

Trygve Hestad og Odd Magne Solheim

SOL-metoden for innregulering av ventilasjonsanlegg

BYGGFORSK

Norges byggforskningsinstitutt

Trygve Hestad og Odd Magne Solheim

SOL-metoden for innregulering av ventilasjonsanlegg

Prosjektrapport 118 – 1993

Prosjektrapport 118
Trygve Hestad og Odd Magne Solheim
**SOL-metoden for innregulering av
ventilasjonsanlegg**

ISBN 82-536-0409-2
200 eks. trykt av
Lobo Grafisk A/S på
Cyclus resirkulert papir 100 g/
Omslag 200 g

© Norges byggforskningsinstitutt 1993

Adr.: Forskningsveien 3B
Postboks 123 Blindern
0314 OSLO
Tlf.: 22 96 55 00
Fax 22 69 94 38 og 22 96 55 42

KORT SAMMENDRAG

SOL-metoden står for **S**timulering **O**g **L**uftmengdemåling og er en ny metode for innregulering av ventilasjonsanlegg, basert på edb-beregninger av kanalnettet og måling av luftmengder i terminalene.

Ideen til SOL-metoden kom i en hovedoppgave ved Oslo Ingeniørhøgskole våren 1992. I dette prosjektet er metoden videreutviklet og teste på tre

forskjellige ventilasjonsanlegg. Metoden har vist seg å være svært anvendelig, med mindre tidsforbruk og bedre resultat enn andre metoder. Samtidig oppnås en bedre dimensjonering av ventilasjonsanlegget og kontroll av installasjonen.

Rapporten omfatter også vurdering av eksisterende kanalberegningsprogram og forslag til forbedringer.

FORORD

SOL-metoden står for Simulering Og Luftmengdemåling, og er en metode for innregulering av ventilasjonsanlegg der EDB-beregninger er en del av innreguleringsprosedyren.

SOL-metoden ble til under en hovedoppgave ved Oslo Ingeniørhøgskole våren 1992. Byggforsk ønsket å videreutvikle og teste ut metoden. Det ble derfor etablert et prosjekt, som tok sikte på å gi grunnlag for NBI-anvisning (fellesnordiske retningslinjer). Prosjektet er finansiert av NTNf (under programmet "Produktutvikling og forsøksbygging"), NVEF, Norsk VVSs Stiftelse for Forskning, og Statoil. Foruten disse vil vi også takke Bjørn Tore Larsen, VEKST, og Arnstein Rødseth, FLATHEIM, for hjelp i forbindelse med beregningsprogrammer:

Vi har gjennom dette prosjektet erfart at SOL-metoden er anvendelig i de fleste anlegg. Ved å benytte metoden vil vi oppnå redusert tidsforbruk til innregulering, og i mange tilfeller et bedre resultat enn ved andre metoder. Dette er en ny måte å tenke innregulering på. Det vil derfor sannsynligvis ta tid før metoden blir tatt i allminnelig bruk. Men det er vårt ønske at de som leser denne rapporten fatter interesse, og ser hvilke muligheter SOL-metoden gir.

NBI - 06.01.1993

Trygve Hestad

Trygve Hestad
Prosjektleder

Odd Magne Solheim

Odd Magne Solheim
Forfatter

INNHOLD

FORORD.....	2
INNHOLD.....	3
1 DEFINISJONER.....	4
2 INNLEDNING.....	5
3 METODEBESKRIVELSE.....	6
3.1 GENERELT.....	6
3.2 PRINSIPIELL FREMGANGSMÅTE.....	7
3.3 TEORETISK GRUNNLAG.....	11
3.4 HVOR SKAL VI MÅLE?.....	12
3.4.1 KUN ETT MÅLEPUNKT?.....	12
3.4.2 FORUTSETNING.....	12
3.4.3 UTNYTTELSE AV GODE MÅLEPUNKTER.....	12
3.4.4 AUTOMATISK AVLESNING AV LUFTMENGDER.....	12
3.5 ENDRING AV TOTALLUFTMENGDE.....	13
3.5.1 HVORFOR ENDRER TOTALLUFTMENGDEN SEG?.....	13
3.5.2 HVORDAN TA HENSYN TIL ENDRING AV TOTALLUFTMENGDE.....	14
4 KANALBEREGNINGER.....	16
4.1 KANALBEREGNINGSPROGRAMMER.....	16
4.1.1 ERFARING MED EKSISTERENDE EDB-PROGRAMMER.....	17
4.1.2 MOMENTER FOR FREMTIDIGE PROGRAMMER.....	19
4.2 OVERENSTEMMELSE MELLOM ANLEGG OG BEREGNING.....	21
4.2.1 KORRIGERING AV TEGNINGER.....	21
4.2.2 VISUELL KONTROLL.....	21
4.2.3 INNLEDENDE MÅLINGER (ORIENTERENDE MÅLINGER).....	21
4.2.4 KONTROLL AV OVERENSTEMMELSE.....	21
4.2.5 KORRIGERING AV BEREGNING.....	22
5 UTTESTING AV METODEN.....	24
5.1 PRØVEANLEGG NBI-LAB.....	24
5.2 1.ETG BYGGFORSK.....	24
5.3 SLEIPNER-A.....	25
5.3.1 ANLEGGET.....	25
5.3.2 KANALBEREGNINGER.....	25
5.3.3 INNREGULERING.....	25
5.3.4 MÅLESTASJONER.....	27
5.3.5 OPPSUMMERING.....	28
6 SOL-METODEN I FREMTIDEN.....	29
6.1 KRAV TIL PROSJEKTERING.....	29
6.2 AUTOMATISERT BEREGNINGSPROSESS.....	29
6.3 AUTOMATISERTE LUFTMENGDEMÅLINGER.....	30
7 FORDELER OG ULEMPER VED SOL-METODEN.....	31
8 LITTERATUR.....	32

- Vedlegg 1: Skisse med trykkfallsdata og innreguleringsprotokoll, NBI-LAB
Vedlegg 2: Tabell over kontroll av korrigeringsmetode, NBI-LAB
Vedlegg 3: Skisse og innreguleringsprotokoll fra 1.etg. NBI.
Vedlegg 4: Isometrisk skisse fra D21, SLEIPNER-A
Vedlegg 5: Notat fra Ø.Nikolaysen, SLEIPNER-A

1 DEFINISJONER

Trykkfallsberegning:

Beregning av trykkfallene i anlegget. Vi angir hvilke luftmengder som skal gå i de forskjellige kanalene. Programmet regner ut hvilke trykkfall som oppstår i de forskjellige komponenter, og resttrykk.

Resttrykk:

Nødvendig tilleggstrykkfall for å få anlegget i balanse med de luftmengdene vi har angitt. Beregnes for hver terminal som differansen til største trykkfall (fra vifte til terminal). Ved innreguleringen vil resttrykkene vanligvis tilsvare trykkfall over spjeld.

Indeks:

Indeks-terminal/gren (ugunstigste) er den som er plassert på anleggets dimensjonerende punkt, dvs. som gir størst trykkfall (ved prosjekterte luftmengder) regnet fra vifte. Denne skal normalt ikke strupes.

Utbalanseringsberegning:

Beregning av aktuell luftfordeling i anlegget. Vi angir en totalluftmengde, og programmet regner ut hvordan denne fordeler seg på terminalene.

Innledende målinger (orienterende målinger):

Måling av alle delluftmengder med åpne spjeld.

Terminal:

Avslutningsåpning på kanalnett (tillufts- eller avtrekksventil e.l.).

Terminalgren:

Kanal fra siste avgrening og ut til og med terminal.

Autoritet:

Forholdet mellom trykkfallet i en terminalgren og trykkfallet fra vifte til indeksterminal.

Forholdstall:

Forholdet mellom målt og prosjektert luftmengde.

2 INNLEDNING

Det blir satt stadig strengere krav til innregulering av ventilasjonsanlegg. De innreguleringsmetodene som vanligvis benyttes i dag, er proporsjonalmetoden /1/ og forinnstillingsmetoden /2/. Proporsjonalmetoden er meget tidkrevende, og forinnstillingsmetoden unøyaktig. I 1991 kom så Stiftelsen VEKST og Farex A/S med DPM-metoden (Dual Pressure Measurement) /3/. Dette var bakgrunnen for en hovedoppgave ved Oslo Ingeniørhøgskole våren 1992. Studentene Kjell Petter Bruun og Odd Magne Solheim utarbeidet da enda en ny metode, SOL-metoden /4/.

Denne rapporten beskriver SOL-metoden, og den uttesting som er utført av Byggforsk høsten 1992.

3 METODEBESKRIVELSE

3.1 GENERELT

Innregulering etter SOL-metoden utføres i likhet med forinnstillingsmetoden, på grunnlag av trykkfallsberegninger. Det vil si at vi teoretisk beregner nødvendig trykkfall over innreguleringsorganene.

I tillegg benytter vi for SOL-metoden utbalanseringsberegninger. En utbalanseringsberegning regner ut hvordan en viss totalluftmengde fordeler seg i et anlegg. Disse bruker vi til å simulere hele innreguleringsforløpet. Dette skjer ved at vi legger inn ett og ett av de beregnede resttrykkene (nødvendig struping av innreguleringsorganene). Beregningene vil vise hvordan luften fordeler seg i anlegget, etter hvert som vi innregulerer.

Det blir altså en utbalanseringsberegning per innreguleringsorgan. Den praktiske innreguleringen går videre ut på å strupe hvert spjeld inntil vi måler at luften fordeler seg slik den tilhørende beregningen viser. Spjeldene innreguleres i samme rekkefølge som vi har simulert.

På denne måten stiller vi kun en gang på hvert innreguleringsorgan.

3.2 PRINSIPIELL FREMGANGSMÅTE

Nedenfor blir den generelle prosedyren for innregulering etter SOL-metoden vist for et enkelt anlegg med fire terminaler (fig.1).

