temperaturskillnaden  $\Delta\bar{\theta}_y = \bar{\theta}_y - \theta_r$  är

$$\Delta\bar{\theta}_y = 55.5 \times Q_{Br}^5 \quad \text{och} \quad (.31 g)$$

$$s(\Delta\bar{\theta}_y) = 5 \%$$

Mätpunkterna för brännarna A, C och D tillhör oku- lärt bedömt samma mängd medan punkterna för bränna- ren B ligger lite högre och uppvisar en obetydligt lägre lutning.

Försöksunderlaget är tämligen jämnt fördelat över den dekad som figur .31 b omfattar, korrelationen är tillfredsställande och medelmätfelet, ca 1-4 Deg C, torde vara acceptabelt.

Rumstemperaturen har varierat mellan ca 24 och ca 31 C°. De högsta värdena har påträffats vid försök under den varma årstiden. Man kan grovt säga att hälften av variationerna hos rumstemperaturen kan hänföras till pannbelastningen och hälften till ute- temperaturen.

Ekvationen (.31 g) innebär att undersökningen till- förts ett kvantitativt mått på de termiska driv- krafter som genom rökgaserna tillförs skorstenen, ett mått som har den fördel med sig att det är obe- roende av traditionella rökgasmätningar.

I tabellen nedan anges för varje brännare medelbe- lastningen i försöken,  $\bar{Q}_{Br}$ , samt medeltemperaturer- na för var och en av flänserna 1-4 enligt fig .31 a.

|                            | A    | B    | C    | D    | Medel |
|----------------------------|------|------|------|------|-------|
| $\bar{Q}_{Br}$ kg/h        | .941 | .764 | .708 | .820 | .808  |
| $\bar{\theta}_y(1)$ C°     | 85.2 | 83.3 | 75.4 | 83.8 | 81.9  |
| $\bar{\theta}_y(2)$ C°     | 86.6 | 85.2 | 76.2 | 84.2 | 83.1  |
| $\bar{\theta}_y(3)$ C°     | 75.2 | 73.3 | 66.2 | 71.9 | 71.8  |
| $\bar{\theta}_y(4)$ C°     | 68.4 | 68.3 | 61.9 | 68.0 | 66.6  |
| $\bar{\theta}_y$ C°        | 78.9 | 77.5 | 69.9 | 77.0 | 75.8  |
| $\bar{\theta}_r$ C°        | 27.7 | 28.2 | 26.7 | 28.0 | 27.6  |
| $\Delta\bar{\theta}$ Deg C | 51.2 | 49.3 | 43.2 | 49.0 | 48.2  |

Medellasten,  $Q_{Br}$ , är högst för brännare A. Därefter följer i fallande ordning brännarna D, B och C. Nämnade ordningsföljd överensstämmer med kurvbladet, figur .31 b, medan däremot själva värdena i figuren - vilka är geometriska medelvärden - är lägre än tabellens aritmetiska medelvärden. Samma förhållande gäller medeltemperaturskillnaderna.

Jämförelse mellan temperaturvärdena visar endast små skillnader mellan brännarna A, B och D, medan brännare C ligger lägre än dessa med ungefär 6.5 Deg C eller ca 13 % av  $\Delta\theta$ . Med hänsyn till att både B och C har lägre oljekapacitet än A och D - 12 respektive 20 % - kunde man förvänta att även Bs temperaturvärden skulle ha varit lägre. Att de inte är det torde bero på att den lägre kapaciteten hos B har kompensats av större procentuella rökgasförluster och därmed större värmeinhåll i rökgaserna. Hos C är däremot både brännarkapacitet och rökgasförluster lägre än hos övriga brännare.

I tabellen redovisas medeltemperaturer hos de enskilda flänsarna nr 1-4 vilka förut behandlats i klump. Från pannan mot skorstenen varierar medeltemperaturerna enligt följande - differenser anges i parentes

| Fläns nr   | 1    | 2           | 3           | 4          |
|------------|------|-------------|-------------|------------|
| $^{\circ}$ | 81.9 | (-1.2) 83.1 | (11.3) 71.8 | (5.2) 66.6 |

Flänsarna 2 och 3 tillhörande rörböjen är båda varmare än respektive motflänsar 1 och 4. Skillnaden mellan 1 och 2 är ringa men såsom framgår av kolumnerna för de enskilda brännarna ändå fullt entydig. Mellan 3 och 4 uppgår skillnaden till ca 10 % av  $\Delta\theta$ . Skillnaderna tyder på att pakningsmaterialet begränsar värmeutbytet mellan sammanhörande flänsar.

Något försök till beräkning av värmeflödet från rökgaserna genom rökkanalens vägg till pannrummet har inte gjorts i projektet. Uppmätta temperaturer hos ventilationsluften skiljer sig rätt lite från yttemperaturerna enligt ovan. Värmeavgivningen från rökkanalerna måste därför i allt väsentligt ske till pannrummet.

.32 Ventilationsförluster och utetemperaturens inverkan på dessa.

Såsom tidigare nämnt bestäms ventilationsförlusterna av luftflödet genom anläggningen vid stillestånd och den temperaturhöjning som sker hos luften. Den fråga som det följande i första hand syfter till att besvara är huruvida ventilationsförlusterna är beaktansvärda och hur stora de är. Andra frågor av intresse gäller förlusternas variation med

- o pannbelastningen
- o yttre klimatfaktorer
- o olika undersökta brännare samt
- o olika luftförsörjningssätt

I detta avsnitt behandlas i tur och ordning observationer av ventilationsluftens temperatur,  $\theta_v$ , undertrycket i pannan,  $p_e$ , och beräknade ventilationsförluster,  $f_v$ . Behandlingen avser lugna väderleksförhållanden. Tills vidare bortses således från vindens inverkan.

Ventilationsluftens temperatur,  $\theta_v$ .

Temperaturen hos ventilationsluften ökar med pannans belastning, brännarens intermittensgrad. Den ökar också med pannans temperatur,  $\theta_p$ . Det är troligt att temperaturen hos ventilationsluften även påverkas av pannrumstemperaturen,  $\theta_r$ , vilken inom undersökningen har varierat mellan ca 24 och 31 °C. Dylig inverkan skymms emellertid av andra faktorer bl a mätosäkerheten. Den behandlas därför inte här.

På grund av undersökningarnas delvis fältmässiga karaktär har panntemperaturen varierat mellan ca 65 och 85 °C. För att göra olika försök mera jämförbara omräknas uppmätta värden av  $\theta_v$  till att motsvara  $\theta_p = 75$  °C. Korrelationen mellan  $\theta_v$  och  $\theta_p$  har bestämts utifrån temperatur skillnader som funnits inom försöksserierna. Beräkningarna har underlättats av att  $\theta_v$  inte kännbart påverkas av de mindre variationer hos undertrycket i pannan som förkommit inom dessa. Genom att enbart räkna med korrelationen inom varje serie - totalt 70 - har störningar av olika slag i allt väsentligt kunnat elimineras. För försöksmaterialet som helhet har funnits

$$\frac{d\theta_v}{d\theta_p} = .555 \quad (.32 a)$$

Huvuddragen i beräkningsresultaten har sammanfattats i tabellen nedan. För varje brännare och varje nominellt belastningsfall finns en ruta i tabellen som innehåller följande sex uppgifter

$\bar{\theta}_v(75)$  Korrelationskoefficienten,  $r$   
 Antal observationer,  $n_o$ ,  $d\theta_v/d\theta_p$   
 Antal frihetsgrader,  $n_f$ , Standardavvikelsen,  $s(\theta_v)$  Deg C

Standardavvikelserna avser variationer av  $\theta_v$  inom försöksserierna.

| Brännare  | A          | B          | C          | D          | Medel      |
|---|------------|------------|------------|------------|------------|
| $\bar{\theta}_v(75), r$<br>$no, \quad d\theta_v/d\theta_p$<br>$nf, \quad s(\theta_v)$ |            |            |            |            |            |
| Belastning  |            |            |            |            |            |
| Låglast   | 76.8 .867  | 76.6 .891  | 70.2 .957  | 74.1 .902  | 74.4 .919  |
| $i = 1/8$   | 31 .557    | 32 .616    | 40 .586    | 40 .573    | 143 .583   |
|   | 27 1.2     | 28 1.1     | 35 1.0     | 35 1.1     | 125 1.1    |
| Normallast  | 87.1 .651  | 88.6 .671  | 79.7 .919  | 86.7 .906  | 85.5 .865  |
| $i = 1/4$   | 48 .519    | 39 .457    | 56 .558    | 50 .533    | 193 .532   |
|   | 42 1.5     | 34 2.0     | 49 1.1     | 44 1.1     | 169 1.2    |
| Halvlast  | 103.1 .551 | 102.7 .913 | 94.7 .694  | 103.9 .547 | 101.1 .663 |
| $i = 1/2$   | 48 .469    | 40 .848    | 49 .493    | 48 .385    | 185 .523   |
|   | 42 1.6     | 35 .9      | 43 1.2     | 42 1.5     | 162 1.4    |
| Höglast   | 115.4 .950 | 120.1 .904 | 106.4 .636 | 120.2 .807 | 115.5 .831 |
| $i = 7/8$   | 8 .564     | 8 .747     | 16 .718    | 8 .706     | 40 .629    |
|   | 7 1.5      | 7 .9       | 14 1.5     | 7 1.1      | 35 1.2     |
| Medel   | 95.6 .734  | 97.0 .897  | 87.8 .897  | 96.2 .834  | 94.1 .843  |
|   | 135 .531   | 119 .653   | 161 .568   | 146 .525   | 561 .555   |
|   | 118 1.5    | 104 .9     | 141 1.1    | 128 1.3    | 491 1.2    |

Tabellen enligt ovan omfattar dels fyra kolumner för de undersökta brännarna och fyra rader motsvarande de nominella belastningsnivåerna. En extra kolumn i tabellens högerkant innehåller medelvärden för varje belastningssteg och en femte nedre rad omfattar medelvärden av samtliga observationer uppdelade på brännare. Rutan i skärningspunkten mellan dessa ger medelvärden beräknade på samtliga försök (561). Antalet frihetsgrader är försöksantalet minskat med antalet försöksserier (70). Genom kvadrering av korrelationskoefficienten  $.843^2 = .710$  ser man att 71 % av variansen hos  $\theta_v$  inom försöksserierna kan förklaras av variationer hos  $\theta_p$ .

