



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

R129:1985

Flercellsmodellen

**Den generella metoden för beräkning
av luftväxling i hus**

Stig Bergström

R
A No

INSTITUTET FÖR
BYGGDOKUMENTATION

Accnr

Plac

su

Byggforskningsrådet

R129:1985

FLERCELLSMODELLEN

Den generella metoden för beräkning
av luftväxling i hus

Stig Bergström

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 781245-7
från Statens råd för byggnadsforskning till Tyréns
Företagsgrupp AB, Sundbyberg.

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

R129:1985

ISBN 91-540-4482-0
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Liber Tryck AB Stockholm 1985

INNEHÅLL:

SAMMANFATTNING	5
1 INLEDNING	7
2 BERÄKNINGSMODELLEN I PRINCIP	9
3 BEGREPP OCH DEFINITIONER	16
3.1 Allmänt	16
3.2 Begrepp	16
3.3 Numrering	17
3.4 Beräkningsstorheters riktning	17
APPENDIX A:	
A BEGREPP OCH DEFINITIONER	19
A.1 Luftcell, kanalsnitt samt luftväg	19
A.2 Luftflöden	20
A.3 Fiktiga luftpelare	20
A.4 Fiktiva kanalförbindelser	20
A.5 Beräkningsstorheters riktning	20
A.6 Jämviktstryck	21
A.7 Motstånd	22
A.8 Luftkrets	22
A.9 Drivkrafter	24
APPENDIX B:	
B FUNKTIONER OCH SAMBAND FÖR BERÄKNINGSARBETEN	28
B.1 Motstånd - tryckfallsberäkning	28
B.1.1 Läckningsmotstånd	28
B.1.2 Engångsmotstånd	29
B.1.3 Genmotstånd	32
B.1.4 Friktionsmotstånd	38
B.1.5 Fläktar	39
B.2 DRIVKRAFTER	40
B.2.1 Termiska krafter	40
B.2.2 Vindtryck	42
B.2.3 Fläktar	43
B.3 Flödesekvationen	43
B.4 Tryckekvationen	43
B.5 Temperaturer i luftceller och kanalsnitt	46

Innehåll /forts/

APPENDIX C:

C	BERÄKNINGSMODELL	47
C.1	Beräkningssamband	47
C.2	Ett principfall	48
C.2.1	Beräkning av flöden och jämviktstryck för ett visst temperatur- och vind- belastningsfall	48
C.2.2	Lösning av ekvationssystem	49
C.2.3	Matrisberäkning	59
C.3	BERÄKNING AV STRYPNING I LUFTDON OCH ARBETSPUNKT PÅ FLÄKTKURVA	62
C.3.1	Beräkning av jämviktstryck i luft- celler	62
C.3.2	Beräkning av tryckfall och jämvikts- tryck i ventilationssystem	62
C.3.3	Beräkning av tryckfall i luftdon och fläkttryck	63
C.4	Stora hus	64

BILAGA 1

BILAGA 2

BILAGA 3

SAMMANFATTNING

En metod för beräkning av ventilation och läckflöden i hus utarbetades 1978-79 av Per Olof Nylund och publicerades i Byggeforskningens skrift T4:1979 "Tjyvdrag och ventilation". Denna analys förutsätter inre helt otäta hus och ventilationssystem med konstanta av klimat och av husets egenskaper oberoende drifttegenskaper.

Föreliggande rapport behandlar byggnader med ett godtyckligt antal rum och med luftflöden och otätheter mellan alla dessa rum liksom mellan rummen och husets yttre omgivning. Metoden innefattar också klimatpåverkan på förhållandena inom ventilationskanalsystemen.

Analysen består av ett antal samband för tryckförhållanden i alla erforderliga punkter. Dessa har fått ges nya namn som "luftcell", "kanalsnitt" etc. På motsvarande sätt har benämningar och beteckningar för en rad andra fysikaliska företeelser fått definieras i arbetet för att medge en entydig framställning.

Ytterligare ett led i arbetet har varit att uppställa flödesekvationer på motsvarande sätt som tryckekvationerna. Flödes- och tryckekvationer tillsammans ger ett tillräckligt stort antal samband för att de obekanta storheterna skall kunna lösas ut. Sambanden är emellertid inte linjära, varför ett iterationsförfarande blir nödvändigt för att ekvationssystemet skall kunna lösas.

Detta iterationsförfarande bygger på kända matematiska principer och beskrivs i presentationen av teorin.

Ett användningsområde skapas med all sannolikhet spontant av de allt mer stigande kraven på energihushållning. Detta var också den ursprungliga anledningen till arbetet. I stora hus är ventilationen den i särklass största energiförbrukningsposten och ofta händer idag i befintliga hus att den ventilation som är oönskad och ostyrd och som sker genom inre och yttre otätheter i en byggnad har större betydelse ekonomiskt än den styrda ventilationen.

Senare har framkommit att det redan finns angelägna behov inom andra områden där man sålunda efterlyst de beräkningsmöjligheter metoden ger. Hit hör problem med spridning av gaser i krissituationer, t ex spridning av rökgaser i samband med brand.

Metoden är fullt användbar vid diagnostik och dimensionering av ventilation. Även om det är svårt att förutskicka hur den framtida användningen av beräkningar kommer att bli, kan ändå klart förutses att behovet redan idag finns för att med större skärpa kunna definiera en ventilationsfunktion i såväl nya som gamla byggnader.

Ventilationsfunktionen har även en stor hygienisk betydelse. De hygieniska aspekterna har haft särskild vikt i samband med ökade krav på täthet särskilt i bostäder. Stora hygieniska problem har uppstått för vissa kategorier bostäder och för närvarande finns inte särskilt stor arsenal att använda för att komma fram till ett såväl hygieniskt som ekonomiskt optimalt resultat när det gäller ventilation. Här kan man också tänka sig att metoden får en stor betydelse om och när nya ventilationssystem för bostäder utformas.

Beräkningsarbetet är mycket omfattande. Nästa steg är anpassning till datoranvändning. Ett datorprogram som gör det möjligt att lösa även mycket stora system kan konstrueras enligt de erfarenheter av likartade problem som finns.

1 INLEDNING

Småhus (villor och radhus) kan betraktas som invändigt öppna. De termiska drivkrafterna för läckluftflöden kan därför anses verka på ytterskalet direkt. När det gäller småhus är dessutom vindkrafter minst lika betydelsefulla som termik när det gäller oönskad läckning och/eller s k självdragsventilation. Redan existerande beräkningsmetoder leder till nöjaktiga resultat. Det inre jämviktstrycket måste emellertid bestämmas med hjälp av passningsmetoder och en ytterligare osäkerhet utgör den utomordentligt komplicerade tryckbild som vindströmning kring huskroppar ger upphov till. De beräkningsmetoder som finns publicerade tar hänsyn till schematiska tryckbilder kring husen och anger närmast en nöjaktig bild och en rimlig storleksordning av luftläckningen som funktion av tätheten hos byggnaden.

Termiken är - i motsats till vindbelastning - både en stabil funktion av temperaturen med stationär flödesbild och en känd funktion.

För högre byggnader ökar den relativa betydelsen av termik. Termiken har betydligt större varaktighet än höga vindstyrkor. Det är därför motiverat att studera tryck och flöden i höga hus trots att närmare kännedom om fördelning av vindtryck ännu inte föreligger.

Att termiken inverkar på ventilationen är väl känt och en noggrann ventilationsprojektering bör ta hänsyn till på grund av termiken varierande flöden i ventilationssystemet. I mycket höga byggnader sektioneras ventilationssystemen i vertikalled. Skälet härtill är att de termiska drivkrafterna kan uppnå avsevärd storlek i höga hus.

Termiken utgör alltså lika väl som fläktar en drivkraft för ventilationsflöden. I allmänhet har byggnader som hittills uppförts varit så pass otäta invändigt att man, då drivkrafter av termik medräknats, betraktat byggnaden såsom varande invändigt helt öppen. Detta betraktelsesätt medger att drivkraften av termik kan beräknas om "neutrala lagrets" nivå (= nivå där trycket ute och inne är lika stort) kan bestämmas.