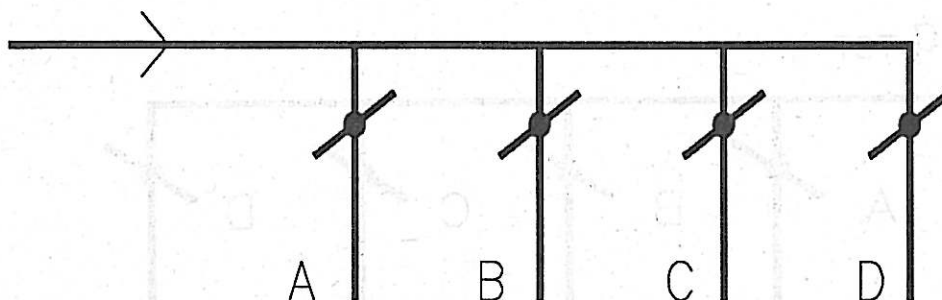


fig.1

1. Anlegget trykkfallsberegnes med prosjekterte luftmengder. Dette gir hvor mye spjeld A,B,C og D skal strupes (resttrykk).
2. Totalluftmengden i anlegget måles, mens alle spjeld er åpne. (summen av luftmengdene i A,B,C og D)
3. Beregnet resttrykk for spjeld D legges inn i en utbalanseringsberegning med den målte totalluftmengden. Programmet simulerer da hvordan luften vil fordele seg i anlegget når spjeld D er riktig innstilt, og andre spjeld er åpne.
4. Spjeld D strupes inntil luftmengden i terminal D stemmer med beregningen i 3.
5. Beregnet resttrykk for spjeld C legges inn i utbalanseringsberegningen. Programmet simulerer at spjeld C og D er riktig innstilt, mens A og B er åpne. Nye luftmengder i alle terminaler beregnes
6. Spjeld C strupes inntil luftmengden i terminal C stemmer med beregningen i 5.
7. Beregnet resttrykk for spjeld B legges inn i utbalanseringsberegningen. Programmet simulerer at spjeld B,C og D er riktig innstilt, mens A er åpent. Nye luftmengder i alle terminaler beregnes
8. Spjeld B strupes inntil luftmengden i terminal B stemmer med beregningen i 7.
9. Beregnet resttrykk for spjeld A legges inn i utbalanseringsberegningen. Programmet simulerer at samtlige spjeld er riktig innstilt, Beregningen viser dermed at alle luftmengder står i samme forhold til det prosjekterte.
10. Spjeld A strupes inntil luftmengden i terminal A stemmer med beregningen i 9. Alle terminaler er nå innregulert.
11. Til slutt justeres totalluftmengden til alle terminaler får prosjektert verdi.

- Anmerkninger:** -I praksis skal ett av resttrykkene være lik null (indeks-terminal).
-Totalluftmengden forutsettes her å være konstant under innreguleringen.

Denne arbeidsprosedyren kan illustreres av fig.2:

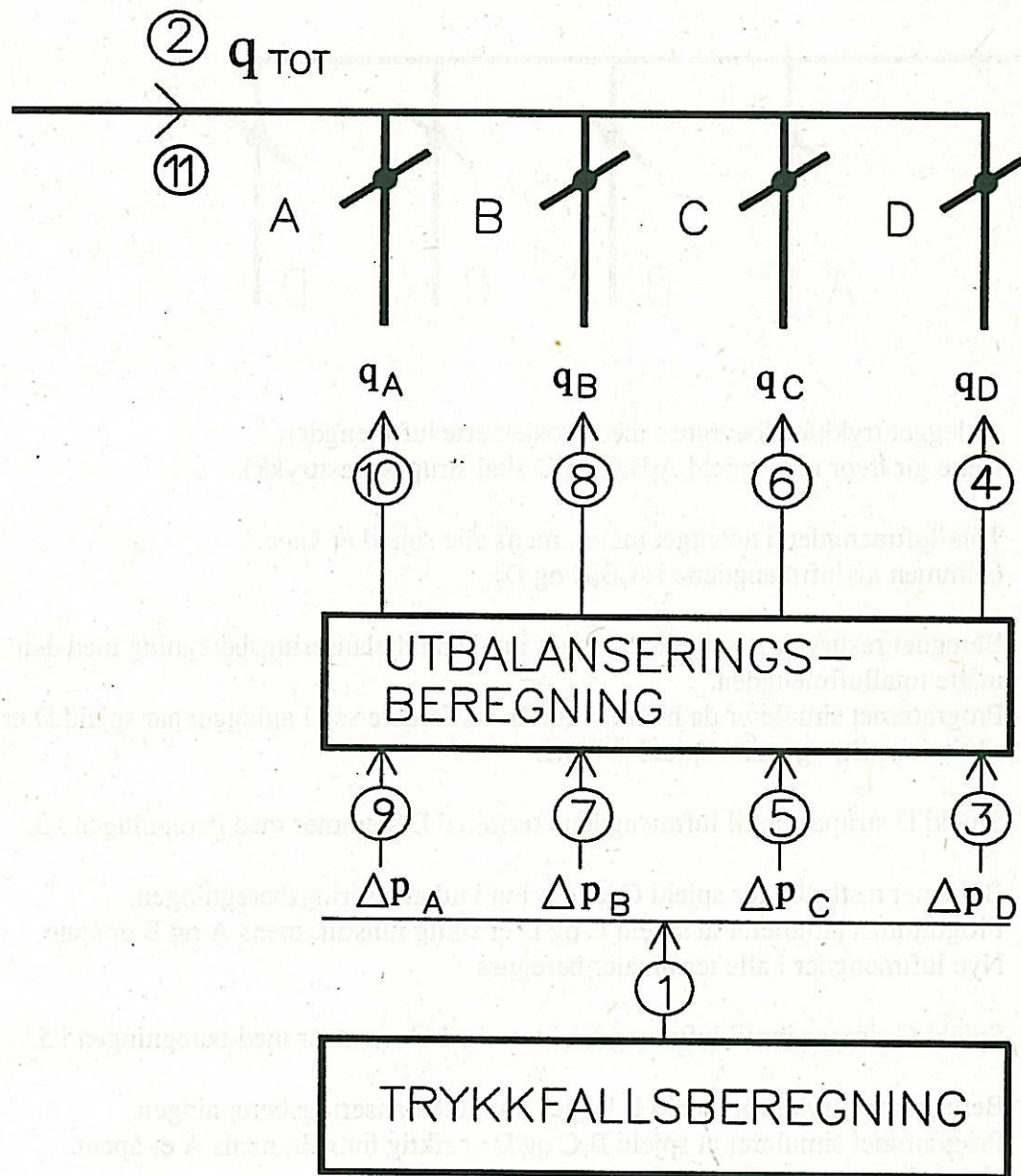


fig 2

EKSEMPEL

		A	B	C	D
Målt ved åpne spjeld:	②	82	55	68	43
Innregulert spjeld D:	④	82	55	68	43
Innregulert spjeld C,D:	⑥	90	60	④⑨	49
Innregulert spjeld B,C,D:	⑧	95	⑤①	51	51
Innregulert spjeld A,B,C,D:	⑩	⑥②	62	62	62
Justert totalluftmengde:	⑪	100	100	100	100

Fig.3

Figur 3 viser hvordan luften fordeler seg etterhvert som spjeldene blir riktig innstilt. Hver linje representerer en utbalanseringsberegning.

1. Trykkfallsberegning med prosjekterte luftmengder gir følgende resttrykk:
 $\Delta P_A = 30\text{Pa}$, $\Delta P_B = 10\text{Pa}$, $\Delta P_C = 20\text{Pa}$, $\Delta P_D = 0\text{Pa}$.
2. Vi måler at luften fordeler seg slik som vist i fig.3 når alle spjeld står åpne.
3. $\Delta P_D = 0$, dvs. terminal D er indeks-terminal, og skal følgelig ikke strupes.
 Utbalanseringsberegning med den målte totalluftmengden, skal nå vise den luftfordelingen vi har målt.
4. Spjeld D skal stå åpent.
5. $\Delta P_C = 20\text{Pa}$ legges inn i utbalanseringsberegningen.
 Beregningen viser at det skal gå $49\text{m}^3/\text{h}$ i terminal C når spjeld C er riktig innstilt.
6. Spjeld C strupes til luftmengden er $49\text{m}^3/\text{h}$.
7. $\Delta P_B = 10\text{Pa}$ legges inn i utbalanseringsberegningen.
 Beregningen viser at det skal gå $51\text{m}^3/\text{h}$ i terminal B når spjeld B og C er riktig innstilt.
8. Spjeld B strupes til luftmengden er $51\text{m}^3/\text{h}$.
9. $\Delta P_A = 30\text{Pa}$ legges inn i utbalanseringsberegningen.
 Beregningen viser at det skal gå $62\text{m}^3/\text{h}$ i terminal A når spjeld A,B og C er riktig innstilt.
10. Spjeld A strupes til luftmengden er $62\text{m}^3/\text{h}$.
 Alle spjeld er riktig innstilt.
11. Totalluftmengden justeres til $400\text{m}^3/\text{h}$.

I praksis vil vi gjerne utføre alle beregningene på forhånd. Resultatet blir da at vi ut på anlegget har med oss en liste, som viser hvor mye luft det skal gå i hver av terminalene før og etter innstilling:

Den praktiske innreguleringen blir som følger:

- Spjeld D skal stå åpent (indeks)
- Spjeld C strupes fra $68\text{m}^3/\text{h}$ til $49\text{m}^3/\text{h}$.
- Spjeld B strupes fra $60\text{m}^3/\text{h}$ til $51\text{m}^3/\text{h}$.
- Spjeld A strupes fra $95\text{m}^3/\text{h}$ til $62\text{m}^3/\text{h}$.
- Hovedluftmengden justeres til $400\text{m}^3/\text{h}$. Alle grener får dermed $100\text{m}^3/\text{h}$.

Prinsipielt spiller det ingen rolle i hvilken rekkefølge innreguleringen utføres, så lenge beregningene er utført i samme rekkefølge. Det kan imidlertid være gunstig å starte med de terminalene som skal strupes mest. På denne måten får vi hurtigst mulig presset luften i "riktig retning". Dvs. at de terminalene som ved start har lavest forholdstall, kommer nærmere opp mot prosjekterte verdier før de innreguleres. Dermed kan innstillingen bli mer nøyaktig.

På den annen side kan det være en fordel å starte innreguleringen ytterst i systemet, slik som ved proporsjonalmetoden. Da får vi nemlig en kontroll på om vi har gjort alt riktig. Dette fordi luftmengdene i de innregulerte terminalene da skal stå i samme forhold til det prosjekterte.

3.3 TEORETISK GRUNNLAG

Til enhver spjeldstilling hører det en karakteristikk (også kalt strupelinje). Denne er gitt av formelen:

$$\Delta p = R \cdot q^n$$

der R er motstanden (resistans)
og $n \approx 2$ for turbulent strømning.

Formelen kan også skrives som:

$$\Delta p = \zeta \cdot p_d$$

der ζ er støttapskoeffisienten (motstandstallet)
og p_d er dynamisk trykk.