Värdet av  $d\theta_v/d\theta_p = .555$  bör kunna tillämpas generellt för den undersökta pannan med brännarna A-D. Standardavvikelsen på detta medelvärde har med hjälp av de sexton enskilda värdena i tabellen skattats till .03. Något tydligt mönster i variationerna mellan tabellvärdena går inte att urskilja.

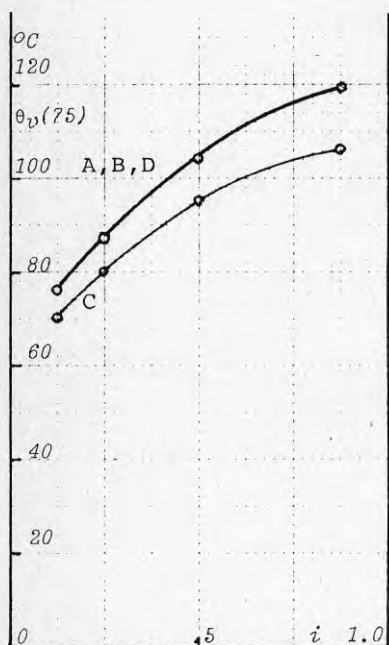
Medelvärdena i nedre raden indikerar att  $\bar{\theta}_v(75)$  för brännarna A, B och D är nästan identiska, medeltal  $96.3^\circ\text{C}$ , medan värdet för brännare C är betydligt lägre ( $87.8^\circ\text{C}$ ). Samma trend återfinns i de olika belastningsfallen varför skillnaden mellan C och de övriga brännarna torde vara signifikant.

Mest frapperande är att ventilationsluften uppnår så höga temperaturer jämfört med panntemperaturen. I



låglastförsöken är ventilationsluftens temperatur nästan identisk med panntemperaturen men redan vid normallast är den i medeltal ca 10 Deg C högre. Halvlast och höglast innebär ytterligare kliv uppåt motsvarande ca 15 Deg C vardera. En del av förklaringen härtill kan lämpligen sökas i det förhållande att pannan vid brännarstopp är fylld med heta rökgaser vilka blandas med ventilationsluften och bidrar till att höja blandningens temperatur. Denna effekt kan i synnerhet påräknas vid höglastförsöken i vilka stilleståndstiden endast är fyra minuter. Med hänsyn till att O<sub>2</sub>-procenten ökar snabbt efter brännarstopp måste inblandningen av rökgaser minska i betydelse efter relativt kort tid. Mest troligt är därför att extra temperaturhöjning sker genom kontakt med icke vattenkylda delar i pannans bakre del och i rökkanalen mellan pannan och sonden för temperaturmätning och rökgasanalys.

Yttemperaturmätningarna enligt föregående avsnitt visade att fläsen nr 1 närmast pannan är kallare än motfläsen, nr 2. Detta kan naturligt ha samband med värmeavgivning från rökgasstos mm till ventilationsluften under stillestånd.



Temperaturen hos ventilationsluften ökar med intermittensgraden men ökningen är starkare för låga än för höga värden. Av denna anledning har polynomier av andra grad anpassats till de omräknade temperaturobservationerna ( $\theta_p = 75 \text{ C}^\circ$ ). Beräkningarna har gjorts dels för brännarna A, B och D gemensamt (50 värden) dels för brännare C (20 värden). Kurvorna som visas i figur .32 a tillsammans med medelvärdena för  $i = (1/8, 1/4, 1/2 \text{ och } 7/8)$  har följande form

A, B, D:

$$\begin{aligned}\theta_v(75) &= 64.1 + 102 \times i - 45.4 \times i^2 \\ &= 121.4 - 45.4 \times (i - 1.123)^2\end{aligned}\quad (.32 b)$$

C:

$$\begin{aligned}\theta_v(75) &= 59.2 + 93.7 \times i - 45.4 \times i^2 \\ &= 107.5 - 45.4 \times (i - 1.032)^2\end{aligned}\quad (.32 c)$$

Kurvorna framställer kongruenta parabler. De kan således fås att täcka varandra

Figur .32 a. Ventilationslufttemperaturen,  $\theta_v(75)$ , som funktion av intermittensgraden,  $i$ . Den tjockt dragna kurvan är gemensam för brännarna A, B och D medan den tunna kurvan motsvarar brännare C. Båda kurvor är andragrads polynomier anpassade till försöksvärdena efter omräkning till panntemperaturen  $\theta_p = 75 \text{ C}^\circ$ . Beräkningarna visar att krökningen är den samma för båda kurvorna. Detta innebär att de kan fås att täcka varandra genom en translation. Förflyttningsvektorn som visats utanför figurens högre ram förbinder topppunkterna hos respektive parabler.

genom en parallell förflyttning. Detta har åskådliggjorts i figuren genom att respektive toppunkter - utanför högre ramen - har förbundets med en vektor som anger den förflyttning det är frågan om.

Standardavvikelsen av  $\theta_v(75)$  relativt kurvorna har beräknats till 2.1 Deg C vilket värde väsentligt överstiger det som beräknats enligt tabellen ovan (1.2 Deg C). Skillnaden är att tabellvärdet avsåg variationer inom försöksserierna och därmed s a s var begränsad till korta tidförlopp - högst ca 6 timmar. Det nya värdet har inga dylika begränsningar utan inkluderar alla förekommande klimatvariationer, pannsotningar, etc.

I det följande används beteckningen " $\theta_v$ " synonymt med  $\theta_v(75)$ . Om inte annat sägs i det enskilda fallet avses således ventilationsluftens temperatur motsvarande en panntemperatur av 75 C°. Uttrycket (.32 a) används nedan till omräkning av ventilationsluftens temperatur vid beräkning av ventilationsförluster i undersökningen. Formlerna (.32 b och c) kan tillämpas vid överslagsberäkningar.

*Undertryck i pannans eldstad*

Undertrycket i pannan vid stillestånd styr ventilationsflödet genom eldningsanläggningen. Undertrycket alstras i princip av densitetsskillnader mellan den omgivande atmosfären och varma gaser respektive varm ventilationsluft i anläggningens rökkanal. Med åtta meter skorstenshöjd över luftintaget, normal barometerstånd, 0 C° utetemperatur och gastemperatur 75 C° såsom genomsnitt i rökkanalen kan drivtrycket beräknas till

$$8.0 \times 9.81 \times 1.295 \times (1 - 273/348) = 21.4 \text{ Pa}$$

Vid 1 Deg C minskning av utetemperaturen respektive ökning av gastemperaturen ökar drivtrycket med .080 respektive .063 Pa. Kalkylen kan ge en uppfattning om storleksordningen hos de tryck som skall diskuteras i detta avsnitt. Korrelationen mellan eldstadsundertrycket och pannbelastningen respektive utetemperaturen undersöks i det följande. Underlaget för beräkningarna utgörs av de försök som utförts i lugnt väder eller svag vind. Vindens inverkan behandlas inte i detta avsnitt.

Förutom pannbelastningen/intermittensgraden och utetemperaturen har ytterligare två faktorer varierats nämligen oljebrännaren (4) och luftförsörjnings-sättet (3). Detta innebär att 12 olika kombinationer skall undersökas och jämföras.

Det har övervägts att på något sätt korrigera uppmätta undertryck i eldstaden med avseende på variationer hos panntemperaturen enligt ovan. Detta har emellertid inte utförts främst därför att eventuella korrektionsled bör avse medeltemperaturen i rökkanalen vilken sannolikt varierar mindre än de uppmätta

gastemperaturerna omedelbart efter pannan. Tanken faller på att det saknas detaljerad kunskap om värmeavgivningen till skorstensstocken och gastemperaturerna upp igenom skorstenen. Några effekter av variationer hos panntemperaturen på draget i pannan har inte märkts av i själva försöken. Man kan bl a därför anta att de är försumbara.

Första steget i försöksbearbetningen går ut på att med minsta kvadraters metod bestämma följande uttryck för alla tolv ovannämnda fall

$$p(i, \theta_u) = p(0, 0) + \alpha \times i + \beta \times \theta_u \quad (.32 d)$$

I ett andra steg skall sedan undersökas om dessa uttryck kan förenklas genom att observationsgrupperna sammanförs. Meningen är att därigenom få fram ett mindre antal mera allmängiltiga och överblickbara ekvationer.

En intuitiv bedömning säger oss att de olika luftförsörjningssätten och byten av brännare närmast bör påverka  $p(0, 0)$  och  $\beta$ . Intermittensens bidrag till undertrycket, representerat av  $\alpha$ , skulle däremot snarare kunna tänkas vara gemensamt för ett flertal försöksomständigheter. Beräkningsmetodikerna enligt nedan syftar till att enklast möjligt kunna pröva denna hypotes.