Inverkan av termik kan också beräknas med hjälp av P.O. Nylunds systemanalys* men även här förutsätts att byggnaden invändigt är helt otät.

* P.O.Nylund: "Tjyvdrag och ventilation" BFR T4:1979

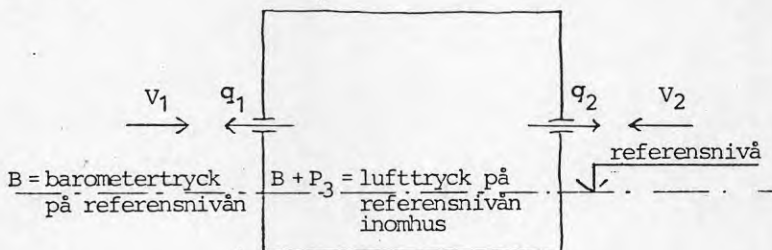
Syftet med forskningsprojektet är att komma tillrätta med problematiken kring större byggnader med den exponentiellt ökande komplexitet som ett ökande antal rum med dithörande ventilationskanaler för till- och frånluft innebär. I litteraturen finns inte mycket som är direkt tillämpligt på denna problematik. Därför har arbetet fått inledas med att definiera de olika samband som finns. Därefter har arbete med att systematisera beräkningsgången genomförts.

En optimering av samtliga åtgärder med anknytning till ventilation och täthet är i och med detta arbete åtminstone teoretiskt möjlig. I slutänden är det även fråga om att belysa energiförbrukningen som funktion av ventilation och täthet. Luftläckningen och komfort kan också behandlas.

2 BERÄKNINGSMODELLEN I PRINCIP

En fullständig redogörelse av funktioner och samband ges i APPENDIX B. Beräkningsmodellen beskrivs ingående i APPENDIX C. Här nedan väljs att visa beräkningsmodell och samband med ett enkelt exempel.

Som exempel väljs ett envånings radhus i en radhuslänga. Husets sidoväggar, golv och tak antas helt täta. Ytterväggarna på husets fram- och baksida har en otäthet som svarar mot en luftläckning av $5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$ vid 50 Pa . Vardera väggarean är 25 m^2 . Huset är ur luftläckningssynpunkt invändigt helt öppet och har en volym av 250 m^3 . Vi önskar beräkna luftläckningen vid ett tillfälle då vindtrycket V_1 på lovartväggen är 42 Pa och V_2 på läväggen är -30 Pa . För enkelhets skull antas att huset saknar ventilationssystem och att lufttemperaturen inne och ute är lika. Se FIGUR 2.1.



FIGUR 2.1

Trots att exemplet är löjligt enkelt kräver en beräkning av luftläckningen att ett ekvationssystem bestående av tre ekvationer löses. Eftersom två av ekvationerna blir olinjära måste en iterationslösning tillgripas. Principen är som följer.

Man börjar med på försök valda värden på alla variabler, flödena q_1 och q_2 samt det s k jämviktstrycket P_3 . När dessa sätts in kommer värdet av ekvationernas vänsterled i allmänhet ej bli lika med respektive högerled.

Den standardprocedur man använder för att nå ett resultat*) går ut på att ekvationssystemet "lineariseras" genom att de ekvationstermer som utgörs av variabeluttryck utbyts mot motsvarande tangentuttryck. Detta innebär att t ex en term $f(x)$ utbyts mot

$$f(x^*) + \Delta x \cdot f'(x^*),$$

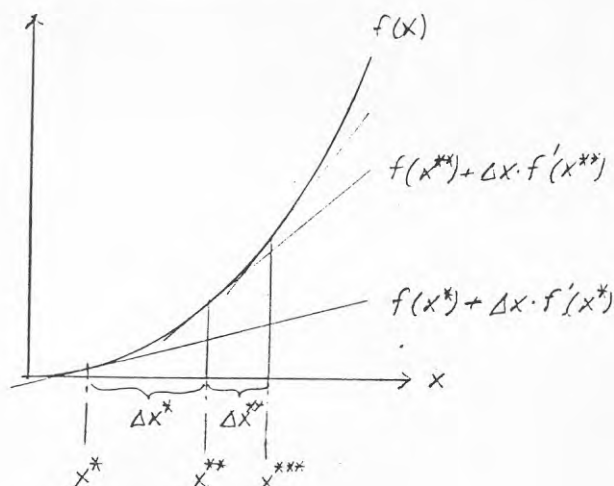
där x^* är det på försök valda variabelvärdet. Det lineariserade ekvationssystemet löses på vanligt sätt.

* Newton Raphsons metod.

Lösningen ger Δx -värdet Δx^* . Detta används till att förbättra det på försök valda x -värdet till

$$x^{**} = x^* + \Delta x^*.$$

I nästa iterationssteg upprepas lineariseringsproceduren med x^* utbytt mot x^{**} etc, FIGUR 2.2.



FIGUR 2.2

Efter ett visst antal iterationssteg blir vid insättningen av de förbättrade variabelvärdena i de ursprungliga ekvationerna värdet av vänsterleden godtagbart lika med högerleden och därmed en godtagbar lösning funnen.

I tabell 2.1 nedan visas på försök valda värden och den lösning man får efter tre iterationssteg. q_1 resp q_2 betecknar läckflöde ut ur huset genom lo-vart- resp läväggen. P_3 betecknar skillnaden mellan luftrycket inomhus och utomhus.

TABELL 2.1

Variabel	q_1	q_2	P_3
Sort	m ³ /h	m ³ /h	Pa
Valda värden	-36	36	0
Lösning	-103	103	6

Som synes motsvarar läckluftflödet genom huset ca 0,4 oms/h och är alltså ej försumbart.

I alla utom mycket enkla fall, såsom det ovan visade, blir beräkningsvolymen så pass stor att beräkning med matriskalkyl i dator blir nödvändig.

Nästa steg i denna redovisning är att något mer detaljerat visa beräkningsgången i det valda exemplet.

FIGUR 2.1 visar ett rum som kommunicerar med uteluften via två luftvägar genom flödena q_1 resp q_2 . Där luftvägarna mynnar till uteluften verkar vindtrycken V_1 resp V_2 .

Skillnaden mellan lufttrycket i rummet på referensnivå och trycket B i uteluften på samma nivå (jämviktstryck) betecknas P_3 . Samma lufttemperatur råder inne och ute. Värden på q_1 , q_2 och P_3 skall beräknas.

Tre obekanta kräver tre ekvationer. Två "tryckbalans-ekvationer" och en "flödesbalans-ekvation" kan uppställas

$$\begin{cases} p_1 - P_3 + V_1 = 0 \\ p_2 - P_3 + V_2 = 0 \\ -q_1 - q_2 = 0 \end{cases}$$

där p_1 och p_2 är tryckfallen i resp luftväg.