En slik karakteristikk er vist grafisk i figur 4:

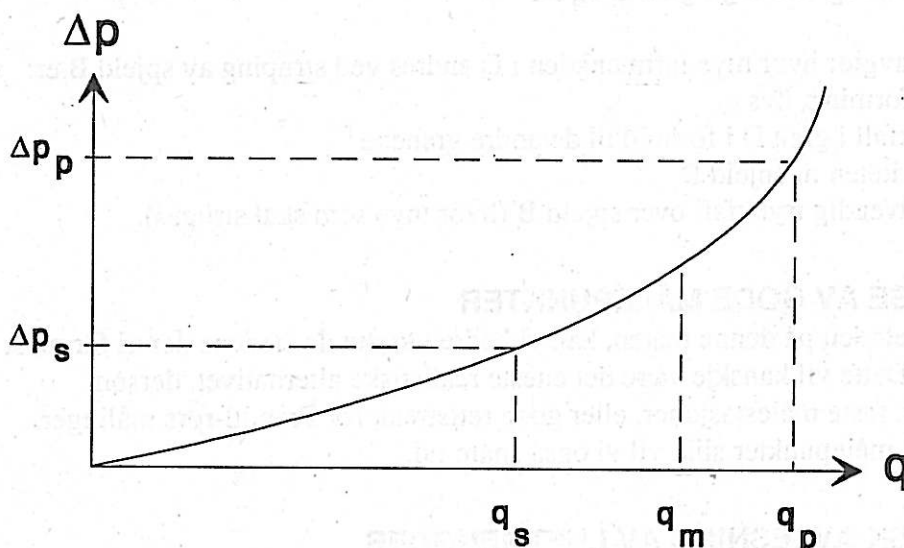


fig.4

I utbalanseringsberegningene angir vi ønsket trykkfall (Δp_p) over spjeldet ved prosjektert luftmengde (q_p). Dermed har vi egentlig angitt spjeldets karakteristikk.

Programmet simulerer da hva som vil skje når spjeldet blir innstilt ved den luftmengden som går i anlegget under innreguleringen. Luftmengden gjennom spjeldet vil synke fra q_m (det vi har målt), til q_s (simulert luftmengde).

Når vi så stiller på spjeldet til vi oppnår q_s , har vi truffet riktig spjeldkarakteristikk. Trykkfallet over spjeldet vil da følge denne karakteristikken, etter hvert som luftmengden øker.

3.4 HVOR SKAL VI MÅLE?

Prinsippet for SOL-metoden er at vi først simulerer innstillingen av et spjeld. Deretter stiller vi på spjeldet inntil vi måler at luften fordeler seg slik vi har simulert. I eksemplet (fig.3) kan vi tenke oss at spjeldet er utstyrt med en målestasjon, slik at vi måler luftmengden som passerer spjeldet. Vi skulle strupe spjeld C inntil vi målte at luftmengden som passerte det var $49\text{m}^3/\text{h}$. Vi målte altså i gren C, mens vi strupet spjeld C. Men vi kunne like gjerne målt et annet sted, f.eks. i gren D. Da hadde vi strupet spjeld C inntil luftmengden i gren D hadde økt fra 43 til $49\text{m}^3/\text{h}$. Tilsvarende kunne vi deretter stilt på spjeld B inntil luftmengden i gren D hadde økt fra 49 til $51\text{m}^3/\text{h}$.

3.4.1 KUN ETT MÅLEPUNKT?

I prinsippet kunne det på denne måten være tilstrekkelig med ett målepunkt under innreguleringen. Poenget er at vi for hvert spjeld struper inntil vi måler at det er samsvar mellom beregning (simulering) og virkelighet. Hvor vi måler, spiller da i prinsippet ingen rolle.

3.4.2 FORUTSETNING

Forutsetningen for å utføre SOL-metoden på denne måten, er at den luftmengden vi måler endres tilstrekkelig ved struping av et spjeld. I eksempelet ser vi at struping av spjeld B ikke medfører tilstrekkelig endring i gren C og D.

Det som i hovedsak avgjør hvor mye luftmengden i D endres ved struping av spjeld B er:

- anleggets utforming, dvs
 - *trykkfall i gren D i forhold til de andre grenene
 - *autoriteten til spjeld B
- beregnet nødvendig trykkfall over spjeld B (hvor mye som skal strupes).

3.4.3 UTNYTTELSE AV GODE MÅLEPUNKTER

Ved å utføre SOL-metoden på denne måten, kan vi bedre utnytte de stedene der vi får mest nøyaktige målinger. Dette vil kanskje være det eneste realistiske alternativet, dersom anlegget ikke har nok faste målestasjoner, eller gode rettstrekk for Prandtl-rørs målinger. Ved å redusere antall målepunkter slik, vil vi også spare tid.

3.4.4 AUTOMATISK AVLESNING AV LUFTMENGDER

Enda bedre er det når vi fra ett sted kan lese av flere luftmengder på én gang. Da kan vi meget enkelt strupe et spjeld inntil vi ser at luften fordeler seg slik vi har beregnet.

3.5 ENDRING AV TOTALLUFTMENGDE

I eksemplet i figur 1 gjør vi en forenkling: Vi sier at totalluftmengden i anlegget er konstant under innreguleringen. Det vil den i virkeligheten ikke være.

3.5.1 HVORFOR ENDRER TOTALLUFTMENGDEN SEG?

VIFTENS ARBEIDSPUNKT

En vifte jobber i skjæringspunktet mellom anleggs karakteristikk og viftekarakteristikk (se fig. 5). Når vi struper på et spjeld, forandrer vi anleggs karakteristikken. Den blir brattere. Vi får et nytt skjæringspunkt mellom vifte- og anleggs karakteristikk. Viften må yte et større trykk, og følgelig går luftmengden ned (som oftest).

ANDRE PÅVIRKNINGER

Det er også viktig å være klar over at totalluftmengden kan påvirkes av andre faktorer:

-Vind: Avhengig av luftinntak/-avkasts utforming, kan vinden ha stor betydning for hvor mye viften(-e) yter. En inntaksrist plassert i vegg vil f.eks. ha minst trykkfall når vinden står rett i mot. På en vindfull dag kan dette føre til drastiske luftmengdevariasjoner!

-Filterets tilstand: Dersom det pågår annet arbeid på byggeplassen, som gjør at filtrene hurtig tilgrises, vil totalluftmengden synke. Filtrene bør derfor være nye ved start av innregulering.

-Dører/vinduer: Hvorvidt dører og vinduer er åpne/lukkede, vil i kombinasjon med vindforhold påvirke trykkforholdene i bygget, slik at det innvirker på luftmengden fra ventilasjonsanlegget. Dører og vinduer bør være lukket ved innregulering

-Strømtilførsel til viftene: I enkelte anlegg vil det på det tidspunkt innreguleringen utføres, kunne oppstå problemer med strømtilførselen. Kanskje må vi bruke mobile hjelpevifter som påvirkes av annet strømforbruk i bygget. På denne måten kan totalluftmengden endres betydelig.

-Andre systemer: Er det et stort anlegg med mange separate ventilasjonssystemer, må vi være oppmerksom på at disse påvirker hverandre. Best resultat oppnås hvis alle anlegg er i drift under innreguleringen. Dersom dette ikke er mulig bør innregulering foregå med åpne vinduer på en vindstille dag.

3.5.2 HVORDAN TA HENSYN TIL ENDRING AV TOTALLUFTMENGDE

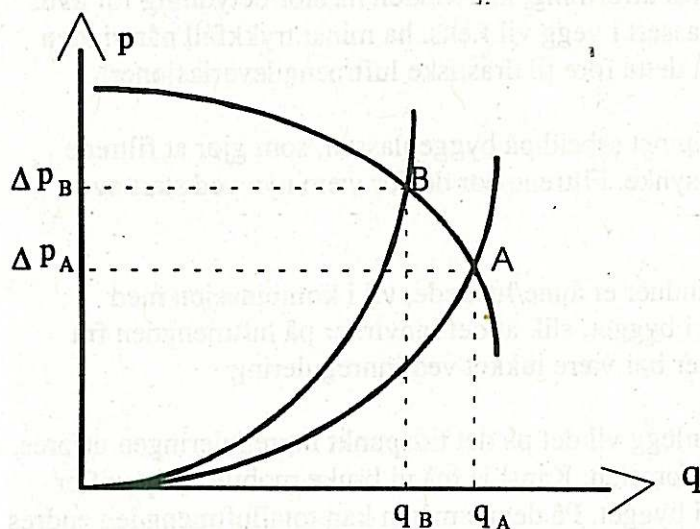
Endringen i totalluftmengde vil i noen tilfeller være så liten at den ikke får noen betydning for resultatet av innreguleringen. Men ofte vil vi mer eller mindre være nødt til å ta hensyn til den. Dette kan gjøres på flere måter:

AVANSERT PROGRAMVARE

De utbalanseringsprogrammene som brukes i dag, regner med en konstant totalluftmengde. Det finnes imidlertid programmer i forbindelse med spesiell industriventilasjon, som også tar hensyn til viftekarakteristikker, oppdriftskrefter og andre påvirkninger. Det er per idag ikke mulig å bruke noe slikt program i forbindelse med innregulering. Men det er ikke urealistisk å tenke seg SOL-metoden brukt med et liknende program noen år fram i tiden.

FORHÅNDSBEREGNING

Når det gjelder den endringen som forårsakes av at vi endrer anleggs karakteristikk under innreguleringen, så kan denne beregnes på forhånd. Det vi da gjør, er å bruke viftekarakteristikk til å beregne hvor mye totalluftmengden endres ved en viss trykkfallsøkning i anlegget.



Figur 5 Anleggs-/viftekarakteristikk

Punkt A er viftens arbeidspunkt før innregulering (alle spjeld står helt åpne). Dette finnes ved å gå inn i viftediagrammet med den totalluftmengden vi har målt, q_A . En trykkfallsberegning med målte delluftmengder, skal da gi det totale trykkfallet i anlegget, ΔP_A . Gjør den ikke det, må beregningen korrigeres (se kap.4.1.5).

Punkt B er viftens arbeidspunkt etter innregulering. Det vil si at ΔP_B er det totale trykkfallet i anlegget når alle luftmengder står i samme forhold til det prosjekterte. Dette trykkfallet kan vi finne ved å trykkfallsberegne anlegget med prosjekterte luftmengder, for så å tegne inn anleggs karakteristikk som dette gir. Punkt B blir da det nye skjæringspunktet med viftekarakteristikk. Dermed har vi bestemt punktene A og B, slik at vi vet hvor mye totalluftmengden vil endre seg under innreguleringen.

Denne operasjonen kan godt gjøres trinnvis, slik at vi f.eks. finner ut hvor mye totalluftmengden endres ved innregulering av noen få spjeld.

KONSTANT TRYKK

En annen variant av forhåndsberegning, kan være å sørge for at viften(-e) yter konstant trykk under innreguleringen. Da vil vi mer nøyaktig kunne beregne endringen i totalluftmengde.

ESTIMASJON

En enklere variant, er rett og slett å anta hvordan totalluftmengden vil endre seg. Dette forutsetter god kjennskap til anlegget og en viss erfaring. I tillegg er det en forutsetning at viften(-e) jobber i et område der luftmengden varierer forholdsvis lite, dvs ikke for slak viftekaraktistikk. En fordel ved SOL-metoden er her at vi hele tiden får en kontroll på om det vi har antatt stemmer. Det kan derfor med en slik metodikk, lønne seg å starte med noen få terminaler, før vi foretar resten av utbalanseringsberegningene.