Konstanten,  $p(0, 0)$ , i (.32 d) bestäms av

$$\bar{p}(i, \theta_u) = p(0, 0) + \alpha \times \bar{i} + \beta \times \bar{\theta}_u \quad (.32 e)$$

Genom att införa följande beteckningar i (.32 d)

$$\begin{aligned} \xi &= i - \bar{i} \\ \eta &= p - \bar{p} \\ \zeta &= \theta_u - \bar{\theta}_u \end{aligned} \quad (.32 f)$$

kan man eliminera  $p(0, 0)$  och får därvid

$$\eta = \alpha \times \xi + \beta \times \zeta \quad (.32 g)$$

Derivering av kvadratuttrycket (.32 h) nedan ger två ekvationer (.32 i, k) till bestämning av  $\alpha$  och  $\beta$ .

$$\Sigma(\eta - \alpha \times \xi - \beta \times \zeta)^2 \quad (.32 h)$$

$$\frac{\delta}{\delta \alpha} = 0 = \Sigma \eta \xi - \alpha \times \Sigma \xi^2 - \beta \times \Sigma \xi \zeta \quad (.32 i)$$

$$\frac{\delta}{\delta \beta} = 0 = \Sigma \eta \zeta - \alpha \times \Sigma \xi \zeta - \beta \times \Sigma \zeta^2 \quad (.32 k)$$

Ekvationen (.32 k) lösas m h t  $\beta$  och hjälputtrycken

$$A = - \frac{\Sigma \eta \zeta}{\Sigma \zeta^2} \quad \text{och} \quad B = - \frac{\Sigma \xi \zeta}{\Sigma \zeta^2}$$

införs varvid man får

$$\beta = \alpha \times B - A \quad (.32 l)$$

som insättes i (.32 i) vilken därefter lösas med hänsyn till  $\alpha$

$$\alpha = \frac{\Sigma \eta \xi + A \times \Sigma \xi \xi \zeta}{\Sigma \xi^2 + B \times \Sigma \xi \xi \zeta} \quad (= C/D) \quad (.32 m)$$

Sammanfattningsvis har vi nu definierat följande fyra hjälputtryck

| A   | B  | C   | D  |
|---|--|---|--|
| $-\frac{\Sigma \eta \zeta}{\Sigma \zeta^2}$ | $-\frac{\Sigma \xi \zeta}{\Sigma \zeta^2}$ | $\Sigma \eta \xi + A \times \Sigma \xi \xi \zeta$ | $\Sigma \xi^2 + B \times \Sigma \xi \xi \zeta$ |
|   |  |   | (.32 n)  |

Fördelarna med att använda hjälputtrycken - i stället för att räkna traditionellt med determinanter - visar sig när man vill sammanföra ett antal observationsgrupper. Man kan till exempel beräkna ett gemensamt  $\alpha$ -värde för en brännarens tre luftförsörjningsfall enligt följande

$$\alpha = \frac{C_N + C_S + C_{BD}}{D_N + D_S + D_{BD}} \quad (.32 o)$$

De nya  $\beta$ -värdena beräknas därefter av (.32 l) på vanligt sätt.  $p(0,0)$  beräknas av (.32 e).

Värdet av den minimerade kvadratsumman - residualen - är

$$\Sigma \Sigma \eta^2 - \alpha \times \Sigma \Sigma \eta \xi - \Sigma (\beta \times \Sigma \eta \zeta) \quad (.32 p)$$

Denna kan man dels jämföra med  $\Sigma \Sigma \eta^2$  dels dividera med antalet frihetsgrader,  $nf$ , och således få fram variansen,  $V(p)$ , av trycket i pannen.

Beräkningarna av de tolv försöksgrupperna har sammanfattats i tabellen på motstående sida. Brännarna är ordnade i alfabetisk följd uppifrån och ner. Inom varje brännargrupp finns försök med luftförsörjning från norr, N, överst. Därefter följer försök med luft från söder, S, respektive balanserat drag, BD. Inom varje grupp finns 20 data uppgifter i två rader. Några av dessa är mellanresultat. I översta raden följer efter gruppens identifikation först  $i$ ,  $\theta_u$ ,  $C^0$  och  $p_e$  Pa. Därefter kommer sex kvadrat- eller produktsummor nämligen:  $\Sigma \xi^2$ ,  $\Sigma \zeta^2$ ,  $\Sigma \eta^2$ ,  $\Sigma \eta \xi$ ,  $\Sigma \eta \zeta$  och  $\Sigma \xi \xi \zeta$ . I andra raden finns först de fyra hjälputtrycken: A, B, C och D och sedan  $\alpha$ ,  $\beta$  samt residualen och slutligen antalet observationer,  $n_o$ , antalet frihetsgrader,  $nf$ , samt beräknad standardavvikelse,  $s(p)$ , hos trycket i pannen. Bortsett från observationer från enskilda försök kan store delar av beräkningarna rekonstrueras utifrån tabellens uppgifter.

| Brännare<br>/Luft | Intemitt<br>z | Uttemp<br>$\theta_w, \text{C}$ | Tryck<br>pe, Pa | $\Sigma \xi^2$ | $\Sigma \xi^2$<br>Deg C <sup>2</sup> | $\Sigma \eta^2$<br>Pa <sup>2</sup> | Residual<br>Pa <sup>2</sup> | $\Sigma \xi$<br>Pa | $\Sigma \eta$<br>DegC $\times$ Pa | $\Sigma \xi \xi$<br>DegC |
|-------------------|---------------|--------------------------------|-----------------|----------------|--------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|--------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| A<br>Pa/DegC      | B<br>1/DegC   | C<br>Pa                        | D               | $\alpha$<br>Pa | $\beta$<br>Pa/DegC                   | $\text{Pa}^2$                      | Residual<br>Pa <sup>2</sup> | no                 | nf                                | s(p)<br>Pa               |
| (0)               | (1)           | (2)                            | (3)             | (4)            | (5)                                  | (6)                                | (6)                         | (7)                | (8)                               | (9)                      |
| A/N               | .378          | 3.05                           | 20.92           | 1.0804         | 2433.5                               | 444.47                             | 444.47                      | 13.656             | -855.12                           | -9.553                   |
| .35140            | .003926       | 10.2990                        | 1.0429          | 9.875          | -.3126                               | 42.28                              | 42.28                       | 22                 | 19                                | 1.5                      |
| A/S               | .378          | 2.09                           | 23.16           | .5402          | 799.41                               | 193.99                             | 193.99                      | 6.171              | -305.36                           | -2.892                   |
| .38199            | .003605       | 5.0697                         | .52982          | 9.569          | -.3475                               | 28.83                              | 28.83                       | 11                 | 8                                 | 1.9                      |
| A/BD              | .378          | 2.09                           | 15.35           | .5402          | 867.91                               | 122.85                             | 122.85                      | 7.116              | -138.45                           | -3.267                   |
| .16138            | .003808       | 6.5895                         | .52777          | 12.49          | -.1138                               | 18.23                              | 18.23                       | 11                 | 8                                 | 1.5                      |
| B/N               | .431          | -.61                           | 23.62           | .6905          | 802.59                               | 181.04                             | 181.04                      | 9.119              | 244.02                            | -5.115                   |
| .30404            | .006373       | 7.5633                         | .65795          | 11.50          | -.2308                               | 19.91                              | 19.91                       | 14                 | 11                                | 1.4                      |
| B/S               | .431          | -.79                           | 25.54           | .3451          | 337.93                               | 84.34                              | 84.34                       | 4.084              | -120.26                           | -2.626                   |
| .37364            | .007771       | 3.7106                         | .32464          | 11.43          | -.2848                               | 1.69                               | 1.69                        | 7                  | 4                                 | .7                       |
| B/BD              | .336          | 4.11                           | 14.14           | .4854          | 1152.89                              | 150.62                             | 150.62                      | 7.951              | -357.14                           | -15.465                  |
| .30978            | .013414       | 3.1601                         | .27795          | 11.37          | -.1572                               | 4.06                               | 4.06                        | 9                  | 6                                 | .8                       |
| C/N               | .423          | 10.02                          | 17.59           | 1.0661         | 2811.74                              | 858.15                             | 858.15                      | 21.583             | -1325.74                          | -21.717                  |
| .47150            | .007724       | 11.3437                        | .89836          | 12.63          | -.3740                               | 89.82                              | 89.82                       | 22                 | 19                                | 2.2                      |
| C/S               | .413          | 9.67                           | 19.04           | .4091          | 1356.00                              | 426.18                             | 426.18                      | 9.086              | -654.47                           | -9.329                   |
| .48265            | .006880       | 4.5835                         | .34495          | 13.287         | -.3912                               | 49.41                              | 49.41                       | 9                  | 6                                 | 2.9                      |
| C/BD              | .405          | 10.82                          | 13.33           | .4340          | 1343.14                              | 150.44                             | 150.44                      | 6.568              | -339.70                           | -9.159                   |
| .25291            | .006819       | 4.2515                         | .37159          | 11.440         | -.1749                               | 15.90                              | 15.90                       | 11                 | 8                                 | 1.4                      |
| D/N               | .352          | 13.43                          | 17.12           | 1.0776         | 3284.85                              | 662.57                             | 662.57                      | 20.030             | -1109.42                          | -11.425                  |
| .33743            | .003478       | 16.1750                        | 1.0378          | 15.586         | -.2832                               | 36.45                              | 36.45                       | 27                 | 24                                | 1.2                      |
| D/S               | .356          | 13.89                          | 18.39           | .5353          | 1472.58                              | 451.24                             | 451.24                      | 12.079             | -572.22                           | -4.905                   |
| .38859            | .003331       | 10.1726                        | .51899          | 19.601         | -.3233                               | 29.49                              | 29.49                       | 13                 | 10                                | 1.7                      |
| D/BD              | .359          | 13.70                          | 13.49           | .5623          | 1698.90                              | 204.42                             | 204.42                      | 9.929              | -263.81                           | -4.697                   |
| .15228            | .002765       | 9.2004                         | .54930          | 16.746         | -.1090                               | 9.36                               | 9.36                        | 15                 | 12                                | .9                       |

För överskådliggihetens skull redovisas resultatdelen separat i en mindre tabell nedan. Först dock några kommentarer till stora tabellen. Medelintermittensen,  $\bar{i}$ , varierar mellan ca .35 och .43. Båda värdena är högre än vad som är vanligt förekommande i verkliga villapannor. Anledningen till de höga värdena är undersökningens inslag av halvlast- och höglastförsök vilka återigen är motiverade av undersökningens ambition att bidra till en empirisk matematisk modell av ventilationsförlusterna. Denna måste då verifieras inom hela intermittensintervallet.