För t ex luftväg genom vägg brukar sambandet mellan flöde och tryckfall uttryckas med hjälp av koefficienten k och exponenten β som

$$q = k \cdot p^\beta$$

eller

$$p = \left(\frac{q}{k}\right)^{\frac{1}{\beta}},$$

vilket för att räkning även med negativa q -värden skall kunna göras kan omformas till

$$p = \left(\frac{|q|}{k}\right)^{\frac{1}{\beta}} \cdot \frac{q}{|q|} = \left(\frac{1}{k}\right)^{\frac{1}{\beta}} \cdot |q|^{\frac{1}{\beta}-1} \cdot q$$

Om man i uttrycket ovan sätter

$$\left(\frac{1}{k}\right)^{\frac{1}{\beta}} \cdot /q/\frac{1}{\beta}^{-1} = M$$

gäller att

$$p = M \cdot q$$

och att ekvationssystemet kan skrivas

$$\begin{cases} M_1 q_1 - P_3 + V_1 = 0 \\ M_2 q_2 - P_3 + V_2 = 0 \\ -q_1 - q_2 = 0 \end{cases}$$

I de två översta ekvationernas vänsterled beskriver den första termen en icke linjär funktion. Systemet måste därför lösas med hjälp av iteration. Tillvägagångssättet vid iteration kan förklaras på följande sätt:

Insätts på försök valda värden, q_1^* , q_2^* och P_3^* i ekvationernas vänsterled blir dessa i allmänhet ej lika med noll ($S \neq 0$)

$$M_1^* q_1^* - P_3^* + V_1 = S_1^*$$

$$M_2^* q_2^* - P_3^* + V_2 = S_2^*$$

$$-q_1^* - q_2^* = S_3^*$$

För att "förbättra" de på försök valda värdena görs följande:

Varje term i systemekvationernas vänsterled kan betraktas som högerledet i en kurvekvation. Termer som är linjära, P_3 , q_1 och q_2 ökas och minskas med sitt på försök valda värde och skrivs:

$$P_3^* + (P_3 - P_3^*)$$

$$q_1^* + (q_1 - q_1^*)$$

$$q_2^* + (q_2 - q_2^*)$$

Termer som är olinjära, $M_1 q_1$ och $M_2 q_2$, approximeras genom att var och en av dem utbyts mot uttrycket för termkurvans tangent.

$$M_1^* q_1^* + (q_1 - q_1^*) \cdot D_1^*$$

$$M_2^* q_2^* + (q_2 - q_2^*) \cdot D_2^*$$

$$\text{där } D_1^* = \frac{\partial(M_1 q_1)}{\partial q_1} \text{ för } q_1 = q_1^*$$

$$D_2^* = \frac{\partial(M_2 q_2)}{\partial q_2} \text{ för } q_2 = q_2^*$$

Sätts slutligen

$$q_1 - q_1^* = \Delta q_1$$

$$q_2 - q_2^* = \Delta q_2$$

$$P_3 - P_3^* = \Delta P_3$$

kan det på detta sätt "lineariserade" ekvationssystemet skrivas

$$D_1^* \Delta q_1 - \Delta P_3 + S_1^* = 0$$

$$D_2^* \Delta q_2 - \Delta P_3 + S_2^* = 0$$

$$-\Delta q_1 - \Delta q_2 + S_3^* = 0$$

Systemet består av enbart linjära ekvationer och kan lösas med avseende på Δq_1 , Δq_2 och ΔP_3 .

Som resultat erhålls:

$$\Delta q_1 = \Delta q_1^*$$

$$\Delta q_2 = \Delta q_2^*$$

$$\Delta P_3 = \Delta P_3^*$$

vilket används till att "förbättra" de på försök valda värdena till

$$q_1^{**} = q_1^* + \Delta q_1^*$$

$$q_2^{**} = q_2^* + \Delta q_2^*$$

$$P_3^{**} = P_3^* + \Delta P_3^*$$

Med hjälp av de förbättrade värdena beräknas i nästa iterationssteg först nya S-värden och undersöks om deras absoluta belopp är godtagbart nära lika med noll. Om icke fortsätts iterationen på beskrivet sätt tills de absoluta beloppen blir godtagbart små.

I praktiken är antalet systemekvationer och de obekanta storheterna i dessa långt fler än i här visat exempel. Datorberäkning blir därför nödvändig. Det är då lämpligt att uttrycka ekvationerna i matrisform*). Tryckbalansekvationerna kan skrivas

*) Läsare som ej har räkning med matriser helt aktuellt hänvisas till BILAGA 1.

$$\begin{bmatrix} M_1 & 0 \\ 0 & M_2 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1 \\ -1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} P_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

medan flödesbalansekvationen får formen

$$\begin{bmatrix} -1 & -1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \end{bmatrix}$$

För att göra den fortsatta framställningen mer överskådlig införs matrisbeteckningarna

M för M-matrisen

Q " q- "

P " p- "

V " v- "

E " $\begin{bmatrix} -1 \\ -1 \end{bmatrix}$

E^t " $\begin{bmatrix} -1 & -1 \end{bmatrix}$

Systemekvationerna blir då

$$M * Q + E * P + V = 0 \quad (1)$$

$$E^t * Q = 0 \quad (2)$$

Om värdet på matrisekvationernas vänsterled för på försök valda värdena på q_1 , q_2 och P_3 betecknas U resp W och man inför matrisbeteckningarna

$$D \text{ för } \begin{bmatrix} D_1^* & 0 \\ 0 & D_2^* \end{bmatrix}$$

$$q \text{ för } \begin{bmatrix} \Delta q_1 \\ \Delta q_2 \end{bmatrix} \text{ och}$$

$$P \text{ för } \begin{bmatrix} \Delta P_3 \end{bmatrix}$$

så får det lineariserade ekvationssystemet utseendet

$$\begin{cases} D * \Delta q + E * \Delta P + U = 0 & (5) \\ E^t * \Delta q + W = 0 & (6) \end{cases}$$

Som tidigare nämnts innehåller detta ekvationssystem lika många ekvationer som obekanta. Det är dessutom linjärt, varför det låter sig lösas med vanliga metoder.

I det normala fallet blir dock antalet ekvationer ofta stort och man riskerar lätt onoggrannhet i resultatet om ej särskild omsorg läggs ner på tekniken att beräkna de obekanta storheterna. Nedan anges en metod som förutom att minimera onoggrannheten är mycket väl lämpad för lösning i dator.

(5) omskrivs till

$$\Delta q = -D^{-1} * E * \Delta P - D^{-1} * U \quad (7)$$

Båda leden i (7) multipliceras med E^t varvid man får

$$E^t * \Delta q = -E^t * D^{-1} * E * \Delta P - E^t * D^{-1} * U \quad (8)$$

Ur (6) erhålls att

$$E^t * \Delta q = -W \quad (9)$$

som insatt i (8) ger

$$W - E^t * D^{-1} * E * \Delta P - E^t * D^{-1} * U = 0 \quad (10)$$

varur kan lösas

$$\Delta P = (E^t * D^{-1} * E)^{-1} * (W - E^t * D^{-1} * U) \quad (11)$$

Högerledet i (11) innehåller endast bestämda eller antagna värden, varför ΔP kan beräknas.

Δq erhålls sedan genom insättning av ΔP i (7).

3 BEGREPP OCH DEFINITIONER

3.1 Allmänt

I möjligaste mån har vedertagna begrepp och definitioner använts. I många fall är emellertid vedertagna begrepp och definitioner något tvetydiga och har därför bearbetats för att få logiken entydig. Några nya ord och definitioner har måst införas. Det har varit en ambition att använda enklast tänkbara ord och syftet har endast varit att få helt entydiga begrepp i alla sammanhang.

Här anges endast kortfattat begreppens och definitionernas innebörd för att det skall vara möjligt att i det följande förstå uppställningarna. En noggrannare genomgång ges i APPENDIX A.