KONSTANT LUFTMENGDE

Det ideelle er imidlertid å sørge for at viften(-e) yter en konstant luftmengde. Dette kan f.eks. gjøres ved hjelp av turtallsregulering med styresignal fra målestasjon i hovedkanal. Dermed har vi også eliminert problemet med luftmengdevariasjoner pga andre påvirkninger.

MÅLINGER UNDERVEIS

Det kan være tilfeller der vi ikke har muligheter for å holde luftmengden konstant. Om det da viser seg at den endres på en uforutsigbar måte, er vi nødt til å foreta målinger av totalluftmengden underveis i innreguleringen. Dette betyr at vi må utføre utbalanseringsberegningene i flere trinn. På denne måten kan vi beregne med den totalluftmengden vi til enhver tid vet går i anlegget. Hvor ofte vi må måle kan variere. Ofte vil vi kunne innregulere mange terminaler uten at totalluftmengden endres noe videre. Andre ganger vil vi kanskje måtte korrigere beregningen mellom hver terminal. Dette vil vi til en viss grad kunne se av trykkfallsberegningen med prosjekterte luftmengder. Som regel vil små resttrykk ha liten innvirkning på totalluftmengden.

Men selv om SOL-metoden utføres på denne måten, vil den allikevel være tidsbesparende i forhold til proporsjonalmetoden. Med SOL-metoden blir det i verste fall en totalluftmengde-måling mellom hver terminal. Selve utbalanseringsberegningen tar ikke mange sekundene. Ved proporsjonalmetoden må vi stille hver terminal i forhold til en referanse. Dette betyr at vi gjentatte ganger må måle på terminal og referanse. Det gjør at proporsjonalmetoden i praksis krever to mann, hvis vi vil unngå å fly fram og tilbake. Unntak er dersom vi har utstyr for automatisk avlesning av referansen der vi til enhver tid er.

4 KANALBEREGNINGER

SOL-metoden baserer seg på det samme grunnprinsippet som forinnstillingsmetoden: Ved å trykkfallsberegne et anlegg, kan vi finne ut hvor mye de forskjellige spjeldene skal strupes (i Pa). I tillegg bruker vi ved SOL-metoden utbalanseringsberegninger til å optimalisere den praktiske innstillingen mht. tidsforbruk og nøyaktighet.

EDB-programmer har vært brukt til trykkfallsberegning av ventilasjonsanlegg i snart 20 år. Enkelte av disse har også kunnet regne utbalansering. Men bruken av utbalanseringsberegninger har stort sett begrenset seg til å se hva som skjer med luftfordelingen i et anlegg, når det blir foretatt ombygginger. Dette har ikke vært brukt i særlig stor utstrekning. SOL-metoden åpner for en helt ny bruk av slike beregninger. Ved å simulere hele innreguleringsforløpet, utnytter vi fullt ut de mulighetene som ligger i disse programmene.

4.1 KANALBEREGNINGSPROGRAMMER

Det eksisterer i Norge i dag ca 10 forskjellige trykkfallsberegningssystemer for ventilasjonsanlegg. Av disse er det bare halvparten som i en viss utstrekning brukes. En telefonforespørsel til de mest kjente entrepenør- og konsulentfirmaene, viste at svært få gjør bruk av trykkfallsberegninger under prosjektering. Mange er ikke en gang i besittelse av noe program. Av de som har program, er det mange som kun benytter det til såkalte "worst-case" beregninger. Det vil si at de antar at en bestemt streng er dimensjonerende, og trykkfallsberegner denne for å finne nødvendig viftetrykk. Dette er beklagelig, da aktiv bruk av trykkfallsberegninger i prosjekteringsfasen utvilsomt resulterer i bedre anlegg. Dette er det stor enighet om. Mange ønsker å ta trykkfallsberegninger i bruk. Problemet er at det sjelden er satt av penger nok i prosjektene, til å gjøre et skikkelig prosjekteringsarbeid. Men det mange da ikke innser, er at dårlig prosjektering ofte fører til merkostnader i form av endringer/ombygging, og mer tid til innregulering.

SOL-metoden øker nytteverdien av å foreta trykkfallsberegninger. Dette fordi vi bruker beregningene direkte til å innregulere anlegget.

4.1.1 ERFARING MED EKSISTERENDE EDB-PROGRAMMER

Det er svært få av programmene (3-4) som kan utføre utbalanseringsberegninger. Vi har i dette prosjektet testet ut to programmer: DDUCT-N fra Flatheim, og BALANS fra VEKST (tidl. Pemtech).

DDUCT-N

Trykkfallsberegningsprogrammet DDUCT-N fra Flatheim, er koplet sammen med DAK-systemet VVS-partner. Meningen er her at vi skal få frem trykkforholdene i anlegget mens kanalnettet tegnes. Det vil si at input gis via tegningen. I dette prosjektet har vi kun benyttet DDUCT-N uten DAK. Vi har altså gitt input vha. programmets egne menyer. Vår vurdering av programmets brukervennlighet må ses i sammenheng med dette.

Menysystemet er enkelt bygget opp, og greit å forstå. Således er det ganske "behagelig" å bruke. Men dette har gått på bekostning av valgfrihet og brukermuligheter. Kanalsystemet må angis på en bestemt måte. Programmet finner selv ut av strukturen, og nummererer komponentene for oss. Dette kan være nyttig under den første prosjekteringsfasen, men er tungvint når et eksisterende anlegg skal beregnes. Og vi har svært begrensede muligheter til å endre det vi først har angitt. De endringene programmet tillater at vi gjør, er meget tungvinne å utføre. For ikke å bruke forferdelig lang tid, er vi her avhengig av å gi all input korrekt med en gang. Det er sjelden mulig i praksis!

Når vi skal trykkfallsberegne med hensyn på innregulering, må vi foreta kontroll og korrigerende av beregning. Det betyr at vi både skal trykkfallsberegne med målte og prosjekterte luftmengder (se kap.4.1.4). Det er derfor av stor betydning at alle luftmengder lett kan byttes ut. Dette er ikke tilfelle med DDUCT-N.

Programmet mangler en del trykkfallsdata. Det ligger bl.a. ikke inne noen data for rektangulære kanaler. Disse må gis manuelt.

Angivelse av ekstramotstander foregår i DDUCT-N ved at vi legger inn spjeld. Disse angis med luftmengde og tilhørende trykkfall. På denne måten angir vi i realiteten spjeldets ζ -verdi. Dette er bra. Men for SOL-metoden betyr det at vi må være nøye med å angi tilstrekkelig antall spjeld. Ved hver terminal trenger vi to spjeld: Ett til resttrykk for korrigerende av beregning, og ett til resttrykk for nødvendig struping.

Selve utbalanseringsberegningen går med DDUCT-N meget raskt. Programmet har ingen problemer, selv om kanalnettet blir stort og inneholder ekstreme trykkfallsforskjeller. Vi fikk en spesialversjon av programmet, der vi selv kunne bestemme nøyaktigheten som skulle oppnås.

Konklusjon: DDUCT-N er lite brukervennlig når det ikke er koplet til DAK, og for SOL-metoden er programmet meget tidkrevende å bruke. Selve utbalanseringsberegningen ser imidlertid ut til å fungere utmerket.

BALANS

BALANS er at de mest brukte programmene. Input kan også her gis via et DAK-program, HEVACAD. Dette er imidlertid lite brukt. Men programmet har et eget input-program, BALINP. Dette er enkelt å bruke, og gjør programmet meget fleksibelt.

Det er i BALANS meget enkelt å foreta endringer. BALINP fungerer omtrent som en "tekst-editor", der vi kan redigere input-filen til beregningsprogrammet. Dette gjør at vi i stor grad har tilgang til å endre det vi måtte ønske.

Angivelse av ekstramotstander gis i BALANS enten som ζ -verdi eller i Pa. Det er imidlertid viktig med tanke på innregulering, at vi kun angir motstander i form av ζ -verdi. Dette er fordi vi for kontroll/korrigerende av beregning, skal skifte mellom prosjekterte og målte luftmengder.

Luftmengder kan byttes ut på en enkel måte. Men programmet har frem til i dag inneholdt en feil som gjør at faste motstander (i Pa), ikke har blitt riktig omregnet ved bruk av luftmengdefaktoren. Dette er nå rettet opp.

BALANS kan imidlertid være tidkrevende dersom vi skal angi et anlegg nøyaktig med antall bend o.l. Dette fordi hvert bend må angis som et knutepunkt. På denne måten blir det en ny input-linje for hvert bend.

Selve utbalanseringsberegningen viste seg for BALANS ikke alltid å tilfredstille SOL-metodens krav. Programmet fikk problemer når anlegget ble stort, og når det var store forskjeller i enkeltmotstander. I noen tilfeller klarte ikke programmet å utbalansere i det hele tatt. I andre tok det veldig lang tid, avhengig av hvilken nøyaktighet som skulle oppnås. Vi fikk en spesialversjon av programmet, der vi selv kunne bestemme nøyaktigheten som skulle oppnås, og hvor mange iterasjoner programmet maksimalt kunne bruke.

Konklusjon: BALANS er forholdsvis brukervennlig, men det kan fremdeles gjøres enkelte forbedringer. Selve utbalanseringsberegningen er per i dag for unøyaktig for SOL-metoden i noen tilfeller.

SAMMENLIKNING DDUCT-N/BALANS

De to programmene gav nøyaktig samme resultat ved utbalansering, når input og forutsetninger ellers var like.

4.1.2 MOMENTER FOR FREMTIDIGE PROGRAMMER

ANGIVELSE AV EKSTRAMOTSTANDER

Alle motstander i kanalnettet (både friksjons- og støttap), varierer med det dynamiske trykket og dermed luftmengden. Ved en nominell trykkfallsberegning angir vi nøyaktig hvilke luftmengder som skal gå i de forskjellige kanalene. Da kan vi også angi nøyaktige trykkfall (i Pa). Ved utbalanseringsberegninger derimot, er luftmengdefordelingen ukjent. Dette betyr at programmet må regne om faste motstander gitt i Pa, til enten ζ -verdi eller R-verdi etter formelen:

$$\Delta p = R \cdot q^2 = \zeta \cdot \rho v^2 / 2$$

Dersom det i programmet er mulig å endre alle luftmengder ved hjelp av en faktor, må da programmet først regne om faste motstander på grunnlag av nominelle luftmengder, for så å multiplisere faktoren med disse.

I programmet bør det også være mulighet for å angi ζ - eller R-verdi. Det kan da også være en fordel om resttrykkene blir skrevet ut på denne måten.

BEREGNINGSMETODE

Å foreta en utbalanseringsberegning, dvs. å beregne hvordan en viss totalluftmengde fordeler seg i et gitt system, er vanskelig å gjøre manuelt. Utgangspunktet er at alle trykkfall, fra vifte og ut til endepunktene (ventiler o.l.) skal være like.