Medelutetemperaturen,  $\theta_u$ , varierar mera, nämligen mellan ca -1 och +13 C°. Variationen visar att svårigheter funnits att med alla brännarna få till stånd försök vid extrema utetemperaturer. Förhållandet kan tyvärr tänkas innebära systematiska skillnader hos de ekvationer som härledds av försöken.

Både residualen och kvadratsumman av  $p_e - \bar{p}_e$ ,  $\Sigma \eta^2$ , är uttryck för försökens tillförlitlighet. Höga värden hos kvadratsumman indikerar att försöken väl täcker förekommande variationsområde medan låga värden hos residualen visar att det beräknade uttrycket enligt ekvationen (.32 d) utgör en god approximation av de observerade värdena. Sanninghalten i dessa värden beror sen av försökens representativitet. I några fall uppgår residualen till 15-20 % av kvadratsumman. Man bör då realistiskt uppmärksamma riskerna för instabilitet i beräkningarna.

I resultattabellen nedan är ordningsföljden och försöksbeteckningarna de samma som i den förra tabellen. Kolumnerna 1-3 innehåller  $p(0,0)$ ,  $\alpha$  och  $\beta$  - ekvation (.32 d). Därefter följer residualen dels i Pa<sup>2</sup> dels i procent av  $\Sigma \eta^2$  och slutligen den beräknade standardavvikelsen,  $s(p)$  hos trycket i pannan.

| Brännare<br>/luft | $p(0,0)$<br>Pa | $\alpha$<br>Pa | $\beta$<br>Pa/DegC | Residual<br>Pa <sup>2</sup> | %    | $s(p)$<br>Pa |
|-------------------|----------------|----------------|--------------------|-----------------------------|------|--------------|
| 0                 | 1              | 2              | 3                  | 4                           | 5    | 6            |
| A/N               | 18.1           | 9.88           | -.313              | 42.3                        | 9.5  | 1.5          |
| A/S               | 20.3           | 9.57           | -.348              | 28.8                        | 14.9 | 1.9          |
| A/BD              | 10.9           | 12.49          | -.114              | 18.2                        | 14.8 | 1.5          |
| B/N               | 18.5           | 11.50          | -.231              | 19.9                        | 11.0 | 1.4          |
| B/S               | 20.4           | 11.43          | -.285              | 1.7                         | 2.0  | .7           |
| B/BD              | 11.0           | 11.37          | -.157              | 4.1                         | 2.7  | .8           |
| C/N               | 16.0           | 12.63          | -.374              | 89.8                        | 10.5 | 2.2          |
| C/S               | 17.3           | 13.29          | -.391              | 49.4                        | 11.6 | 2.9          |
| C/BD              | 10.6           | 11.44          | -.175              | 15.9                        | 10.6 | 1.4          |
| D/N               | 15.4           | 15.59          | -.283              | 36.5                        | 5.5  | 1.2          |
| D/S               | 15.9           | 19.60          | -.323              | 29.5                        | 6.5  | 1.7          |
| D/BD              | 9.0            | 16.75          | -.109              | 9.4                         | 4.6  | .9           |

Det framgår av tabellen att både  $p(0,0)$  och  $\beta$  antar sina numeriskt största värden vid luftförsörjning från söder och de minsta vid balanserat drag. Variationerna mellan brännarna är mindre och visar inte upp någon enhetlig trend. Variationerna hos  $\alpha$  är relativt stora men saknar också de någon trend.

I tabellen nedan - analog med den förre - har studerats effekterna på siffermaterialet av det antagande att belastningens/intermittensens inverkan på trycket i pannan är oberoende av luftförsörjningssättet. Man ser att ökningarna hos residualen i det närmaste är försumbara. Variationerna mellan brännarna visar fortfarande ingen trend medan de skillnader som nämndes ovan beroende på luftförsörjningen står sig

| Brännare<br>/luft | $p(0,0)$<br>Pa | $\alpha$<br>Pa | $\beta$<br>Pa/DegC | Residual<br>Pa <sup>2</sup> % |      | $s(p)$<br>Pa |
|-------------------|----------------|----------------|--------------------|-------------------------------|------|--------------|
| 0                 | 1              | 2              | 3                  | 4                             | 5    | 6            |
| A/N               | 17.9           |                | -.310              |                               |      |              |
| A/S               | 19.9           | 10.45          | -.344              | 92.3                          | 12.1 | 1.6          |
| A/BD              | 11.7           |                | -.122              | (89.3)                        |      |              |
| B/N               | 18.4           |                | -.231              |                               |      |              |
| B/S               | 20.3           | 11.45          | -.282              | 27.5                          | 6.6  | .9           |
| B/BD              | 10.8           |                | -.152              | (25.7)                        |      |              |
| C/N               | 16.1           |                | -.375              |                               |      |              |
| C/S               | 17.7           | 12.50          | -.397              | 155.7                         | 10.8 | 2.1          |
| C/BD              | 10.1           |                | -.168              | (155.1)                       |      |              |
| D/N               | 14.9           |                | -.279              |                               |      |              |
| D/S               | 17.0           | 16.88          | -.332              | 80.9                          | 6.1  | 1.3          |
| D/BD              | 8.9            |                | -.109              | (75.3)                        |      |              |

Undersökningarna enligt ovan väcker misstanke om att det kanske inte finns nämnvärda systematiska skillnader mellan brännarna vad beträffar draget i pannans eldstad.

Uttrycket nedan har beräknats för alla brännarna gemensamt. Residualen har därvid ökat med 46 % från 345.4 till 526.2. Det är således uppenbart att den gjorda förenklingen inneburet mera våld mot observationsmaterialet än de som gjorts i det föregående. Bilden mildras något av att den kvadratsumma som residualen bör jämföras med också ökat, nämligen med 22 % från 3930 till 4791. I förhållande till respektive kvadratsumma har residualen endast ökat från 9 till 11 %. Standardavvikelsen har beräknats till 1.8 Pa och är därmed ungefär i nivå med tidigare resultat.

Författaren bedömar att hypotesen enligt ovan är godtagbar och att fördelarna med att kunna komprimera observationsmaterialet till ett enkelt formelkomplex (.32 q) uppvägar eventuella nackdelar.

$$\left. \begin{array}{l} N \\ S \\ BD \end{array} \right\} p = \left\{ \begin{array}{l} 16.7 \\ 18.7 \\ 10.3 \end{array} \right\} + 13.1 \times i + \left\{ \begin{array}{l} -.33 \\ -.37 \\ -.14 \end{array} \right\} \times \theta_u \quad (.32 \text{ } q)$$

Uttrycket (.32, q) gäller således approximativt för alla de undersökta brännarna. Skillnaderna mellan de olika luftförsörjningsalternativen finns kvar efter den kompression av datamängden från försöken som genomförts i det föregående. En diskussion av dessa skillnader kan därför vara på sin plats. Varför har försök egentligen gjorts med olika luftförsörjning? - Vad beror resultat skillnaderna på? - Skillnaderna är delvis ganska små till exempel är de mellan N och S av samma storlek som standardavvikelsen. Är det då rimligt att fasthålla att de ändå är signifikanta? -

Svaret på den sista frågan är att dessa blygsamma skillnader återkommit i samtliga försök. I inga fall har funnits lägre värden för S än för N. Därför kan man inte nollställa dem med statistiska argument.

Utvidgningen av försöksplanen till att omfatta varierande luftförsörjning hade inte förutsetts från början. Den kom till stånd för att öka möjligheterna att studera vindens inflytande i projektet. Fastigheten är endast vindexponerad från söder. Därför var det angeläget att kunna ta in förbränningsluften från söder i vindförsöken. Då borde givetvis också försök i lugnt väder finnas som jämförelse.

Försöken med balanserat drag togs med därför att praktiska förutsättningar i form av en evakueringskanal fanns till hands. Balanserat drag i andra utföranden har använts för att eliminera vindstörningar hos till ex fotogenkaminer. Kombinationen fanns därför värd att pröva så mycket mera som det kunde göras utan särskilda åthävor.

De konstaterade skillnaderna mellan N och S utgör ca 10 % både vad gäller  $p(0,0)$  och  $\beta$ . Två förklaringar - eventuellt samverkande - kan tänkas till skillnaderna. Luften från söder tas in genom en dörrspringa medan den från norr kommer in igenom det befintliga luftintaget med galler. Gallret kan innebära ett strömningsmotstånd som inte har någon motsvarighet i dörrspringan. Luftintaget är också placerat i takhöjd i pannrummet således att termiska skillnader mellan gaserna i rökkanalen och uteluftens endast är fullt verksamma för åtta meter av skorstenhöjden. Motsvarande höjd mätt från mitten av dörrspringan mot söder är ca 1 m eller ca 10 % större. Utförda mätningar innebär inga möjligheter att skilja på effekterna av nämnda faktorer.

Analogt med det föregående bidrar strömningsmotstånd i luftkanalen vid balanserat drag till att



minska draget i pannan. Dessutom värms luften upp vid kontakten med kanalväggarna - i varje fall vid låga utetemperaturer - varvid det termiska draget motverkas. Skillnaden i  $p(0,0)$  mellan N och BD motsvarar i medeltal ca 17 DegC temperaturhöjning hos luften i kanalen.

Det är intressant att skillnaden hos beräknade undertryck enligt (.32, q) minskar vid högre utetemperaturer. Vid  $\theta_u = 35 C^{\circ}$  får man således  $p(0,0) = 5.15, 5.75$  och  $5.4 Pa$  för N, S och BD respektive. Det vill säga praktiskt taget identiska värden.

#### Beräkning av ventilationsförlusterna

I det föregående har empiriska modeller utvecklats för beräkning av de faktorer som bestämmer försöksanläggningens ventilationsförluster vid lugna väderleksförhållanden. Nedan följer en sammanfattning av formelapparaten.

Ventilationsflödet bestäms av undertrycket i pannan. Trycket är beroende av belastningen,  $i$ , utetemperaturen,  $\theta_u$ , och luftförsörjningen enligt uttrycket

$$\left. \begin{array}{l} N \\ S \\ BD \end{array} \right\} p = \left\{ \begin{array}{l} 16.7 \\ 18.7 \\ 10.3 \end{array} \right\} + 13.1 \times i - \left\{ \begin{array}{l} .33 \\ .37 \\ .14 \end{array} \right\} \times \theta_u \quad (.32, q)$$

gällande för alla de undersökta brännarna.