3.2 Begrepp

LUFTCELL	ett (eller flera) rum med samma tryck och temperatur. Uteluften betraktas som en luftcell
KANALSNITT	ett tvärsnitt i en ventilationskanal
LUFTVÄG	läckageväg genom en begränsningsyta hos en luftcell, eller väg mellan två punkter i en ventilationskanal
REFERENSNIVÅ	godtyckligt vald nivå för en byggnad
FIKTIV LUFTPELARE	tänkt förbindelse mellan luftvägsändes nivå i luftcell eller kanalsnitt och referensnivån
FIKTIV KANALFÖRBINDELSE	tänkt förbindelse på referensnivån mellan uteluften och en fiktiv luftpelare
REFERENSTEMPERATUR	godtyckligt vald temperatur
LUFTFLÖDE	luftvolym per tidsenhet beräknat som massan av passerande luft per tidsenhet dividerad med luftdensiteten vid referenstemperaturen

JÄMVIKTSTRYCK:

För luft- cell: absolut statistiskt tryck på referensnivån i en ansluten fiktiv luftpelare minus barometertrycket på referensnivån utomhus

För kanal- snitt: jämviktstryck enligt ovan plus det dynamiska trycket i kanalsnittet

LUFTKRETS en tänkt sluten krets som bildas av att uteluften på referensnivån ansluts till vardera änden av en luftväg genom en fiktiv kanalförbindelse och en fiktiv luftpelare

LÄCKNINGSMOTSTÅND flödesmotstånd i vägg- och bjälkagsdelar

VENTILATIONS- MOTSTÅND flödesmotstånd i ventilationssystem

3.3 Numrering

För att förenkla den fortsatta framställningen införs följande numreringsregler för luftceller och kanalsnitt:

- Uteluften har lägst nummer
- Kanalsnitt närmare ventilationssystemets uteluftände har lägre nummer än kanalsnitt längre från uteluftänden
- Kanalsnitt närmast luftcell har lägre nummer än luftcellen
- Luftcell på högre nivå har lägre nummer än luftcell på lägre nivå

3.4 Beräkningsstorheters riktning

Fortsättningsvis antas följande gälla:

Storhet för flöde och storhet för tryckfall i luftväg är riktade från luftcell eller kanalsnitt med högre nummer mot luftcell eller kanalsnitt med lägre nummer. Storhet för termisk drivkraft är riktad åt motsatt håll, vilket också gäller storhet för vindtryck.

I fiktiv luftpelare är storhet för termisk drivkraft riktad mot referensnivån.

I fiktiv kanalförbindelse betraktas jämviktstrycket som en drivkraftsstorhet riktad utifrån och inåt.

Summan av termisk drivkraft och vindtryck i en luftkrets antas vara riktad i den cirkulationsriktning man har då man går runt luftkretsen och passerar kretsens luftväg i luftvägsflödesstorhetens riktning.

A BEGREPP OCH DEFINITIONER

Här nedan ges kompletterande förklaringar till angivna begrepp och definitioner.

A.1 LUFTCELL, KANALSNITT SAMT LUFTVÄG

Rubriken avser den konkreta delen av en luftkrets (jfr A.8). En LUFTCELL kan bestå av ett (eller ev flera rum). Luftcellen definieras av att luften i cellen har samma temperatur överallt och att inga lufthastigheter anses förekomma i luftcellen. Härvidlag är det frågan om en approximation, eftersom t ex konvektionsrörelser i luften inte kan undvikas. Dessa saknar emellertid betydelse för analysen. Att luften i själva verket har en långsam strömning till följd av tilluft, frånluft och läckageströmmar in och ut ur cellen försummas också.

Ur beräkningssynpunkt betraktas även uteluften som en luftcell.

En viktig princip är att luften anses ha konstant densitet inom en och samma luftcell. Densiteten som funktion av temperaturen i olika luftceller har stor betydelse i beräkningarna. Däremot försummas densitetsvariationer på grund av lufttrycket. Denna approximation ger ett fel som är mindre än 1 ‰.

Med KANALSNITT menas i stort sett samma sak som luftcell. Skillnaden är bara att ett kanalsnitt är ett tvärsnitt i en ventilationskanal. Samma approximation vad beträffar densiteten som funktion av trycket gäller även i kanalsnitt. Det som skiljer en luftcell från ett kanalsnitt är storleken och geometrin och att inte lufthastigheten kan försummas. Lufthastigheten förutsätts överallt i snittet vara lika med medelhastigheten i snittet.

LUFTVÄG är kanske ett rätt trivialt begrepp men avser läckageväg genom en luftcells begränsningsytor eller väg mellan två punkter i ett ventilationssystem.

Med andra ord är luftvägarna följande

- o genom bjälklag
- o genom väggar (dvs även mellan luftcell och uteluft)
- o mellan luftcell och kanalsnitt
- o mellan två kanalsnitt samt
- o mellan kanalsnitt och uteluft.

Luftväg genom vägg anses vara belägen på en viss höjd över golv.

Luftväg som passerar kanalsnitt anses göra detta i snittyttans tyngdpunkt.

Ett ventilationssystem uppdelas i luftvägar på sådant sätt att högst ett grenmotstånd ingår i varje luftväg. Dessutom väljs luftvägen på sådant sätt att grenmotståndet alltid kommer omedelbart intill kanalsnittet vid den luftvägssände som är närmast ventilationssystemets uteluftände.

A.2 LUFTFLÖDEN

Luftflöde räknas i volymsenheter luft per tidsenhet, varvid antalet volymsenheter beräknas som antalet massenheter dividerat med luftdensiteten vid referenstemperaturen. Detta gäller alltså även luftflöde vars temperatur avviker från referenstemperaturen.

A.3 FIKTIVA LUFTPELARE

Fiktiva luftpelare är tänkta förbindelser mellan en punkt i nivå med en luftvägsände i en luftcell eller ett kanalsnitt och byggnadens referensnivå. De används endast för att förklara begreppen "luftkrets" och "jämviktstryck". En fiktiv luftpelare har ingen inverkan på flödesbalans-ekvationerna.

A.4 FIKTIVA KANALFÖRBINDELSER

Sådana tänkta förbindelser tjänar också de syftet att förklara begreppen "luftkrets" och "jämviktstryck". De fiktiva luftpelarna har fiktiva kanalförbindelser med "uteluftcellen". I dessa fiktiva kanalförbindelser skall tänkas fiktiva fläktar som ger tryck (jämviktstryck) men inget flöde. Inte heller fiktiva kanalförbindelser har någon inverkan på flödesbalans-ekvationerna.

A.5 BERÄKNINGSSTORHETERS RIKTNING

Vid normal drift av ett ventilationssystem innebär de i 3.3 och 3.4 valda reglerna för numrering och beräkningsstorheters riktning att

- o flödesstorheter antar positiva värden i frånluftsystem och negativa i tilluftsystem
- o tryckfallsstorheter i frånluftsystem antar positiva värden med undantag för de i frånluftsfläktar, vilka får negativa värden
- o tryckfallsstorheter i tilluftsystem får negativa värden med undantag för de i tilluftsfläktar, vilka får positiva värden

- o beräkningsstorhet för verkan av tyngdkraft i ventilationskanaldel antar, oberoende av driftförhållandena, positivt värde då kanaldelsändan närmast kanalsnittet eller luftcellen med det lägre numret är belägen på högre nivå än kanaldelens motsatta ände (och vice versa)
- o beräkningsstorhet för vindtryck får oberoende av driftförhållandena positivt värde då formfaktorn är positiv och negativt värde då formfaktorn är negativ.

Att tryckförhöjningen i en viss riktning i en fläkt innebär ett till beloppet lika stort tryckfall i motsatt riktning, gör att fläktar i beräkningen kan behandlas som motstånd. Detta behöver inte störa förståelsen för hur en fläkt arbetar. Reglerna är enbart definitioner som avser att underlätta beräkningsarbetet.

För en frånluftfläkt utgör alltså tryckförhöjningen med omvänt tecken värdet på fläktens tryckfallsstorhet.

En fiktiv luftpelare är en tänkt luftpelare som står på byggnadens referensnivå och som når upp (eller ned) till en luftvägsände. Eftersom drivkraften utgörs av tyngdkraftens verkan på luften kommer beräkningsstorheten att anta positiva värden i luftpelare ovanför referensnivån och negativa värden i luftpelare nedanför referensnivån.

Storheten för jämviktstryck för en luftcell eller ett kanalsnitt antas verka i en fiktiv kanalförbindelse på byggnadens referensnivå. Jämviktstrycket kan betraktas som en drivkraft i den fiktiva kanalförbindelsen. När den är riktad utifrån och inåt antar den positivt värde.