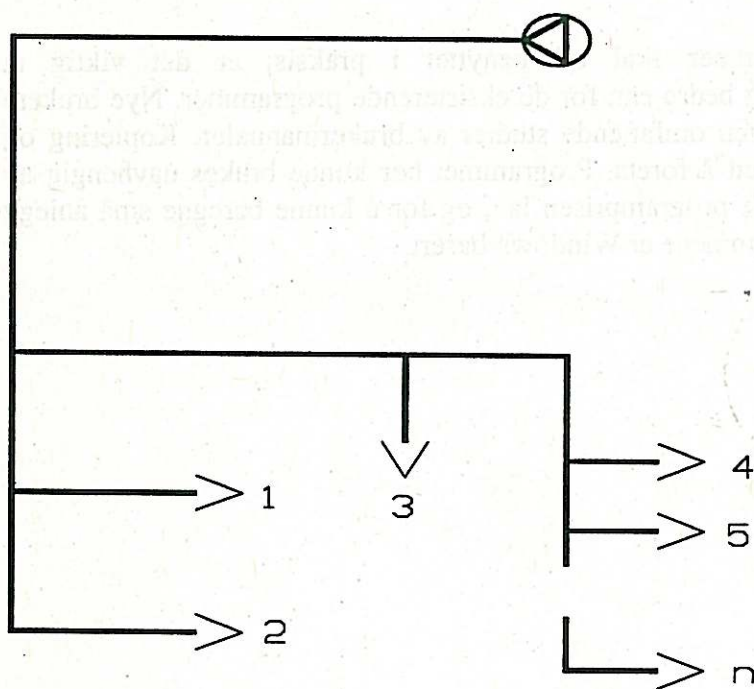


fig.5

For anlegget i figur 5 betyr dette at:

$$\Delta p_1 = \Delta p_2 = \Delta p_3 = \Delta p_4 = \Delta p_5 = \dots = \Delta p_n = R_n \cdot q_n^2$$

der R_n er den samlede motstanden fra vifte til punkt n.

$$R = \sum \frac{(\zeta + \lambda \cdot l / d) \cdot (\rho \cdot 2)}{\pi^2 \cdot d^4}$$

Dermed får vi n-1 antall likninger og n ukjente. Disse må da løses ved iterasjon.

Hvordan iterasjonene utføres varierer fra program til program. Det finnes imidlertid matematiske metoder som forenkler iterasjonsprosessen. Dette er viktig for at programmet ikke skal bruke for mange iterasjoner, noe som kan være tidkrevende. Programmet bør også kunne håndtere numeriske verdier på en slik måte, at det ikke skaper vansker for iterasjonen dersom det opptrer meget store og små trykkfall i samme system.

NØYAKTIGHET

I programmet må det være en toleranse som sier når iterasjonsprosessen kan stoppe. Denne må ikke være satt for høyt. Differansen mellom trykkfallene ut til hvert endepunkt i et anlegg skal være null. Vi kan da her legge inn en toleranse i størrelsesorden 0-1 Pa (for lavtrykksanlegg). Jo grovere toleransen er, desto mer unøyaktig blir luftmengdefordelingen. Denne unøyaktigheten er meget avhengig av kanalnettets utforming.

BRUKERVENNLIGHET

For at kanalberegningsprogrammer skal bli benyttet i praksis, er det viktig at brukervennligheten blir vesentlig bedre enn for de eksisterende programmer. Nye brukere må kunne forstå programmet uten omfattende studier av brukermanualer. Kopiering og endring av kanalnett må være lett å foreta. Programmet bør kunne brukes uavhengig av DAK (tegneprogram) for å holde programprisen lav, og for å kunne beregne små anlegg hurtig. Det er en fordel at programmene er Windows-basert.

4.2 OVERENSTEMMELSE MELLOM ANLEGG OG BEREGNING

4.2.1 KORRIGERING AV TEGNINGER

Når innreguleringen skal basere seg på en trykkfallsberegning, er det selvsagt avgjørende at denne er i samsvar med det virkelige anlegg. Det vil den sjelden være dersom den kun er utført på grunnlag av byggetegninger. Det skjer alltid endringer i byggefasen. Det er derfor viktig at tegningene oppdateres i henhold til det ferdigmonterte anlegg.

Trykkfallsberegningen må utføres på grunnlag av "AS BUILT"-tegninger. Men allikevel er det ikke sikkert at beregningen er riktig. I de fleste anlegg vil det oppstå trykkfall som vi ikke nøyaktig kan angi i beregningen. Et eksempel kan være dersom det er brukt fleksible kanaler, noe som dessverre ikke er uvanlig. Andre trykkfall som kan være vanskelige å beregne, er flere bend montert rett etter hverandre. Dette gjelder spesielt rektangulære kanaler, der programmene vanligvis ikke tar hensyn til om bendet dreier mot den lange eller korte rektangelsiden. Også for andre motstander kan programmene regne med usikre motstandstall.

4.2.2 VISUELL KONTROLL

Dette fører til at vi må foreta en nøyaktig kontroll, og korrigere for eventuelle avvik. Det første vi må forsikre oss om, er imidlertid at vi har angitt riktig antall terminaler. Videre er det nødvendig at kanalenes forgreninger er angitt i samsvar med det virkelige anlegget. Dette kan kontrolleres visuelt.

4.2.3 INNLEDENDE MÅLINGER (ORIENTERENDE MÅLINGER)

En slik visuell kontroll vil ikke være tilstrekkelig. Den eneste realistiske metoden for å undersøke hvordan anlegget virkelig er, er å måle hvordan luften fordeler seg med alle spjeld helt åpne. En slik måling forteller oss det vi trenger å vite om hvordan anlegget er.

4.2.4 KONTROLL AV OVERENSTEMMELSE

For å finne ut hvor god overenstemmelse det er mellom beregning og det vi har målt, har vi to muligheter:

1. Utbalanseringsberegning med målt totalluftmengde:

Utbalanseringsberegningen regner ut hvordan totalluftmengden fordeler seg i anlegget. Dersom beregningen stemmer med anlegget, skal resultatet vise den luftfordelingen vi har målt.

2. Trykkfallsberegning med målt luftfordeling:

I det virkelige anlegget fordeler luften seg slik at det blir likt trykkfall ut til alle terminaler. For at beregningen skal være riktig, må da resultatet vise dette. Nettopp fordi vi har lagt inn den luftfordelingen vi har målt. Det vil si at alle resttrykk skal bli null i beregningen.

4.2.5 KORRIGERING AV BEREGNING

Ved å trykkfallsberegne med de målte luftmengdene (nr.2 ovenfor), får vi et grunnlag for å korrigere beregningen: Alle resttrykk skal være null. Eventuelle resttrykk er uttrykk for avvik mellom beregning og det virkelige anlegg. Dermed har vi også tallfestet avvikene. Det vi ikke vet, er nøyaktig hvor avvikene befinner seg. Vi vet ikke om vi har angitt for mye trykkfall på en gren, eller for lite på en annen. Eller om feilen ligger i en hovedkanal eller ved en terminal.

EKSEMPEL:

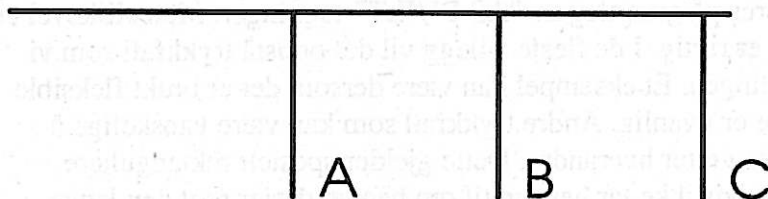


Fig.6

Sett at en trykkfallsberegning med målte delluftmengder for anlegget i fig.6 gir resttrykkene: $\Delta P_A=0$, $\Delta P_B=5\text{Pa}$ og $\Delta P_C=10\text{Pa}$.

Da har vi et hav av muligheter når det gjelder hvor vi har angitt feil trykkfall:

1. For mye i gren A og B
2. For lite i gren B og C.
3. Kombinasjon av 1 og 2.
4. 5Pa for lite i hovedkanal mellom A og B, og 5Pa for lite i gren C.
5. 2Pa for mye i hovedkanal mellom A og B, 7Pa for lite i gren B og 12 Pa for lite i gren C osv. osv.

Slik finnes det utallige løsninger. Hvilken som er den korrekte, er praktisk talt umulig å finne ut av. Det gjelder da å korrigere beregningen, slik at avvikene blir ubetydelige i forhold til det beregningen skal brukes til.

For SOL-metoden korrigerer vi beregningen ved å legge til resttrykkene på terminalene. Ved å gjøre dette, får vi motstandsforholdene mellom terminalene til å stemme. Med motstandsforhold mellom terminaler, menes her forholdet mellom motstandene fra vifte og ut til de forskjellige terminalene.

For hvert trinn i beregningen eller innreguleringen, kan luftmengden i anlegget betraktes i to deler: Luftmengden i den gren som innreguleres, og luftmengden i resten av anlegget. For den gren som innreguleres spiller det ingen rolle hvor de enkelte motstander er plassert i resten av anlegget, så lenge den resulterende motstand er slik at luftmengdeforholdet til resten av anlegget er i overensstemmelse med det vi har målt. Forholdet mellom to luftmengder er omvendt proporsjonalt med kvadratroten av forholdet mellom de tilhørende motstander.

For eksemplet i fig.6 betyr dette at:

$$\frac{q_C}{q_{AB}} = \sqrt{\frac{R_{AB}}{R_C}}$$

Der R_C er motstanden i gren C
og R_{AB} er resulterende motstand i resten av anlegget.

Vi har målt q_C og q_{AB} . Ved å korrigere beregningen på denne måten, "kalibrerer" vi beregningsprogrammet til disse luftmengdene. Forholdet mellom R_C og R_{AB} blir riktig, selv om de hver for seg kanskje ikke stemmer helt med anlegget. Når vi simulerer innregulering av gren C, endrer vi R_C i samsvar med et beregnet resttrykk. (NB! Resttrykkene må omregnes til motstandstall (ζ -verdier) før beregning utføres.) R_{AB} forblir uendret. Dermed får vi et nytt forhold mellom luftmengdene, og programmet beregner hvordan q_C må endres under innreguleringen.

Dette blir altså riktig fordi vi først "kalibrerer" beregningsprogrammet til de målte luftmengdene. Deretter trykkfallsberegner vi med prosjekterte luftmengder, og benytter resultatene herfra direkte i utbalanseringsberegninger med målt totalluftmengde. Da er det kun forholdet mellom luftmengdene som har betydning. Dersom beregningen kun skal benyttes til trykkfallsberegning, slik som ved DPM- eller forinnstillingsmetoden, vil denne korrigeringsmetoden kanskje i enkelte tilfeller gi et unøyaktig svar.