Ventilationsflödena,  $V$ , beräknas av formeln (.22, a)  $L$  är läckagedelen av flödet.

$$V = V_{40} \times (p/40)^{n_V} \quad m^3/h \quad L = L_{40} \times (p/40)^{n_L} \quad (.22, a)$$

$V_{40}$  och  $L_{40}$  motsvarar respektive flöden vid 40 Pa undertryck i pannan. Storheterna varierar mellan brännarna enligt tabellen nedan

| Brännare        | A    | B    | C    | D    | Läckage     |
|-----------------|------|------|------|------|-------------|
| $V_{40}/L_{40}$ | 19.2 | 19.6 | 13.0 | 13.6 | 5.3 $m^3/h$ |
| $n_V/n_L$       | .58  | .60  | .65  | .66  | .68         |

Ventilationsluftens temperatur,  $\theta_v$ , varierar med pannbelastningen,  $i$ , enligt (.32, b och c).

Brännarna A, B och D

$$\theta_v = 64.1 + 102 \times i - 45.4 \times i^2 \quad (.32, b)$$

och brännare C

$$\theta_v = 59.2 + 93.7 \times i - 45.4 \times i^2 \quad (.32, c)$$

Uttrycken enligt ovan motsvarar 75  $C^{\circ}$  panntemperatur. Vid annan panntemperatur omräknas enligt (.32, a) nedan

$$d\theta_v/d\theta_p = .555 \quad (.32, a)$$

Ventilationsförlusterna per hel timme,  $F'$ , beräknas av

$$F^s = .36 \times V \times (\theta_v - \theta_p) \quad W \quad (.32, r)$$

där  $\theta_p$ , °C är rumstemperaturen. I medeltal för alla försök har rumstemperaturen varit 27 °C. I beräkningarna nedan räknas emellertid endast med  $\theta_p = 24$  °C. Meningen med att göra ett avdrag på 3 DegC är att schablonmässigt kompensera för den onormala värmeförlust till pannrummet som skett i undersökningen genom alla elektriska mätinstrument m m.

Då ventilationsförlusterna endast förekommer vid stillestånd hos brännaren är de verkliga förlusterna,  $F$ , mindre än  $F'$

$$F = F^s \times (1-i) \quad W \quad (.32, s)$$

Ventilationsförlusterna enligt formlerna ovan har beräknats för varje brännare, luftförsörjningsalternativen N, S och BD, utetemperaturerna  $\theta_u = (-10, 0, +10$  °C) samt intermittensgraden  $i = (0, .1, .3, .5, .7, .9, 1.0)$ . Båda extremvärdena för  $i$ ,  $i = 0$  och  $i = 1.0$ , saknar dock verklighetsanknytning.

Figur .32 b visar  $F'$  och  $F$  vid  $\theta_u = 0$  och luftförsörjning från norr för brännarna B och C hos vilka ventilationsförlusterna är störst respektive minst.

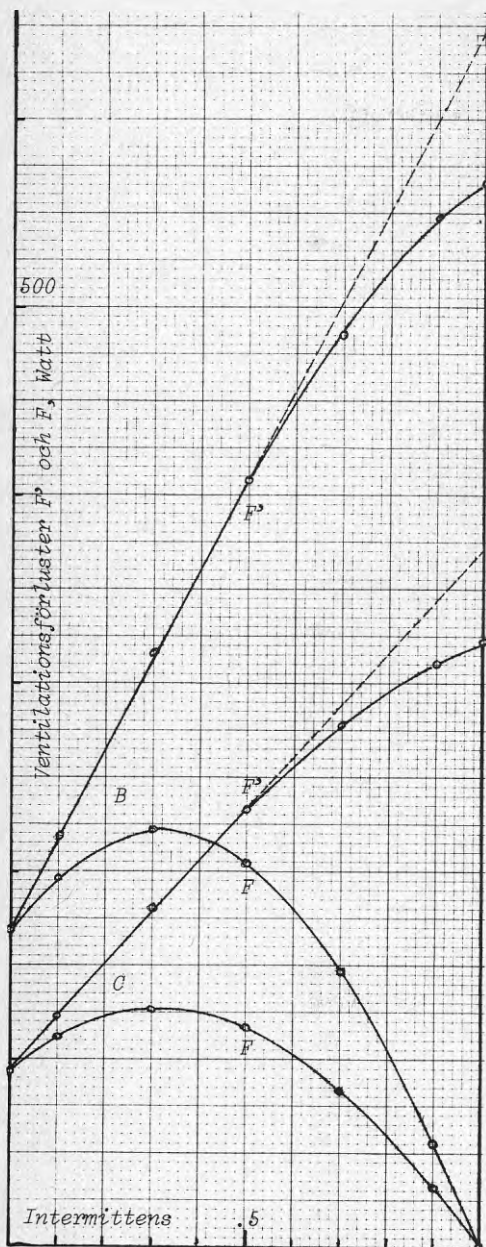
Kurvorna för  $F'$  är praktiskt taget linjära för  $i = (0, .5)$  - det vill säga det område som har betydelse i verkligheten. Man kan därför utan noggrannhetsförlust uttrycka  $F'$  och  $F$  enligt nedan

$$F^s = F^s(0) + \alpha \times i \quad \text{och} \quad F = (F(0) + \alpha \times i)(1 - i) \quad (.32, t)$$

$$\text{där} \quad \alpha = (F^s(.5) - F^s(0))/.5 \quad W$$

I matrisen nedan anges beräknade värden för  $F'(0)$  och  $\alpha$ . Varje ruta innehåller värden motsvarande  $\theta_u = (-10, 0, +10$  °C) uppifrån och ner.

| $\theta_u = \begin{cases} -10 \\ 0 \\ 10 \end{cases}$ | A                                | B                                | C                                  | D                                |
|---|----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
|   | N                                | 185, 500<br>167, 472<br>147, 444 | 187, 508<br>*168, 478*<br>147, 448 | 105, 298<br>*93, 280*<br>81, 260 |
| S   | 198, 520<br>178, 490<br>157, 458 | 200, 528<br>179, 492<br>157, 464 | 113, 310<br>100, 292<br>87, 270    | 134, 364<br>119, 340<br>163, 314 |
| BD  | 139, 432<br>129, 420<br>119, 408 | 138, 438<br>128, 426<br>118, 412 | 76, 252<br>70, 244<br>64, 236      | 89, 296<br>82, 286<br>75, 274    |



De två exempel som visas i figur .32, b har i matrisen inramats med asterisker. Ventilationsförlusterna för brännarna A och B enligt matrisen är i det närmaste identiska. Vill man beräkna förlusterna i procent för visst värde av intermittensen blir de dock högre för brännare B p g a att oljeflödet är mindre hos denna brännare. Jämför man i stället vid samma värmeuttag hos pannan blir förlusterna kanske lite lägre.

Ventilationsförlusterna hos brännare C är 40-45 % lägre än hos B. Brännare D ger lite större förluster än C för samma intermittens. Vid lika värmeuttag torde de vara tämligen jämspelta. Hos alla brännarna svarar emellertid läckaget i pannan för 30-40 % av ventilationsluftflödet och därmed troligen för en lika stor del av förlusterna.

Formler och siffror enligt den empiriska modell som åstadkommit kan lätt ge en falsk bild av noggrannheten. Man kan glömma bort att de uttryck som härleds ur försöksmaterialet alla är approximativa. Betydelsen av detta redovisas i det följande.

Försöken i lugnt väder/svag vind omfattar 171 sätt av sammanhörande observationer. För alla dessa har ventilationsförlusterna,  $F'$ , beräknats dels på grundval av formlerna dels direkt av mätresultaten. Jämförelser har därefter gjorts för  $p_e$ ,  $\theta_v$  och  $F'$ . Medeltalen av alla försöken skiljar sig inte nämnvärd (.1 Pa, .2 DegC resp .6 W) däremot är medelmätfelen/ standardavvikelsen - bestämt av avvikelsernas kvadratsummor - inte negligierbara, nämligen 2 Pa, 3.2 DegC respektive 17 W. Slutsatsen är att en förenklad modell har sitt pris. Standardavvikelsen utgör 7 %

Figur .32 b. Exempel på ventilationsförluster per hel timme,  $F'$ , och förlusterna,  $F$ , omräknade med hänsyn till den relativa stilleståndstiden enligt ekvationen (.32, s). Kurvorna avser brännarna B och C hos vilka förlusterna är störst respektive minst i undersökningen. Beräkningsförutsättningarna är: lufttillförsel från norr genom det ordinarie luftintaget, lugnt väder eller svag vind samt nollgradigt. Kurvorna för  $F'$  är mycket nära räta linjer inom intervallet  $i = (0, .5)$  vilket är det för verkliga förhållanden väsentliga området.  $F'$ -kurvorna kan därför approximeras med de prickade linjerna varvid  $F$ -kurvorna blir parabler.

av ventilationsförlusternas medelvärde. Med hänsyn till att förlusterna är relativt små innebär detta knappast större fel än vad man ofta får tolerera vid bestämningen av andra förlustdata hos pannor.

För de enskilda brännarna har funnits följande:

De beräknade undertrycken är hos brännare C i genomsnitt mera än 1 Pa större än försöksvärdena. Övriga medeltryckskillnader understiger 1 Pa.

Beräknade ventilationslufttemperaturer är hos brännare A i medeltal ca 1 DegC högre än försöksvärdena, hos B är skillnaden också ca 1 DegC men med motsatt tecken. Övriga avvikelser understiger 1 DegC.

Hos brännarna A och C är de beräknade ventilationsförluster större än de uppmätta - ca 6.5 W - medan förhållandet är det motsatta hos B och D (ca 5.5 W).