A.6 JÄMVIKTSTRYCK

Begreppet jämviktstryck införs i syfte att förenkla beräkningsarbetet. Jämviktstrycket för en luftcell är trycket i en godtycklig punkt i cellen plus trycket av tyngden av en tänkt luftpelare som står på referensnivån och når upp (eller ned) till den godtyckliga punkten i luftcellen minus barometertrycket utomhus på referensnivån. Lufttemperaturen i luftpelaren är densamma som den i luftcellen.

Jämviktstrycket för luftcellen är alltså lufttrycket i luftcellen på referensnivån under den tänkta förutsättningen att luftcellen når till referensnivån - minus barometertrycket utomhus på referensnivån. Eftersom ett och samma jämviktstryck erhålls, vilken punkt i luftcellen man än utgår ifrån, inses att jämviktstrycket är ett tryck som är hänförligt till hela luftcellen.

Trycket i en punkt i ett ventilationskanalsnitt är lika med summan av det statiska och dynamiska trycket (totaltrycket). Det dynamiska trycket antas i detta sammanhang svara mot medelhastigheten tvärs snittet. Utgår man från trycket i en godtycklig punkt i ett kanalsnitt med samma resonemang som förts beträffande en luftcell får man jämviktstrycket för kanalsnittet.

Innebörden av begreppet jämviktstryck belyses ytterligare i A.8.

A.7 MOTSTÅND

Med motstånd avses:

- o Luftläckningsmotstånd i vägg- och bjälklagsdelar - detta kallas läckningsmotstånd.
- o Luftflödesmotstånd i ventilationssystem - detta kallas ventilationsmotstånd.

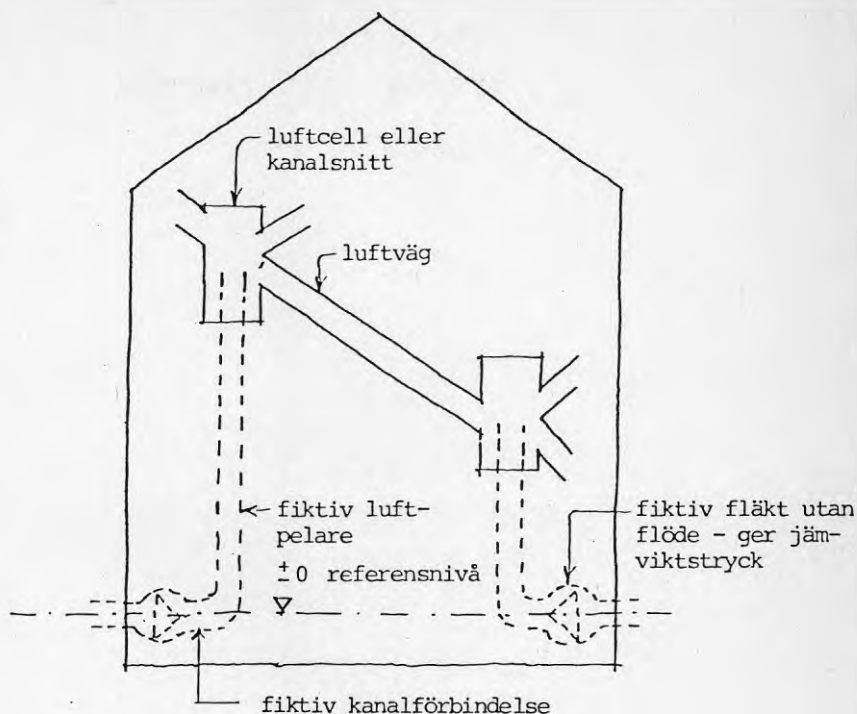
Termen ventilationsmotstånd inbegriper motstånd av olika slag:

- o Engångsmotstånd (t ex böj, övergångsstycke etc)
- o Motstånd i ventilationskanalsförgrening - detta kallas grenmotstånd.
- o Friktionsmotstånd
- o Fläktar

Här begreppsförklaras endast namn på "egenskapsbärande", som besitter vissa motståndsegenskaper. En analog företeelse är t ex ett elektriskt motstånd, som dels kan vara en elektrisk komponent, dels kan vara en egenskap hos komponenten, vilken egenskap kan uttryckas i ett visst antal ohm. På motsvarande sätt är ett friktionsmotstånd namnet på en företeelse som bromsar en luftström och en fläkt (ett annat ventilationsmotstånd) namnet på en företeelse som driver på luftströmmen. Det har tidigare också nämnts i A.5 att fläktar behandlas som ventilationsmotstånd.

A.8 LUFTKRETS

En byggnad kan vad beträffar sina olika luftflöden antas bestå av ett antal slutna luftkretsar. För att förstå uppbyggnaden av en sådan luftkrets måste man inse att den konkreta delen av en luftkrets är en luftväg med sina båda ändar. Den fiktiva delen av luftkretsen består av ytterligare element. Dessa är dels fiktiva luftpelare, dels fiktiva kanalförbindelser på referensnivån mellan uteluftcellen och de båda luftpelarna. Se FIGUR A1.



FIGUR A1 LUFTKRETS BESTÅENDE AV LUFTVÄG, FIKTIVA LUFTPELARE OCH KANALFÖRBINDELSER M M

I jämnhöjd med referensnivån finns i en luftpelare ett visst bestämt tryck. Skillnaden mellan detta tryck och det yttre barometertrycket på referensnivån är i A.6 definierad som jämviktstrycket för luftcellen eller kanalsnittet vid luftpelarens luftvägsände. Mellan luftpelaren och ytterluften förekommer ju inget luftutbyte. Detta blir fallet om tryckförhöjningen av den fiktiva fläkten är lika med jämviktstrycket.

Luftkretsen som helhet består således totalt sett av två konkreta element och ett antal fiktiva element. Det ena konkreta elementet är luftvägen mellan de båda ändpunkterna. Det andra är uteluften. De fiktiva delarna av luftkretsen är förbindelsen mellan uteluften och de båda luftpelarna samt de båda luftpelarna vid luftvägsändarna. På detta sätt går alltså luftkretsen från uteluften in genom den ena kanalförbindelsen med sin tryckhöjande (eller -sänkande) fläkt och upp (eller ned) genom den ena luftpelaren till

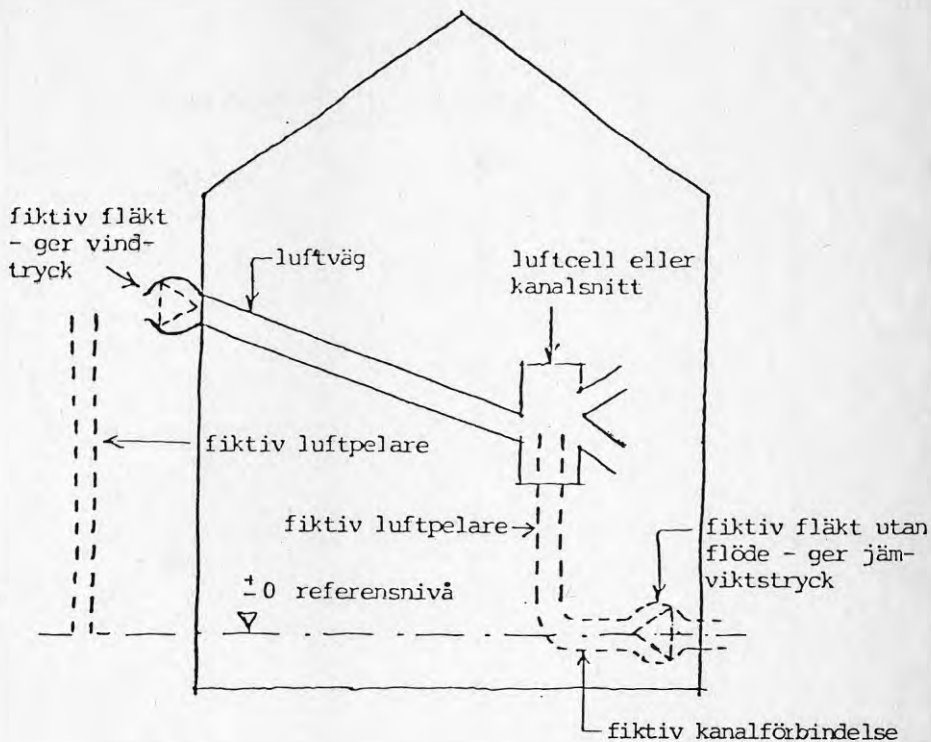
luftvägen samt genom denna och därefter ned (eller upp) genom den andra luftpelaren och ut genom den andra kanalförbindelsen med sin fläkt åter till uteluften. I en luftkrets förekommer luftflöde endast i luftvägen, men tryckändringar såväl i de konkreta som fiktiva elementen.