METODIKK

Arbeidsmetodikken for korrigering av beregning blir da som følger:

1. Samtlige delluftmengder måles, mens alle spjeld står åpne.
2. Anlegget trykkfallsberegnes med de målte delluftmengdene.
3. Der beregningen viser resttrykk, blir disse lagt inn, på terminal-grenene.

KORRIGERING AV DET TOTALE TRYKKFALLET

Ved å legge til resttrykkene, får vi altså motstandsforholdet mellom terminalene til å stemme. Vi klarer imidlertid ikke på denne måten å angi riktig totalt trykkfall i anlegget. Vi korrigerer kun for trykkfall som ligger slik til i systemet, at de påvirker forholdet terminalene i mellom. Sentralaggregat og luftinntak/-avkast får vi dermed ikke korrigert for. Men dette vil vanligvis heller ikke være nødvendig med tanke på innregulering. For å finne ut hvor mye som skal strupes, er det kun det innbyrdes forholdet mellom grener og terminaler som har betydning.

Men det kan hende vi ønsker å bruke beregningen i kombinasjon med viftediagrammet, f.eks. for å undersøke hva som skjer med totalluftmengden under innreguleringen. Dette kan ha sin nytteverdi i det at vi på et tidlig tidspunkt kan få beskjed om viften(-e) vil nå opp til prosjektert mengde etter innregulering (se kap.3.5.2). Da må beregningen være i samsvar med anlegget, også med hensyn til det totale trykkfallet.

Dette gjør vi ved å gå inn i viftediagrammet med den totalluftmengden vi har målt, og lese av hvilket trykk viften(-e) yter ved denne luftmengden. Beregningen kan så korrigeres i henhold til dette.

5 UTTESTING AV METODEN

Vi har i dette prosjektet testet ut metoden på tre forskjellige anlegg:

1. Prøveanlegg i Byggforsks ventilasjonslaboratorium
2. En del av ventilasjonsanlegget i 1.etg hos Byggforsk
3. SLEIPNER-A plattformen

5.1 PRØVEANLEGG NBI-LAB

Dette er et anlegg med åtte ventiler. I vedlegg 1 finnes en skisse av anlegget med input til trykkfallsberegningen, samt en av innreguleringsprotokollene. Vi brukte dette anlegget til å gjøre oss kjent med SOL-metoden, og for å se hvordan den fungerte med forskjellige forutsetninger. Vi forsøkte med forskjellige utgangspunkt mht. luftmengde ved start av innregulering. Og vi forsøkte metoden med og uten korrigering for totalluftmengdeendring. Innreguleringsprotokollen i vedlegg 1 er fra et av forsøkene vi gjorde. Her har vi foretatt en måling av totalluftmengden mellom hver justering, slik at beregningen ble løpende korrigert. Vi brukte her BALANS.

Beregningen til NBI-LAB ble korrigert som beskrevet i kap. 4.2.5. For å få en kontroll på hvor godt korregeringsmetoden fungerte for dette anlegget, ble luftfordelingen i anlegget målt ved forskjellige totalluftmengder. Disse målingene ble deretter sammenliknet med utbalanseringsberegninger med tilsvarende totalluftmengder.

Resultatene som er vist i vedlegg 2 viste at selv med ekstremt liten og ekstremt stor totalluftmengde, var avviket mellom beregnet luftmengde etter korreksjon og målt luftmengde mindre enn måleusikkerheten.

5.2 1.ETG BYGGFORSK

Vi valgte oss ut en lang korridor med 27 tilluftsventiler. Disse ble åpnet helt, slik at anlegget ble innregulert på nytt. Vi utførte her SOL-metoden på den måten, at vi på forhånd antok hvor mye totalluftmengden i hovedkanalen ville synke under innreguleringen. Vi kontrollerte underveis at dette stemte. Alle beregninger ble da utført på forhånd, slik at vi innregulerte etter en liste vi hadde med oss. Denne listen inneholdt for hver ventil, hvilken luftmengde den skulle ha før og etter justering. Dette er vist i vedlegg 3. Her finnes også resultatene fra innreguleringen. Vi innregulerte kun ventilene i forhold til hverandre, slik at totalluftmengden ligger under det prosjekterte.

Underveis ble det besluttet å omprosjekttere noen av ventilene. Men vi ser at resten av ventilene er i innbyrdes balanse med $\pm 5\%$ pluss målefeil.

Metoden viste seg her å være meget rask å utføre i praksis (ca 45min).

5.3 SLEIPNER-A

5.3.1 ANLEGGET

Den grundigste uttestingen av metoden ble gjort i modul D-21 (drilling) på SLEIPNER-A plattformen. Modulen bestod av fire dekk. Disse var inndelt i to soner, "HAZARDOUS" og "NON-HAZARDOUS". Sonene har hvert sitt separate avtrekksanlegg, mens ett tilluftsanlegg forsyner hele modulen. Den totale luftmengden i anlegget er ca ± 85.000 m³/h. Hele anlegget er vist på en isometrisk skisse i vedlegg 4. Vifterom for avtrekk er plassert på dekk 3 (Intermediate), og for tilluft på dekk 1 (Main).

Dette var et variert anlegg, med forskjellige typer ventilasjon. I "HAZARDOUS"-delen var det mange store områder med slam-behandling, pumper, tanker etc. Her skulle det av sikkerhetsmessige årsaker være et visst undertrykk, slik at tilluftsmengden var 80% under avtrekket. "NON-HAZARDOUS"-delen bestod av alt fra lagre, trafo- og el. kontroll-rom, til vanlig kontorventilasjon. Luftmengdene per terminal varierte fra 100m³/h til 18.000m³/h! Vi fikk her prøvd ut SOL-metoden under ekstreme forhold. Det vil si at dette var et stort anlegg, med store luftmengder, høye hastigheter og "uberegnelige trykkfall".

5.3.2 KANALBEREGNINGER

PROGRAM

Vi hadde opprinnelig tenkt å bruke beregningsprogrammet BALANS (VEKST). Men det viste seg at BALANS ikke klarte å utbalansere noen av disse anleggene med god nok nøyaktighet. Årsaken var antakelig at det ble for store enkeltmotstander. Vi gikk da i stedet over til å bruke DDUCT-N (FLATHEIM). Dette var imidlertid langt mer tidkrevende å bruke.

KORRIGERING

Alle beregninger ble korrigert på følgende måte:

- Samtlige delluftmengder ble målt med alle spjeld åpne.
- Anlegget ble trykkfallsberegnet med målte luftmengder.
- Eventuelle resttrykk ble lagt inn i beregningen på terminal-grenene.

Her var det ofte ingen alternativer til å legge resttrykkene på terminal-grenene. Der hvor det kunne være aktuelt å legge noe i hovedkanalen, var det lite sannsynlig at feilen lå der. Målingene under innreguleringen viste imidlertid at det var god overenstemmelse mellom anlegg og beregning.

5.3.3 INNREGULERING

Siden anlegget var såpass stort og variert, fikk vi anledning til å forsøke metoden i flere varianter: Vi forsøkte flere måter å korrigere for totalluftmengde-endring, og vi forsøkte å måle på forskjellige steder under innreguleringen.

AVTREKK HAZARDOUS

I dette systemet var det såpass dårlig med målemuligheter, at vi flere steder måtte slå sammen flere ventiler til én terminal.

Fra viftene gikk det kun én hovedkanal, som forgrenet seg nedover i dekk 3,2 og 1. Vi foretok her på forhånd en beregning av hvordan totalluftmengden ville endre seg under innreguleringen (beskrevet i kap.3.5.2). Denne viste at totalluftmengden ville synke fra 43.000 til 38.500m³/h. Videre antok vi på grunnlag av størrelsen på resttrykkene, hvor stor endringen ville bli etter hver justering. Dette viste seg å stemme godt overens med det som virkelig skjedde. Ved sluttkontrollen målte vi en totalluftmengde på 39.000m³/h.

Ved to av terminalene var det umulig å måle luftmengdene. Vi brukte da beregningene, og fant ut hvor mye luftmengden i en annen gren ville stige ved innregulering av disse. Dette fungerte bra. Sluttkontrollen viste maksimalt avvik på 6%.

AVTREKK NON-HAZARDOUS

Ut fra viftene gikk det her en stor og flere små kanaler, slik at det var naturlig å dele opp anlegget. Vi rakk kun å innregulere den store kanalen som forsynte 1.,2. og 3. dekk.

Vi antok her hvordan totalluftmengden ville endre seg, ved innregulering av de første terminalene. Deretter foretok vi en totalluftmengdemåling, før vi utførte resten av beregningene.

Her var det tilstrekkelig med målestasjoner. Vi fikk derfor foretatt en skikkelig sluttkontroll. Denne viste at vi hadde oppnådd prosjekterte luftmengder med et maksimalt avvik på 7%.

TILLUFT

Ut fra tilluftsviftene gikk det én hovedkanal til HAZARDOUS-sonene, og én til NON-HAZARDOUS. Disse ble beregnet og innregulert uavhengig av hverandre.

Målestasjonen i hovedkanalen til HAZARDOUS var plassert praktisk talt midt i avgreningen. Her var det umulig å foreta noen nøyaktig avlesning. Vi måtte derfor regne med et gjennomsnitt av det vi målte, og anta endringen underveis i innreguleringen. Det vi målte når vi kom til de forskjellige terminalene, stemte imidlertid godt overens med beregningen.

Det manglet i HAZARDOUS-delen noen målestasjoner, men de terminalene vi fikk kontrollert til slutt, lå innenfor ±9%.

NON-HAZARDOUS-delen forsynte alle fire dekkene. Hele denne delen ble beregnet under ett.

Vi foretok her fire målinger av totalluftmengden underveis. På denne måten ble anlegget beregnet og innregulert i fire trinn.

De tre nederste dekkene ble innregulert hurtig og greit. Men på det 4. dekket (Upper), viste det seg å være en del anleggstekniske mangler. Det ble da besluttet å foreta visse ombygginger. Vi fikk derfor ikke fullført denne innreguleringen.

5.3.4 MÅLESTASJONER

Det er i dette anlegget montert målestasjoner fra Baas-Component. Dette er en av de mest nøyaktige målestasjonene som brukes i dag. Nøyaktigheten er god også når stasjonen er montert nedstrøms for strømnings tekniske forstyrrelser.

Med tanke på å kontrollere SOL-metodens nøyaktighet, skulle da dette i utgangspunktet være et meget egnet anlegg. Men det viste seg at stasjonene var montert i et begrenset antall. Plasseringen av dem kunne også virke noe tilfeldig. Det var f.eks. ikke gjennomført plassering i alle grener (terminaler eller grupper av terminaler), i noen del av anlegget.

Vi var da nødt til å foreta en del Prandtl-rørs målinger, hvilket er meget tidkrevende. En ting er å foreta en måling for å finne ut hvilken luftmengde som går i kanalen. Noe ganske annet er å bruke Prandtl-rør kontinuerlig mens spjeldet strupes. Det tar tid dersom vi skal oppnå en nøyaktig luftmengde (og det skal vi!).