Det är intressant att de skillnader mellan brännarna som nämnts ovan förstärks när man går till originalobservationerna. Approximationerna i modellen har således en utjämnande effekt.

Jämförelserna mellan modellen och försöken i lugnt väder eller svag vind används också i den diskussion som följer i nästa avsnitt angående vindens inverkan på ventilationsförlusterna.

## .33 Vindens inverkan på ventilationsförlusterna

I detta avsnitt är försöken med luftintag från söder av särskilt intresse. S-försöken innebär simulering av det fritt belägna vindomsusta husets problem. Försöksfastigheten är vindexponerad från söder men väl skyddad från andra håll. För fastigheter i allmänhet finns det således ingen anledning att fästa särskild uppmärksamhet vid vind från söder. Det har slumpat sig så att just i Tullinge är söder dominerande vindriktning i varje fall på vintern. Vad gäller andra fastigheter måste man beakta deras individuella läge och vindförhållandena på just den platsen.

Diskussionen nedan begränsas till att gälla vindens inverkan på undertrycket i pannan. Det är fullt tänkbart att försök med någon annan panna skulle ha inneburit att även ventilationsluftens temperatur kunde uppvisa vindbetingade variationer. I föreliggande undersökning finns dock inget belägg för sådana.

Till vindförsöken har i undersökningen räknats de försök i vilka de registrerade tryckkurvorna varit uppenbart annorlunda än kurvor som registrerats under lugna förhållanden. Exempel på uppmätta tryckkurvor för brännarna A-D har visats i figurerna .23, f-i i avsnitt .23. Den följande diskussionen knyter an till dessa figurer.

Kurvorna .23, f-i, visar tryckförhållandena över försöksfastigheten (.23, f) och i pannans eldstad vid normallastförsök och lufttillförsel från söder, (.23, g), från norr, (.23, h), och vid balanserat drag, (.23, i). Typiska skillnader finns mellan kurvorna för de olika brännarna. Hos A och C har vinden angripit fastigheten i det närmaste frontalt från söder jämfört med B och D hos vilka vinden träffat fastigheten mera snett. De till kurvorna för B och C hörande försöken är utvalda för diskussionen nedan. Denna omfattar även låglastförsök och halvlastförsök som utförts vid samma försökstillfälle och samma väderleksförhållanden.

I tabellen nedan har samlats tryck- och vindmätningar (medeltryck) för brännare C under ca 12 timmars försök under en dag. Tabellen omfattar 12 kolumner numrerade 0-11. Kolumnen 0 innehåller identifikation av försöksomständigheterna. Mätresultaten är ordnade i tidföljd uppifrån och ner. Värdena i kolumnerna 1-10 avser olika tryck och är alla uttryckta i Pa. De första sex avser undertryck i pannan. Av dessa gäller 1-3 medelvärdet av undertrycket i pannans eldstad vid stillestånd under de försök det är frågan om och avser luftförsörjning från norr (1), söder (2) respektive balanserat drag (3). Kolumnerna 4-6 anger på analogt sätt hur mycket de uppmätta tryckvärdena överstigar beräknade tryck mot-

svarande lugnt väder men annars identiska försöksomständigheter,  $\Delta p_e$ .

I kolumnerna 7-10 karakteriseras vindtrycket på olika sätt. Kolumn 7 avser uppmätta medeltryckskillnader mellan husets fasader åt norr och söder och kolumn 8 beräknade vindtryck motsvarande vindhastigheter registrerade med vindmätare monterad på husets skorsten ca 10 m över marken åt söder. De registrerade vindhastigheterna är medelvärden över 10 minuters perioder. Övriga kolumner 9-11 avser vindobservationer vid F18 i Tullinge.

Kolumnen nr 9 utgör en bearbetning av kontinuerligt registrerade vindhastigheter - pappershastighet 60 mm/h - och motsvarar även de medelvärden för 10 minuters perioder. Kolumnerna 10 och 11 utgör utdrag av synopobservationer vid F18. Vindhastigheten noteras varje timme och anges i multipler av 5 km/h

Vindförsök med brännare C, figur .23, fC-iC. Tryck i Pa.

| Observationer | Undertryck i eldstad |            |      |      |                   |     | Vind över huset | Vind över taket | Observationer, F 18 |                    |                     |
|---------------|----------------------|------------|------|------|-------------------|-----|-----------------|-----------------|---------------------|--------------------|---------------------|
|               | N                    | $p_e$<br>S | BD   | N    | $\Delta p_e$<br>S | BD  |                 |                 | Reg                 | Synopobs.<br>Tryck | Rikt <sup>n</sup> . |
| (0)           | (1)                  | (2)        | (3)  | (4)  | (5)               | (6) | (7)             | (8)             | (9)                 | (10)               | (11)                |
| Vind          |                      |            |      |      |                   |     | 8.1             | 10              | 40                  | 20                 | 150                 |
| Låglast       | N                    | 14.3       |      | .5   |                   |     |                 |                 |                     |                    |                     |
|               | S                    |            | 28.5 |      | 14.0              |     |                 |                 |                     |                    |                     |
|               | BD                   |            |      | 11.4 |                   | 1.9 | 17.7            | 15              | 22                  | 30                 | 170                 |
| N             | 15.5                 |            |      | 3.2  |                   |     |                 |                 |                     |                    |                     |
| Vind          |                      |            |      |      |                   |     | 16.2            | 30              | 40                  | 30                 | 180                 |
| Normallast    | N                    | 16.4       |      | 2.1  |                   |     |                 |                 |                     |                    |                     |
|               | S                    |            | 36.2 |      | 20.1              |     |                 |                 |                     |                    |                     |
|               | BD                   |            |      | 12.3 |                   | .9  | 12.1            | 22              | 22                  | 20                 | 200                 |
| N             | 17.1                 |            |      | 1.9  |                   |     |                 |                 |                     |                    |                     |
| Vind          |                      |            |      |      |                   |     | 5.4             | 15              | 22                  | 20                 | 180                 |
| Halvlast      | N                    | 18.9       |      | 1.0  |                   |     |                 |                 |                     |                    |                     |
|               | S                    |            | 27.4 |      | 8.1               |     |                 |                 |                     |                    |                     |
|               | BD                   |            |      | 13.8 |                   | -.6 | 4.9             | 10              | 10                  | 20                 | 180                 |
| N             | 18.1                 |            |      | -.1  |                   |     |                 |                 |                     |                    |                     |
| Vind          |                      |            |      |      |                   |     | 3.2             | 3               | 10                  | 5                  | 170                 |
| Medelvärden   |                      |            |      |      |                   |     |                 |                 |                     |                    |                     |
| N             | 16.7                 |            |      | 1.4  |                   |     | 10.3            | 16.4            | 23.5                | 22                 |                     |
| S             |                      | 30.7       |      |      | 14.1              |     | 10.7            | 17.0            | 26                  | 23                 | 175                 |
| BD            |                      |            | 12.5 |      |                   | .7  | 9.9             | 15.8            | 21                  | 21                 |                     |

respektive knop (10) medan vindriktningen (11) anges i multipler av  $10^0$  från 0/360 som är norr, 90 som står för ost, etc.

I kolumnerna 7-10 som anger vindtryck har i varje försök, för jämförelse, tagits de två värden av trycket som "inramar" respektive försök. Sedan har medeltalet av "ramvärdena" beräknats. På så sätt har medelvärdena för N, S och BD blivit olika.

Vindriktningen (11) har svängt under försöken från ungefär SSE till SSW och sedermera delvis åter mot SSE. Vindstyrkan har ökat efter att försöken påbörjats och toppat under slutet av låglastserien och början av normallastserien. Ser man till medelvärdena av vindmätningarna från F 18 är överensstämmelsen god mellan registrerade mätvärden och synop-observationer. Icke överraskande har vindmätningarna vid försöksfastigheten gett lägre värden. Vindmätareavläsningarna i försöken innebär 25-35 % lägre vindtryck och därmed 15-20 % lägre vindhastighet än hos F 18.

Även i försöken med brännare B enligt figur .23, fB-iB för vilka motsvarande observationer visas i tabellen nedan finns god överensstämmelse mellan de värden som erhållits från F 18.

Vindförsök med brännare B, figur .23, fB-iB. Tryck i Pa.

|             | Observationer | Undertryck i eldstad |      |      |              |     |     | Vind över huset | Vind över taket | Observationer, F 18 |           |      |
|-------------|---------------|----------------------|------|------|--------------|-----|-----|-----------------|-----------------|---------------------|-----------|------|
|             |               | $p_e$                |      |      | $\Delta p_e$ |     |     |                 |                 | Reg                 | Synopobs. |      |
|             | N             | S                    | BD   | N    | S            | BD  |     |                 | Tryck           | Riktn.              |           |      |
|             | (0)           | (1)                  | (2)  | (3)  | (4)          | (5) | (6) | (7)             | (8)             | (9)                 | (10)      | (11) |
| Låglast     | Vind          |                      |      |      |              |     |     | 3.8             |                 | 6                   | 10        | 260  |
|             | N             | 13.3                 |      |      | .3           |     |     |                 |                 | 10                  | 5         | 250  |
|             | S             |                      | 16.5 |      |              | 2.9 |     |                 |                 | 16                  | 10        | 250  |
|             | BD            |                      |      | 9.0  |              |     | -1  |                 |                 | 30                  | 30        | 270  |
|             | N             | 12.2                 |      |      | 1.5          |     |     |                 |                 | 30                  | 30        | 250  |
| Normallast  | Vind          |                      |      |      |              |     |     | 3.0             |                 | 30                  | 30        | 250  |
|             | N             | 14.9                 |      |      | 2.9          |     |     |                 |                 | 40                  | 30        | 240  |
|             | S             |                      | 17.5 |      |              | 4.6 |     |                 |                 | 30                  | 40        | 250  |
|             | BD            |                      |      | 11.6 |              |     | 1.4 |                 |                 | 30                  | 40        | 250  |
|             | N             | 14.6                 |      |      | 2.4          |     |     |                 |                 |                     |           |      |
| Halvlast    | Vind          |                      |      |      |              |     |     | 4.1             |                 | 30                  | 20        | 240  |
|             | N             | 18.9                 |      |      | 3.2          |     |     |                 |                 | 40                  | 40        | 250  |
|             | S             |                      | 20.6 |      |              | 3.3 |     |                 |                 | 40                  | 40        | 250  |
|             | BD            |                      |      | 17.6 |              |     | 3.7 |                 |                 | 40                  | 40        | 250  |
|             | N             | 20.6                 |      |      | 4.1          |     |     |                 |                 | 30                  | 30        | 240  |
| Medelvärden |               |                      |      |      |              |     |     |                 |                 |                     |           |      |
|             | N             | 15.8                 |      |      | 2.4          |     |     |                 |                 |                     |           |      |
|             | S             |                      | 18.2 |      |              | 3.6 |     | 3.6             |                 | 28                  | 26        | 250  |
|             | BD            |                      |      | 12.7 |              |     | 1.7 |                 |                 |                     |           |      |

Vindhastigheten är låg i början men ökar under låglastförsöket för sedan att hålla i sig under normal- och halvlastförsöken. I medeltal är vindens energi-innehåll snarast större än hos brännare C men skillnaden inte stor. Vindriktningen svängar mellan  $240^{\circ}$  och  $270^{\circ}$ . I medeltal är den  $250^{\circ}$  dvs  $75^{\circ}$  västligare än hos brännare C eller närmast WSW.