A.9 DRIVKRAFTER

Drivkrafterna för luften i luftkretsen utgörs dels av jämviktstrycken för luftcellerna eller kanalsnitten vid luftvägsändarna, dels av de termiska drivkrafterna i luftvägen och i de fiktiva luftpelarna.

De termiska krafterna förorsakas av tyngdkraftens verkan på luften. Storleken på den termiska kraften i ett luftkretselement, som i detta fall alltså är en luftväg eller luftpelare, bestäms av luftdensiteten i elementet och av nivåskillnaden mellan elementets ändpunkter. Luftdensiteten i sin tur bestäms av lufttemperaturen i elementet, vilket rättfärdigar benämningen termisk kraft.

I vissa fall mynnar den verkliga luftvägens ena ände utomhus. Fortfarande kan kretsen byggas upp av samma element som tidigare. Fortfarande finns en luftväg och två (fiktiva) luftpelare. Vad som inte finns för den ena av luftpelarna är den fiktiva förbindelsen med uteluften med tillhörande fläkt. Denna luftpelare är ju en del av uteluftcellen för vilken jämviktstrycket givetvis är lika med noll, FIGUR A2.

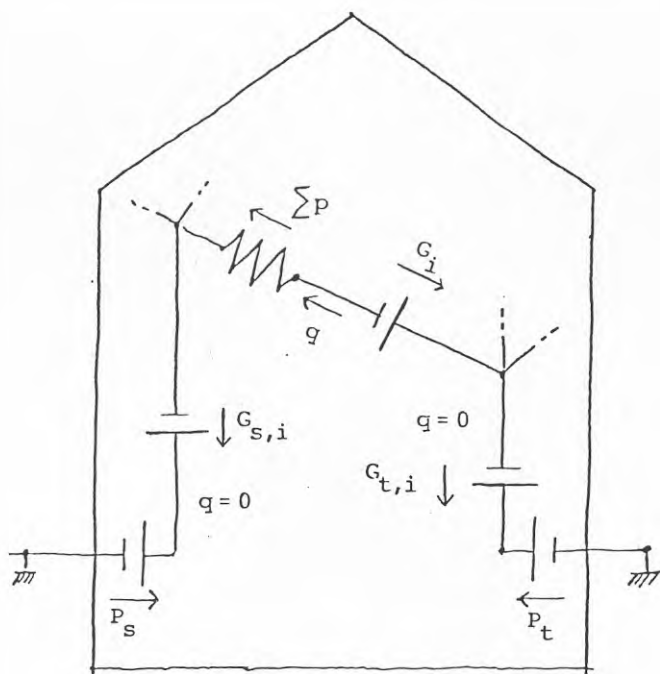


FIGUR A2 LUFTKRETS MED EN LUFTVÄGSÄNDE MYNNANDE
UTOMHUS

Det finns även en annan skillnad gentemot den tidigare beskrivna luftkretsen när det gäller drivkrafter. I den konkreta luftvägens ytterände finns en drivkraft, vindtrycket, som består av vindens hastighetstryck vid byggnaden multiplicerat med den formfaktor som gäller vid nämnda luftvägs ände.

Drivkrafterna för luften i en luftkrets består alltså av jämviktstrycken (P), de termiska krafterna (G) och i vissa fall vindtrycket (V). Förutom drivkrafter förekommer i en luftkrets tryckfall (p) i motstånd. Dessa förekommer endast i luftkretsens reella del, luftvägen. Sambandet mellan tryckfall och drivkrafter i en luftkrets är analogt med motsvarande samband mellan spänningsfall i motstånd och elektromotoriska krafter i en sluten elektrisk strömkrets.

Analogin har illustrerats genom att FIGUR A1 ritats med symboler som överensstämmer med elektriska komponentsymboler. Motstånd har angetts på samma sätt som ohmska motstånd, drivkrafter som elektriska batterier, luftkretsen som en sluten elektrisk ledningskrets och uteluften på byggnadens referensnivå som elektrisk jordpunkt. Luftkretsen med sina analoga komponentsymboler visas i FIGUR A3. För tydlighets skull har storhetsbeteckningar på drivkrafter och tryckfall införts i figuren. Pilarna vid storhetsbeteckningarna i figuren anger respektive storhets riktning. Under figuren visas också det matematiska sambandet mellan drivkrafter och tryckfall. Analogin i elektricitetsläran motsvarar Kirchhoffs lag II. Använda beteckningar förklaras i TABELL A1.



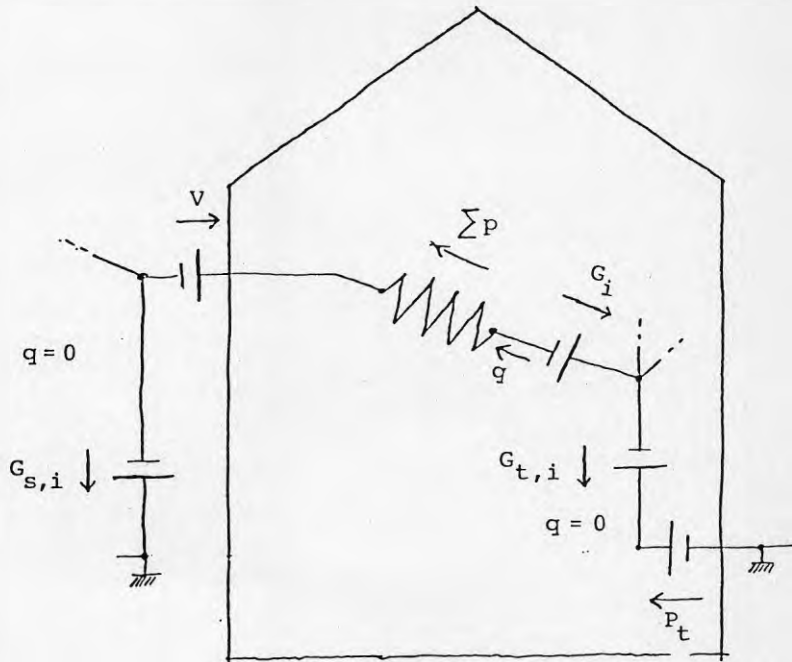
$$P_t - G_{t,i} - G_i + G_{s,i} - P_s = \sum p$$

FIGUR A3 ELEKTRISK ANALOGI FÖR LUFTKRETS

TABELL A1 STORHETSBETECKNINGAR I FIGURERNA A3 OCH A4

Beteckning	Luftflödes- teknik	Elektricitetslära
p	tryckfall	spänningsfall
P	jämviktstryck	elektromotorisk kraft
G	termisk kraft	"-
V	vindtryck	"-
q	flöde	strömstyrka

En luftkrets vars ena luftvägsände mynnar utomhus kan illustreras på motsvarande sätt. Detta visas i FIGUR A4.