Enkelte steder var det umulig å finne målepunkter med tilstrekkelig rett strekk foran. Dette kunne vi med SOL-metoden løse ved å måle et annet sted (se kap.3.4). (Med en annen metode måtte vi ha innregulert etter usikre målinger, eller i verste fall antagelser.) Men vi fikk da ikke utført noen sluttkontroll på disse terminalene.

I dette anlegget hadde vi ved å investere i noen få målestasjoner til, oppnådd:

- Betydelig reduksjon i tidsforbruk til innregulering.
- Langt mer nøyaktig innregulering.
- Muligheter for skikkelig etterkontroll og oppfølging.

Reduksjonen i tidsforbruk er naturligvis avhengig av kravet til nøyaktighet. Det er ikke spesielt tidkrevende å bruke Prandtl-rør hvis man kun måler senterhastigheten i kanalen. Men da blir det ikke nøyaktig! I praksis sløyfes også ofte enkelte målesteder ved at man i steden beregner luftmengden i en kanal ved hjelp av det man har målt i andre. Men da får man ikke med eventuell lekkasje, og måleusikkerheten øker. Måles det f.eks. luftmengder i tilførsel og det ene utløpet til en T-fordeling med målefeil $\pm 5\%$, kan usikkerheten bli ca. $\pm 9\%$ dersom man regner at luftmengden i det andre utløpet er lik differansen, (usikkerheten i den beregnede luftmengde avhenger av luftmengdefordelingen).

Her dreier det seg om holdninger til innregulering. Hvis vi virkelig ønsker de luftmengdene som er prosjektert, må innreguleringen utføres nøyaktig. Da vil det ofte være penger å spare på å investere i skikkelige målestasjoner.

5.3.5 OPPSUMMERING

Vi møtte i dette anlegget en del praktiske problemer, som gjorde at vi ikke fikk innregulert så mye som vi hadde håpet. Vi fikk allikevel prøvd ut SOL-metoden under forskjellige, og til dels meget vanskelige forhold.

Kanalberegningene med vår korrigeringsmetode, viste seg her å stemme godt overens med det virkelige anlegget.

Problemet med at totalluftmengden endrer seg under innreguleringen, lot seg håndtere på flere enkle måter.

SOL-metoden var meget rask å utføre i praksis. Selve kanalberegningene tok imidlertid en del tid. Dette vil ikke være noe problem i fremtiden, da eksisterende programmer allerede er i ferd med å forbedres.

Sluttkontroll viste at oppnådd nøyaktighet var bedre enn det vi kunne forvente i dette anlegget.

Konsekvensen av manglende målestasjoner, var drastisk mht tidsforbruk og nøyaktighet.

6 SOL-METODEN I FREMTIDEN

Vi har i dette prosjektet prøvd ut metoden i et vanlig kontorbygg, og i et ekstremt offshore-anlegg. I begge tilfeller fungerte metoden bra.

I hvilken grad vi kan oppnå bedre nøyaktighet med SOL-metoden enn med andre metoder, er vanskelig å dokumentere. Men alt tyder på at det er enkelt å oppnå god nøyaktighet. Vi har ikke her det forholdet at bedre nøyaktighet krever økt tidsforbruk, slik som ved proporsjonalmetoden.

Det er ingen tvil om at metoden i praksis er tidsbesparende i forhold til andre metoder. Men tidsforbruket til beregninger kan reduseres ytterligere. Slik dagens beregningsprogrammer fungerer, tar beregningsprosessen unødvendig lang tid. Dette er noe som er i ferd med å bli endret på. Det arbeides allerede med å tilpasse BALANS til SOL-metoden.

6.1 KRAV TIL PROSJEKTERING

I fremtiden vil det sannsynligvis stilles strengere krav til at anleggene trykkfallsberegnes under prosjekteringsfasen. Da vil det også være enkelt å gjøre de nødvendige utbalanseringsberegninger for SOL-metoden. De innledende målingene må foretas allikevel, uansett hvilken metode som skal benyttes! Ved proporsjonalmetoden må de enkelte terminalenes/grenenes forholdstall beregnes før start av innregulering. Og DPM- og forinnstillingsmetoden baserer seg på at trykkfallsberegningen stemmer. For å kontrollere dette, må innledende målinger foretas. Det vil altså ikke kreve mye ekstra forarbeid å innregulere etter SOL-metoden.

6.2 AUTOMATISERT BEREGNINGSPROSESS

Det ideelle for SOL-metoden, hadde vært å lage et program som automatisk utfører alle beregningene. Dette programmet kan vi tenke oss i tre trinn:

1. Korrigering av beregning
2. Trykkfallsberegning med prosjekterte luftmengder
3. Utbalanseringsberegninger

Input til programmet vil da foruten den vanlige anleggsbeskrivelsen til trykkfallsberegningen, være:

- Målte luftmengder (med åpne spjeld)
- Prosjekterte luftmengder
- Innreguleringsrekkefølge

På grunnlag av de målte luftmengdene kan programmet korrigere beregningen. Dette kan f.eks. skje ved at anlegget blir trykkfallsberegnet med de målte luftmengdene. Og at resttrykkene fra denne beregningen blir lagt inn på terminal-grenene. Når programmet så har utført trykkfallsberegning med prosjekterte luftmengder, kan ett og ett resttrykk legges inn i angitt rekkefølge. For hvert nytt resttrykk som legges inn, utføres en utbalanseringsberegning. På denne måten simulerer programmet hele innreguleringsforløpet. Deretter kan programmet skrive ut en innreguleringsprotokoll, der det står hvilke luftmengder de forskjellige terminalene skal innstilles til. Det nødvendige forarbeidet vil dermed være redusert til et minimum.

6.3 AUTOMATISERTE LUFTMENGDEMÅLINGER

I offshore-sammenheng har det vært forsøkt å bruke utstyr for automatisk avlesning av luftmengder. Fra en PC kan vi da lese av hvilke luftmengder som til enhver tid går i de forskjellige kanalene. (Dette forutsetter tilstrekkelig med målestasjoner). Et slikt system brukt i kombinasjon med SOL-metoden, vil gi en meget rask og nøyaktig innregulering (se vedlegg 5). Dette fordi PC'en da kontinuerlig sammenlikner verdiene fra beregningen med hele det virkelige anlegget mens vi innregulerer. De enkelte spjeldene innstilles ikke bare på grunnlag av luftmengden gjennom det aktuelle spjeldet, men på grunnlag av luftfordelingen i hele anlegget. Det er denne som skal være i samsvar med utbalanseringsberegningen (simuleringen).

7 FORDELER OG ULEMPER VED SOL-METODEN

FORDELER

- Den praktiske innstillingen er raskere enn for noen annen metode.
- Metoden stiller ingen spesielle anleggstekniske krav. Men i likhet med proporsjonal- og DPM-metoden, er oppnådd nøyaktighet avhengig av de muligheter anlegget gir for måling av luftmengder.
- Ved innregulering trengs ikke annet utstyr enn instrumenter for måling av luftmengder.
- Normalt kan metoden utføres av én person.
- Vi får under innreguleringen en løpende kontroll på trykkfallsberegningens overenstemmelse med anlegget. Vi får også en kontroll på om vi har utført metoden riktig.
- Aktiv bruk av trykkfallsberegninger under prosjekteringsfasen, gjør at vi på et tidlig tidspunkt kan oppdage og rette opp uheldige kanalløsninger. På denne måten kan vi på god vei "innregulere anlegget fra tegnebordet".
- Under innreguleringens første fase der innledende målinger sammenliknes med EDB-beregninger, vil eventuelle feil og mangler ved anlegget bli oppdaget.
- Ved å stille inn etter en luftmengde-ending i en annen kanal enn der vi struper, kan vi utnytte de mest nøyaktige målepunktene i anlegget.

ULEMPER

- Metoden krever kompetanse i bruk av EDB-beregninger. I noen tilfeller vil den også kreve EDB-utstyr (helst bærbart) under den praktiske innreguleringen.
- Innledende målinger av luftmengder må utføres på alle terminaler.
- Metoden forutsetter at luftmengdene i anlegget kan måles korrekt.

8 LITTERATUR

1. Terje Åsberg: "Klargjøring og innregulering av ventilasjonsanlegg etter proporsjonalmetoden."
NBI-anvisning 16-2, Oslo 1980
2. Terje Åsberg: "Klargjøring og innregulering av ventilasjonsanlegg. Forinnstillingsmetoden."
NBI-anvisning 16-10, Oslo 1983
3. Bjørn Tore Larsen, VEKST, Hallstein Ødegård, FAREX A/S:
"Ny metode for innregulering av ventilasjonsanlegg" (DPM-metoden)
Norsk VVS 9/91
4. Kjell Petter Bruun, Odd Magne Solheim:
Hovedoppgave Oslo Ingeniørhøgskole
"Trykkfallsberegning og innregulering" 8/5-1992

Vedlegg 1

N6456		NBI - VENT.LAB.															
Beregning:										Innregulering:		Dato:		3/8-92		Sign.: OMS	
Node	Ø (mm)	l (m)	Detalj	Ventil	Motst	Korr	Luftmengde (m ³ /h)		Beregning:		Kontr. e.	Innreg.					
0-10	315	10,0			ζ	ζ	Pros.	Orient.	Sum delluft	Resttr.	Luftm.	Luftm.	Avvik				
10-15	160	0,3	T					måling	=målt tot/lf	(Pa)	(m ³ /h)	(m ³ /h)	%				
15-20	160	1,0	Bend 90°														
20-30	160	3,6															
30-35	160	0,2															
35-40	125	3,3	Overg.														
40-42	125	3,6															
42-44	125	0,4	Bend 90°														
44-50	125	1,1	Bend 90°	KGEB	13,3	8,8	100	90	1147	0	90	100	0				
40-55	125	0,4	T														
55-60	125	1,1	Bend 90°	INVENT	5,0	4,6	100	152	1136	53	105	101	1				
30-65	125	0,4	T														
65-70	125	1,1	Bend 90°	INVENT	5,0	5,0	100	170	1119	64	115	100	0				
20-75	125	0,4	T														
75-80	125	1,1	Bend 90°	KGEB	13,3	15,6	100	105	1119	7	113	102	2				
10-200	315	0,3															
200-205	160	0,5	T														
205-210	160	1,3	Bend 90°														
210-220	160	3,6															
220-230	160	3,6															
230-232	160	0,2															
232-234	125	3,3	Overg.														
234-236	125	0,8	Bend 90°														
236-240	125	1,1	Bend 90°	EVG+FPF	2,5	0,0	100	135	1119	63	76	95	-5				
230-245	125	0,8	T														
245-250	125	1,1	Bend 90°	EVG+FPF	2,5	0,7	100	150	1106	66	96	100	0				
220-255	125	0,8	T														
255-260	125	1,1	Bend 90°	EVG+FPF	2,5	2,9	100	160	1089	70	113	105	5				
210-265	125	0,8	T														
265-270	125	1,1	Bend 90°	EVG+FPF	2,5	5,2	100	185	1062	81	128	100	0				
Kommentarer:						SUM:	800	1147			803	100,38					
Korreksjon= beregnet resttrykk , omregnet til						Målt tot.:	1188										
motstandstall for å få beregningen til å stemme						Lekkefaktor, lf:	1,036										
med orienterende målinger med åpne spjeld						Måleinstrument:	SWEMA måletrakt										