Försöken med B är exempel på vindpåverkan under skyddade förhållanden. De lokala vindmätningarna fattas i tabellen pga ett missöde med mätutrustningen. Dataförlusten har dock, just i dessa försök, mindre betydelse då mätaren ändå var i vindskugga. Försöken var planerade för lugnt väder och genomfördes enligt planen. Antalet tryckmätningar över huset, kolumn 7, är därför endast tre mot sju hos brännare C. De som finns varierar mindre: mellan 3.0 och 4.1 Pa mot 3.2 och 17.7 Pa hos brännare C. Med stöd av vindmätningarna från F 18 som är tämligen stabila under hela försökstiden bör man ändå kunna räkna med att de två observationsmängderna är lika representativa för respektive försök.

Utgående från medelvärdena av tryckskillnaden över huset - 10.3 resp 3.6 Pa - i jämförelse med medeltalen av beräknade vindtryck hos F 18, 24.5 respektive 27 Pa, och under förutsättning att tryckskillnaden kan schablonmässigt fördelas med hälften som övertryck från söder och hälften som undertryck åt norr får man att den effektiva vindhastigheten i relation till intaget av förbränningsluft är ca 50 % av den fria vindhastigheten vid vind från söder - dvs tämligen oskyddat läge och ca 25 % av denna hastighet under skyddade betingelser.

Kalkylen ovan rörande brännare B och hastighetsreduktionen vid skyddat läge är kanske tveksam därför att vinden vid mättillfället inte angrep husfasaden frontalt. Andra försök med vind från norr har emellertid gett ungefär samma resultat. Det bör därför ändå vara tämligen realistiskt.

Skillnaderna mellan försöken framgår visuellt av respektive kurvblad, figur .23, fB-iB respektive fC-iC. Vindtrycket över huset enligt figur .23, fB växlar tecken ca två gånger per minut och medelvärdet är lägre än 5 Pa. Motsvarande kurva med brännare C kommer knappast under 5 Pa och medelvärdet är 15 - 20 Pa. Skillnaden hos mätningarna återfinns i respektive tabeller, kolumn 7. Den finns också i kolumn 5 som avser tryckskillnaden i pannan vid luftförsörjning från söder mellan vindförsök och försök i lugnt väder. Medeltalen av dessa är 14.1 Pa hos C mot 3.6 Pa hos B gällande vindexponering respektive skyddat läge.

Övriga medeltryckskillnader i pannan, kolumnerna 4 och 6, är relativt små, 1.4 och .7 Pa hos C mot 2.4 och 1.7 Pa hos B. Vindförsöken har enligt tabellerna ovan jämförts med den empiriska modellen som ut-



vecklades i föregående avsnitt. Det nämndes där att modellen innebär viss utjämning mellan försöken med olika brännare. Den har bland annat yttrat sig så att modellens värden av undertrycket i pannan är lite för höga hos försök med brännare C och motsatt med brännare B. Med kändedom om detta kan vi lämpligen korrigera medelvärdena för kolumnerna 4, 5 och 6 enligt följande.

| Pa | (4)          | (5)            | (6)           |
|----|--------------|----------------|---------------|
| B  | N: 2.4 ⇒ 1.9 | S: 3.6 ⇒ 3.1   | BD: 1.7 ⇒ 1.2 |
| C  | N: 1.4 ⇒ 1.9 | S: 14.1 ⇒ 14.6 | BD: .7 ⇒ 1.2  |

De nya värden för N och BD utgör medeltal av alla försöken i tabellerna.

Vindexponerat luftintag innebär påtaglig ökning av draget i pannan, 14.6 Pa, enligt C, (5), ovan. Ökningen är större än tryckskillnaden över huset, 10.7 Pa, troligen på grund av att vinden kan alstra större undertryck över skorstenen än i markhöjd på husets läsida. Förhållandet återfinns i andra utförda vindförsök med frontal vind. I siffror är dragökningen ca 60 % av vindtrycket på F 18. I vindskugga och vid balanserat drag är dragökningen 15-30 % respektive ca 10 % av ökningen vid vindexponerat luftintag.

I tabellen nedan har beräknats ventilationsförlusterna, F, i försöken motsvarande figurerna .23, fB-iB och .23, fC-iC. Siffrorna i parentes lugnt väder men annars identiska försöksbetingelser.

| W, i ≈ .25 | N        | S        | BD       |
|------------|----------|----------|----------|
| B          | 189(116) | 207(173) | 160(150) |
| C          | 110(98)  | 185(106) | 93(84)   |

Förlusterna är relativt låga på grund av att försöken utförts utanför eldningssäsongen - varmt utomhus. Man ser att alla ventilationsförluster med vindpåverkan är större än förlusterna i lugnt väder och att den största skillnaden finns i försöket med frontalvind C/S.

Försöksresultaten visar att yttre tryckvariationer vid luftintaget och skorstenstoppen fortplantas i huvudsak obehindrat till pannrummet respektive pannans eldstad och därvid ger upphov till dragvariationer. Någon skillnad därvidlag mellan de olika brännarna har inte observerats. Vindens turbulens innebär osäkerheter i den kvantitativa utvärderingen av tryckregistreringarna. Angivna sifferrelationer mellan olika uppmätta tryck är därför ungefärliga.

Samma tryckvariationer finns när brännaren är igång. Tryckförändringar under gång har diskuterats ovan i avsnitt .31.

## .4 ANVÄNDNING OCH SLUTSATSER

Med föregående avsnitt är försöksredovisningen avslutad. En empirisk teoretisk modell har utvecklats som i första hand är giltig för försöksanläggningen med tillhörande panna, brännare, skorsten, väderleksparametrar, etc. Däremot har projektet inte inneburit utveckling av någon fältmässig och snabb metod för bestämning av ventilationsförlusterna. Frågan är då vad modellen tillsammans med övriga observationer kan säga om andra anläggningar och om oljeeldade villapannor i allmänhet samt hur man eventuellt kan bestämma förlusterna under mera fältmässiga omständigheter. Modellen utgörs av ett antal beståndsdelar. I det följande har valts att diskutera den stegvis ungefär i den följd delarna har utvecklats i rapportens tidigare avsnitt.

*Ventilationsflöde  
och drag i pannan*

Ventilationsflödet,  $V$ , styrs av undertrycket i pannan,  $p$ , enligt en potensfunktion av  $p$  med exponenten  $n \sim .6$  (.22, a). De mätningar som behövs för att bestämma en kalibreringskurva tar inte lång tid att utföra men de förutsätter tillgång till viss, relativt enkel, mätutrustning. Mindre ingrepp i anläggningen är också ofrånkomliga.

Förutom projektets egen panna och brännare (fyra) har i avsnitt .22 diskuterats kalibreringar av fyra pannor och sex brännare enligt Johansson (1982). Om några av dessa resultat kan tillämpas i enskilda fall eller om man vid överslagskalkyler vill använda genomsnittsvärden har man löst det problemet. Återstår då bestämning av undertrycket i pannan.

I modellen ingår ett linjärt uttryck för undertrycket i eldstaden vid lugnt väderlek som funktion av intermittensten,  $i$ , och utetemperaturen,  $\theta_u$ , .32, q. Uttrycket finns i tre olika utgåvor. För vanliga anläggningar är det den som avser det normala luftintaget till pannrummet som har intresse. Den är betecknad med N. Meningsfulla fältmätningar förutsätter således att man förutom själva dragmätningen mäter de värden av parametrarna som gäller vid försökstillfället. Till dessa får också räknas brännarens oljeförbrukning. Mätningen är således inte helt okomplicerad.

Vid överslagsberäkningar bör man i många fall kunna använda uttrycket enligt undersökningen. Skorstenshöjdens inverkan har inte undersökts i projektet. Försöksanläggningen har en ca 10 m hög traditionell tegelskorsten. Mätt från luftintaget är skorstenshöjden ca 8 m. Draget i en panna med till exempel en fyra meter hög prefabricerad skorsten av isolermaterial är förmodligen annorlunda. Man kan dock diskutera eller gissa hur uttrycket för  $p$  enligt nedan påverkas av förändringen.

$$p = p(0,0) + \alpha \times i + \beta \times \theta_{\mu} \quad (.4, a)$$

där enligt undersökningen

$$\begin{aligned} p(0,0) &= 16.7 \text{ Pa,} \\ \alpha &= 13.1 \text{ Pa} \quad \text{och} \\ \beta &= -.33 \text{ Pa/DegC} \end{aligned}$$

För överslagsberäkningar kan man anta att  $\beta$  är proportionell mot skorstenstoppens höjd över luftintaget. Det är svårare att uppskatta förändringarna hos  $p(0,0)$  och  $\alpha$ . Jämfört med en snävare rökkanal av isolermassa är rökgasernas nedkyllning troligen rätt betydande i den traditionella skorstenen. Övre delen av denna bidrar i så fall inte så mycket till draget i pannan. Ett förslag till korrektionsled kan då se ut som följer

$$d\beta/\beta \sim dh/h \quad (.4, b)$$

$$dp(0,0)/p(0,0) \sim d\alpha/\alpha \sim c \times dh/h$$

där  $0 < c < 1$ , förslagsvis,  $c \sim .5$ .