$$P_t - G_{t,i} - G_i - V + G_{s,i} = \sum P$$

FIGUR A4 ELEKTRISK ANALOGI FÖR LUFTKRETS MED EN LUFTVÄGSÄNDE UTMOMHUS

B FUNKTIONER OCH SAMBAND FÖR BERÄKNINGS-
ARBETEN

B.1 MOTSTÅND - TRYCKFALLSBERÄKNING

B.1.1 Läckningsmotstånd

Sambandet mellan flöde (q) och tryckfall (p) anges vanligen med formeln

$$q = k \cdot p^{\beta} \quad (1)$$

där k och β är konstanter. Om man så vill kan (1) skrivas

$$p = \left(\frac{q}{k}\right)^{\frac{1}{\beta}} \quad (2)$$

Användning av (2) förutsätter att q är positivt. Om q är negativt måste (2) ändras till

$$p = -\left(\frac{-q}{k}\right)^{\frac{1}{\beta}} \quad (3)$$

(2) och (3) kan ersättas med en enda ekvation

$$p = M \cdot q \quad (4)$$

där

$$M = \left(\frac{1}{k}\right)^{\frac{1}{\beta}} \cdot /q|^{\frac{1}{\beta} - 1} \quad (5)$$

(5) förutsätter att k är oberoende av luftflödets riktning, vilket i sin tur, eftersom k är temperaturberoende, också förutsätter att lufttemperaturen är densamma för båda flödesriktningarna. Vidare förutsätts att denna temperatur är byggnadens referens-temperatur

För att komma ifrån alla dessa begränsningar ändras (5) till

$$M = \frac{1}{2} \cdot c_s \cdot c_{\gamma} \left(\frac{1}{k_{ref}^{q>0}}\right)^{\frac{1}{\beta}} \cdot \left[1 + C + (1-C) \cdot \frac{q}{|q|}\right] \cdot \left(\frac{T}{T_{ref}}\right)^{\frac{1}{\beta} - 1} \cdot /q|^{\frac{1}{\beta} - 1} \quad (6)$$

$k_{ref}^{q>0}$ är k då absoluta lufttemperaturen $T = T_{ref}$.

Hur $k_{ref}^{q>0}$ kan beräknas med hjälp av provningsresultat visas i BILAGA 2.

C_ρ och C_η är korrektionsfaktorer för $(1/k_{ref}^{q>0})^{1/3}$ som tar hänsyn till lufttemperaturens inverkan via resp luftens densitet och luftens dynamiska viskositet. C är en korrektionsfaktor, som tar hänsyn till luftflödesriktningen. T_t är absoluta lufttemperaturen i motståndet då $q > 0$.

C_ρ , C_η och C kan beräknas med hjälp av följande formler (se även bilaga 2).

$$C_\rho = \left(\frac{T_{ref}}{T_t}\right)^{1/3-1} \quad (7)$$

$$C_\eta = \left(\frac{3.65 + 0.0493 \cdot T_t}{3.65 + 0.0493 \cdot T_{ref}}\right)^{2-1/3} \quad (8)$$

$$C = \frac{T_s}{T_t} \cdot \left(\frac{3.65+0.0493 T_s}{3.65+0.0493 T_t}\right)^{2-1/3} \cdot \left(\frac{k_{ref}^{q>0}}{k_{ref}^{q<0}}\right)^{1/3} \quad (9)$$

T_s är absoluta lufttemperaturen i motståndet då $q < 0$.

B.1.2 Engångsmotstånd

Tryckfallet i ett engångsmotstånd kan i många fall beräknas med hjälp av formeln

$$p = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \xi \cdot v_\xi^2 \cdot \frac{q}{\sqrt{q}} \quad (10)$$

där ρ = luftdensiteten
 ξ = motståndstalet
 v_ξ = lufthastighet som ξ hänförs till

I de fall (10) ej är tillämplig används formeln

$$p = \alpha \cdot \left(\frac{T}{T_{ref}}\right)^{1/3} \cdot /q^{1/3} - 1 \cdot q \quad (11)$$

där α är en konstant. Fortsättningsvis kallas den motståndstyp som (10) kan tillämpas på för ξ -typ och den typ som (11) kan tillämpas på för α -typ.

Engångsmotstånd av ξ -typ

(10) omskrivs till

$$p = M \cdot q \quad (12)$$

$$\text{där } M = \frac{1}{2} \cdot \xi_{\text{kat}} \cdot C_{\xi} \cdot \frac{\xi_{\text{kat}}}{A_f} \left(\frac{T}{T_{\text{ref}}} \right)^2 \cdot |q| \quad (13)$$

C_{ξ} är en korrektionsfaktor som tar hänsyn till lufttemperaturens inverkan via luftens densitet.

C_{ξ} kan beräknas med hjälp av följande formel:

$$C_{\xi} = \frac{T_{\text{kat}}}{T} \quad (14)$$

T är absoluta lufttemperaturen i motståndet.

ξ_{kat} är motståndets motståndstal enligt katalog eller handbok för $T = T_{\text{kat}}$.

A_f är den kanaltvårsnittets area som ξ_{kat} hänförs till.

Eftersom ξ_{kat} i många fall har ett värde då $q > 0$ och ett annat då $q < 0$ insätts i (13) värdet

$$\xi_{\text{kat}} = \frac{1}{2} \left[\xi_{q>0}^{\text{kat}} \left(1 + \frac{q}{|q|} \right) + \xi_{q<0}^{\text{kat}} \left(1 - \frac{q}{|q|} \right) \right] \quad (15)$$

där $\xi_{q>0}^{\text{kat}}$ och $\xi_{q<0}^{\text{kat}}$ är katalogvärdena för respektive flödesriktning.

Om även lufttemperaturen är olika för de två flödesriktningarna kan T i (13) och (14) ersättas med

$$T = \frac{1}{2} \left[T_{q>0} \left(1 + \frac{q}{|q|} \right) + T_{q<0} \left(1 - \frac{q}{|q|} \right) \right] \quad (16)$$

Engångsmotstånd av α -typ

(11) omskrivs till

$$p = M \cdot q \quad (17)$$

där

$$M = C_{\xi} \cdot C_{\eta} \cdot \alpha_{\text{kat}} \cdot \left(\frac{T}{T_{\text{ref}}} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot |q|^{\frac{1}{2}} - 1 \quad (18)$$

C_{ξ} och C_{η} är korrektionsfaktorer som tar hänsyn till lufttemperaturens inverkan via resp luftens densitet och luftens dynamiska viskositet. De kan beräknas med hjälp av

$$C_{\xi} = \left(\frac{T_{\text{kat}}}{T} \right)^{\frac{1}{3}} - 1$$

$$C_f = \left(\frac{3.65 + 0.0493 T}{3.65 + 0.0493 T_{\text{kat}}} \right)^{2 - \frac{1}{\beta}} \quad (20)$$

α_{kat} och β beräknas med hjälp av katalog eller handbok. Sambandet mellan motståndets tryckfall och flöde i katalog eller handbok anges i ett dubbellogaritmiskt diagram. Kurvan i diagrammet är en rät linje vars ekvation är

$$\log p^{\text{kat}} = \log \alpha_{\text{kat}} + \frac{1}{\beta} \log q^{\text{kat}} \quad (21)$$

Av ekvationen framgår att det sökta β -värdet är det inverterade värdet av den räta linjens lutningsindex.