Vedlegg 2

TABELL OVER KONTROLL AV ANLEGGSKORREKSJONER, NBI - LAB

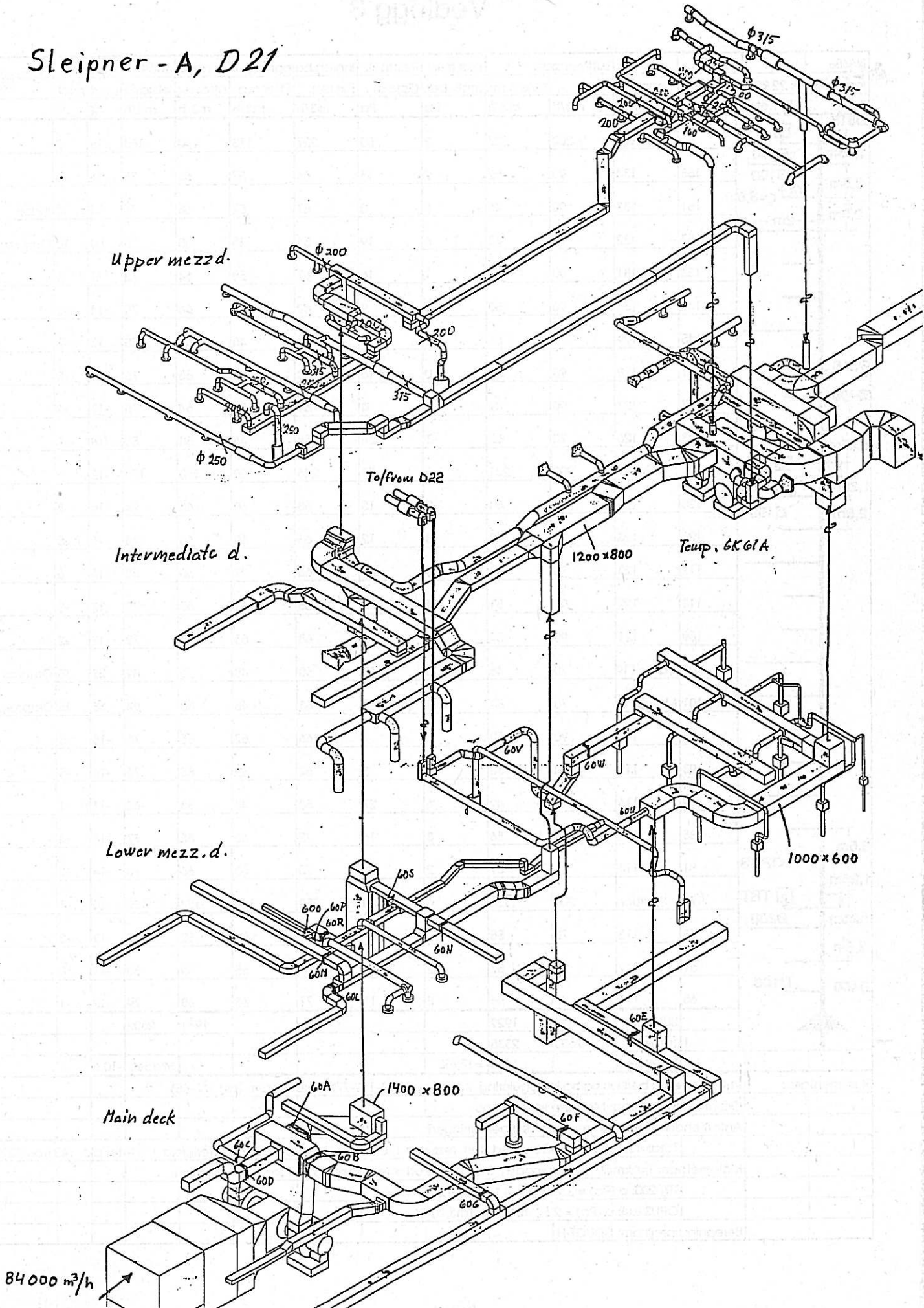
ventil nr	50	60	70	80	240	250	260	270
*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
målt luftmengde [m ³ /h]	35	65	67	41	53	57	63	78
beregnet luftmengde [m ³ /h]	35	62	67	41	54	59	64	75
avvik [%]	+1	-5	0	0	+2	+4	+2	-4
*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
målt luftmengde [m ³ /h]	53	95	105	62	80	92	100	120
beregnet luftmengde [m ³ /h]	55	96	105	63	82	93	100	114
avvik [%]	+4	0	0	+2	+2	+1	0	+5
*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
målt luftmengde [m ³ /h]	72	125	140	85	110	120	130	160
beregnet luftmengde [m ³ /h]	73	125	139	86	111	124	131	152
avvik [%]	+2	0	-1	+1	+1	+3	+1	-5
*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
målt luftmengde [m ³ /h]	95	160	175	110	140	155	170	200
beregnet luftmengde [m ³ /h]	95	160	178	110	142	158	168	194
avvik [%]	0	0	+2	0	+1	+2	-1	-3
*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
målt luftmengde [m ³ /h]	115	190	210	135	170	185	200	230
beregnet luftmengde [m ³ /h]	113	190	212	131	172	186	200	231
avvik [%]	-2	0	+1	-3	+1	+1	0	0

Vedlegg 3

N6456	Posisjon	Luftmengde		Korr. trykk	Resttrykk	Innreg.beregning		Kontroll	Målt +	Avvik fra	Anm.		
Innreg.data: 22.09.9	Beregn.	Tegning	Prosj.	Orient.mål	målt=ber.	(Spjeld)	Før reg.	Etter reg.	etter reg	lekkasje	prosj	midl.	
Skisse: NBI 1.etg.	Knutepkt	Rom nr.	m3/h	m3/h	Pa	Pa	m3/h	m3/h	m3/h	m3/h	%	%	
	61	Korridor	200	227	2	50	227	113	140	164	-18	-7	
	165	134	90	52	2	13	64	57	64	75	-16	-6	
	161	133	90	46	5	0	57	57	66	77	-14	-4	Index
	157	132	70	43	6	19	53	45	60	70	0	10	Omprosj.
	153	131	90	54	1	16	67	58	64	75	-17	-6	
	149	130	90	50	3	9	62	58	66	78	-14	-3	
	145	129	70	51	2	31	64	45	49	58	-17	-7	
	141	128	90	55	0	18	70	59	65	76	-15	-5	
	137	127	90	49	5	4	61	59	64	75	-17	-6	
	133	126	70	55	1	36	68	46	50	58	-16	-6	
	129	Korridor	200	231	0	51	246	120	150	176	-12	-1	
	125	125	90	54	2	15	68	60	63	74	-18	-8	
	121	124	90	53	3	12	66	60	65	76	-16	-5	
	117	123	70	51	3	31	65	47	50	58	-16	-6	
	113	122	90	51	4	8	65	61	67	78	-13	-3	
	109	121	90	54	3	13	68	61	67	79	-12	-2	
	105	Møter.119	70	48	6	25	60	48	76	89	27	38	Omprosj.
	101	Møter.119	70	50	5	28	63	48	80	94	35	45	Omprosj.
	97	118	90	52	5	7	66	62	65	76	-15	-5	
	93	117	90	50	6	3	64	62	65	76	-16	-5	
	89	116	70	49	6	27	63	49	53	62	-11	-1	
	85	115	90	56	3	16	72	63	65	77	-15	-4	
	81	114	90	59	2	20	75	63	66	78	-14	-3	
	77	Korridor	200	223	6	50	250	127	154	180	-10	1	
	73	113	70	55	2	35	73	50	52	62	-12	-2	
69	112	90	57	2	19	76	65	69	80	-11	0		
65	111	90	54	5	11	71	65	68	79	-12	-1		
	SUM		2600	1929				1961	2302				
	1 Totalmål.		2600	2335									
	Lekkasje			406	=17,6%				Midde:	-10,6	0		
Kommentarer:		Rekkefølge på beregning og Innregulering: Korridor (pkt.61-129-77), deretter rom (pkt.165-65).											
		Orienterende måling: Med alle spjeld åpne.											
		Antatt endring i totalluftmengde ved beregningen:											
		Total = sum orient. måling ved start, redusert 1 % for hver korridorventil og ytterligere 1 % etter pkt. 145 (rom 129)											
		Målemetode: Trykkmåling med sonde på ventilene etter fabrikkens anvisning og diagram:											
		TRT 200: $p \text{ (Pa)} = 2,969 \cdot 10^{-4} \cdot q \text{ (m3/h)}^2$											
		OPUS 8x4: $p \text{ (Pa)} = 2,62 \cdot 10^{-3} \cdot q \text{ (m3/h)}^2$											
		Beregningsprogram: DDUCT-N											

Vedlegg 4

Sleipner - A, D21



Vedlegg 5

Notat til NBI.

Stavanger 01.10.1992.

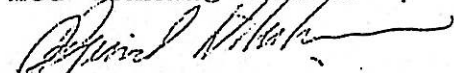
Vedrørende: Innregulering med "SOL" metoden i D-21.

Odd Magne Solheim fra Deres firma har vært på besøk hos oss for å teste ut denne innreguleringsmetode på flere av våre anlegg i D-21. Denne målemetode ser ut til å fungere bra, samt at den er tidsbesparende i forhold til andre metoder under visse forutsetninger som er:

- a. Tilstrekkelig med målestasjoner/målepunkter.
- b. Tilstrekkelig med reguleringsspjeld.
- c. Riktig plassering av målestasjon/spjeld.

Fordelen med metoden er at du på forhånd får informasjon om hvor innregulering skal starte, samt riktig mengde. Vi har testet dette på avtrekk/tilførsel. Etter innregulering i henhold til beregning og påfølgende sluttkontroll, var resultatet helt utrolig bra. Minus ved denne metode kontra PC-innregulering er dokumentasjonen som vi da får opp som dynamiske verdier på skjerm. På et offshore anlegg er dette en viktig side. Men hvis man i fremtiden kunne kombinere disse to metoder vil man kunne spare både tid og penger, samt at man vet at målte verdier er riktige.

Med vennlig hilsen



Øyvind Nikolaisen
HVAC COMM SLEIPNER A.