I fall rökgasernas värmetransmission till rökkanalen väsentligt över eller understiger undersökningens förutsättningar kan det eventuellt vara lämpligt att korrigera för detta.

Enligt undersökningen har samma uttryck kunnat användas för fyra olika brännare utan alltför stora noggrannhetsförluster. Detta tyder på att uttrycket är relativt tåligt.

*Vinden och draget  
i pannan*

När det blåsar bildas undertryck över skorstenstoppen. Vid luftintaget kan det bli antingen övertryck eller undertryck beroende på vindens riktning. Undersökningen visar att vindtrycket vid ett luftintag i höjd med marken är lägre än vindtrycket vid skorstenstoppen. Draget i pannan ökar med mellanskillnaden mellan de två tryck och är således störst när luftintaget är vindexponerat då trycken har motsatt tecken. Med annan orientering av luftintaget är dragökningen betydligt mindre, se avsnitt .33.

Vindriktning och vindstyrka kring en viss fastighet är svårbedömbär. Meteorologiska mätningar görs med minsta möjliga läverkan i närheten och i 10 m höjd över marken. Genom SMHI eller från något näraliggande flygfält kan man eventuellt inhämta upplysningar om de mera allmänna vindförhållanden i trakten. Meteorologiska tabeller finns också hos Taessler (1972). Tätortsbebyggelse innebär att gränsskicktet är tjockare än på öppna viddar. I synnerhet vindhastigheten nära marken reduceras kraftigt. Resultaten enligt avsnitt .33 kan eventuellt vara till stöd i konkreta fall.

*Ventilationsluftens temperatur*

I en befintlig anläggning kan man mäta temperaturen hos ventilationsluften med lämpligt temperaturinstrument. Har man inte tillfälle att mäta den kan det vara värd att uppmärksamma att ventilationsförluster av någon praktisk betydelse alltid är förenade med relativt låg pannbelastning. Ventilationsluftens temperatur kan då approximeras med panntemperaturen. Ventilationsförlusterna beräknas sedan av uttrycken , .32, r och s.

*Hur stora är ventilationsförlusterna?*

I tabellen nedan har beräknats försöksanläggningens ventilationsförluster vid normallast med brännarna B och C under följande förhållanden: vid utetemperaturerna +10, 0 och -10 °C samt vid lugnt väder, vindexponerat luftintag respektive icke vindexponerat intag. I tabellens nedre del har beräknats motsvarande förluster med balanserat drag. I detta fall utgår alternativet med vindexponerat luftintag.

Beräkningarna har genomförts för en fri vindhastighet av ca 8 m/s motsvarande vindtrycket 40 Pa. Undertrycket i pannan har vid vindexponering höjts med  $.6 \times 40 = 24$  Pa, vid luftintaget i vindskugga med 5 Pa. Vid balanserat drag är höjningen endast 2.5 Pa.

Ventilationsförluster i försöksanläggningen,  $i = .25$ . F Watt.

| $\theta_u$ °C   | 10  |     | 0   |     | -10 |     |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                 | B   | C   | B   | C   | B   | C   |
| Ej vind         | 198 | 125 | 220 | 141 | 241 | 156 |
| vindexpon       | 337 | 224 | 353 | 235 | 369 | 247 |
| vindskugga      | 231 | 149 | 253 | 163 | 271 | 177 |
| Balanserat drag |     |     |     |     |     |     |
| Ej vind         | 164 | 102 | 175 | 110 | 185 | 117 |
| Vind            | 183 | 115 | 193 | 122 | 203 | 129 |

Vid låglast,  $i = .125$ , är ventilationsförlusterna approximativt 10 % lägre än tabellvärdena.

*Slutsatser*

I oljekonsumtion räknad innebär ventilationsförlusterna 150-300 liter per år beroende på vilken brännare som används. Finns stadigvarande vind blir det mera, med balanserat drag något mindre.

Detta innebär att ventilationsförlusterna i en traditionell fastighet - som den undersökta - är något mindre än rökgasförlusterna, uppskattningsvis mellan en och två tredjedelar av dessa. Men utvecklingen går emot lägre energiförbrukning för uppvärmning främst i nya hus. Även äldre villor och radhus isoleras och förbättras dock undan för undan. I framtiden kan därför ventilationsförlusterna - om man fortsätter med att negligera dem - komma i paritet med rökgasförlusterna.

I synnerhet i en mycket vindpåverkad fastighet kan balanserat drag spara en del kråkvärme. Det samma gäller om pannan är otät. Värdena i tabellån utgörs till 25-40 % av förluster på grund av läckage i pannan. Läckaget orsakar också ökade förluster när brännaren är igång. Ungefär 70 % av förbränningsluftflödets ökning har beräknats komma in genom pannans otätheter.

Rökgasspjällets inverkan på ventilationsförlusterna har också undersökts. Det är helt verkningslöst. - Vad gäller rökgasförlusterna har det, enligt ovan, inte heller någon större betydelse - i varje fall om pannan är tät.

Det är kanske tid att avskaffa såväl pannläckage som rökgasspjäll i oljeeldade villapannor. De förefaller vara rudiment från en svunnen tid.

Det finns spjällanordningar som syftar till att stänga av ventilationsflödet. Enligt min mening löper man risk att därmed få kondens i skorstenen vilket kan innebära stora skadekostnader. Skorstenen kan behöva torka när brännaren har stannat.

#### *Förslag*

Förslag till kompletterande, nya insatser som kan öka projektets användbarhet:

- o Dragökningar i pannan till följd av vind har i projektet sammanlänkats med uppmätta tryckskillnader mellan husets fasader. Vindtunnelförsök föreslås i syfte att klargöra vindens inverkan på ventilationsförluster och rökgasförluster i andra fastigheter med varierande vindskydd.
- o Utveckling och utprovning av beräkningsprogram rörande klimatfaktorers inverkan på villapannors rökgasförluster och ventilationsförluster. Utvärdering av klimatets ekonomiska betydelse i relation till klimatregioner och bebyggelse typer.
- o Närmare diskussion av energibesparande åtgärder i små och medelstora eldningsanläggningar i relation till bl a utetemperatur och vind.



## LITTERATUR

Dafgård, N & Peterson, F, 1978, Genomströmningsförluster i värmepannor. (Institutionen för uppvärmnings- och ventilationsteknik, KTH.) Tekniska Meddelande nr 122. Stockholm.

Dahlström, Bengt, 1980, Extremvind och turbulent variation. Byggeforskningsrådet, rapport R64:1980.

Energisparkommittén, 1976, Inspektion av byggnaders eldningsanläggningar. Stockholm.

ER-översikt, 1977, Villapannor. Stockholm.

ER-översikt, 1977, Oljebrännare. Stockholm.

Hammersten, Stig, 1983, Drift av små oljeeldade pannor. (Institutionen för uppvärmnings- och ventilationsteknik, KTH.) Tekniska Meddelanden nr 265. Stockholm.

Janeba, B, Possibilities of increasing the operational efficiency of small oil fired boilers. (Institutionen för uppvärmnings- och ventilationsteknik, KTH.) Tekniska Meddelanden nr 159. Stockholm.

Johansson, Eddie, 1982, Provning av fyra villapannor. (Statens Provvningsanstalt.) Teknisk rapport SP-Rapp 1982:04. Borås.

Peterson, Folke & Rosenthal, T, 1978, Egenskaper hos värmepannor. (Institutionen för uppvärmnings- och ventilationsteknik, KTH.) Årsrapport 1978. Stockholm.

Rasmussen, Poul H, 1962, Termiskt drag hos oljeeldade villapannor. VVS-tidskriften nr 10. Stockholm.

Rasmussen, Poul H, 1963, Anvisningar för provning av oljeeldade villapannor enligt svensk standard SIS 57 42 01. Byggeforskningens rapport 89. Stockholm.

Rasmussen, Poul H, 1972, Konsumentprovning av oljeeldade villapannor. VVS-tidskriften nr 4. Stockholm.

Rasmussen, Poul H, 1977, Operational efficiency and hot water capacity of oil fired domestic boilers. (Institutionen för uppvärmnings- och ventilationsteknik, KTH.) Tekniska Meddelanden nr 113, avhandling. Stockholm.

Rasmussen, Poul H, 1980, Draft program of research and development on energy conservation in small and medium sized oil fired boilers. (Swedish Council for Building Research.) Document D30:1980. Stockholm.

Spiers, H M, ed, 1961. Technical data on fuel. London.

Sveriges Standardiseringskommission, 1962, Svensk Standard, SIS 57 42 01, Provning av oljeeldade villapannor. Stockholm.

Taesler, R, 1972, Klimatdata för Sverige. (Statens institut för byggnadsforskning.) Stockholm.

Åhlander, G & Peterson, F, 1982, Energiförbrukningens vindberoende. (Institutionen för uppvärmnings- och ventilationsteknik, KTH.) A4-serien nr 70. Stockholm.







**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 801506-3  
från Statens råd för byggnadsforskning till Tre R,  
Ruth R Rasmussen & Co, Tullinge.**

**R30: 1985**

**ISBN 91-540-4331-X**

**Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Art.nr: 6705030**

**Abonnemangsgrupp:  
Ingår ej i abonnemang**

**Distribution:  
Svensk Byggtjänst, Box 7853  
103 99 Stockholm**

**Cirkapris: 35 kr exkl moms**