Är p_1^{kat} , q_1^{kat} och p_2^{kat} , q_2^{kat} värden som svarar mot två godtyckligt valda punkter på den räta linjen i motståndets diagram kan β beräknas enligt

$$\beta = \frac{\log q_1^{\text{kat}} - \log q_2^{\text{kat}}}{\log p_1^{\text{kat}} - \log p_2^{\text{kat}}} \quad (22)$$

α_{kat} beräknas genom att värdena p_1^{kat} , q_1^{kat} eller q_2^{kat} , q_2^{kat} samt det enligt (22) beräknade β -värdet insätts i den ekvation som erhålls efter antilogaritmering av (21).

$$\alpha_{\text{kat}} = \frac{p_1^{\text{kat}}}{(q_1^{\text{kat}})^{\frac{1}{\beta}}} = \frac{p_2^{\text{kat}}}{(q_2^{\text{kat}})^{\frac{1}{\beta}}} \quad (23)$$

α_{kat} och β måste kunna beräknas för såväl $q > 0$ som $q < 0$, eftersom motståndet kan vara osymmetriskt ur flödesriktningssynpunkt. Låter man $\beta_{q > 0}$ och $\alpha_{q > 0}^{\text{kat}}$ respektive $\beta_{q < 0}$ och $\alpha_{q < 0}^{\text{kat}}$ vara de β och α_{kat} som beräknas med hjälp av (22) och (23) för $q > 0$ resp $q < 0$ kan i β och α_{kat} i (18) insättas

$$\beta = \frac{1}{2} \left[\beta_{q > 0} \left(1 + \frac{q}{|q|} \right) + \beta_{q < 0} \left(1 - \frac{q}{|q|} \right) \right] \quad (24)$$

$$\alpha_{\text{kat}} = \frac{1}{2} \left[\alpha_{q > 0}^{\text{kat}} \left(1 + \frac{q}{|q|} \right) + \alpha_{q < 0}^{\text{kat}} \left(1 - \frac{q}{|q|} \right) \right] \quad (25)$$

B.1.3 Grenmotstånd

Allmänt

Kanalförgreningar kan vara utformade på olika sätt. Här behandlas enbart T-formade symmetriska förgreningar. I en sådan förenas tre ventilationskanaler med varandra. Endast påstickskanalen förutsätts kunna ha avvikande tvärsnittsarea.

En T-formad kanalförgrening anses ha två grenmotstånd. Vart och ett av dessa motstånd tillskrivs var sitt flöde. Båda dessa delflöden - om nu flödena är positiva - tillför förgreningen luft genom var sin kanal. Vart och ett av grenmotstånden kan därför betraktas såsom tillhörigt den kanal, vilken, då flödena är positiva tillför förgreningen luft. Följande beteckningar på flödena i en T-förgrening införs.

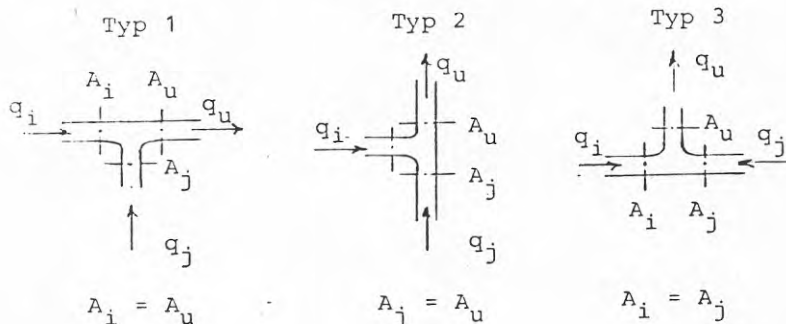
q_i = luftflöde som passerar grenmotståndet i den kanal som ingår i en viss betraktad luftväg

q_j = luftflöde som passerar grenmotståndet i den kanal som ej ingår i den betraktade luftvägen

$$q_u = q_i + q_j$$

Grenmotståndstyper

En av de tre kanalerna som sammankopplas i en T-förgrening utgörs av ett påstick. Vart och ett av flödena q_i , q_j och q_u kan vara det flöde som passerar påstickskanalen (dvs den kanal som definitionsmässigt får ha avvikande dimension) samtidigt som endast ett av flödena, nämligen q_i , kan vara det flöde som passerar grenmotståndet i en viss betraktad luftväg. Denna omständighet gör att man kan skilja mellan tre typer av grenmotstånd, FIGUR B1. A_i , A_j och A_u är kanalareor.



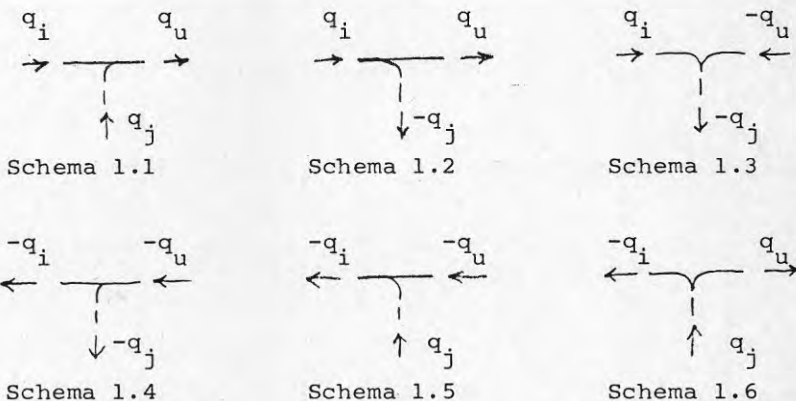
FIGUR B1 SYMMETRISKA T-FÖRGRENINGAR. GRENMOTSTÅNDSTYPER I KANAL OCH LUFTVÄG SOM PASSERAS AV FLÖDET q_i .

Det är här alltid fråga om att definiera det tryckfall som uppstår då flödet q_i övergår i flödet q_u .

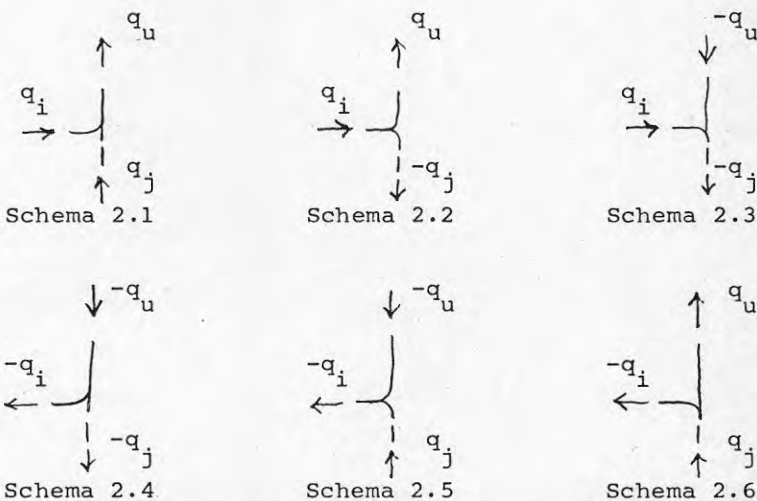
Tryckfallet anses uppstå i förgreningspunkten, dvs där luftvägen med flödet q_i slutar.

Flödesscheman

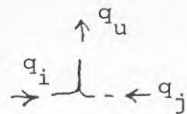
Varje grenmotståndstyp i kanal och luftväg som passerar av flödet q_i kan ha sex olika flödesscheman, summa arton typer, FIGUR B2 - B4.



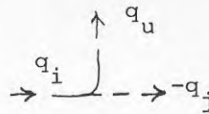
FIGUR B2 FLÖDESSCHEMAN FÖR GRENMOTSTÅNDSTYP 1 I KANAL OCH LUFTVÄG SOM PASSERAS AV FLÖDET q_i .



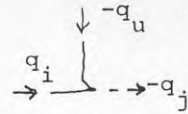
FIGUR B3 FLÖDESSCHEMAN FÖR GRENMOTSTÅNDSTYP 2 I KANAL OCH LUFTVÄG SOM PASSERAS AV FLÖDET q_i .



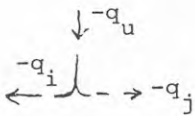
Schema 3.1



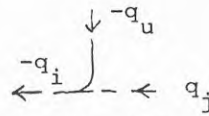
Schema 3.2



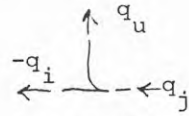
Schema 3.3



Schema 3.4



Schema 3.5



Schema 3.6

FIGUR B4 FLÖDESSCHEMAN FÖR GRENMOTSTÅNDSTYP 3 I
KANAL OCH LUFTVÄG SOM PASSERAS AV FLÖDET q_i .

Tryckfall

Tryckfallet i ett grenmotstånd, i kanal och luftväg som passerar av flödet q_i beräknas med hjälp av uttrycket

$$p = M \cdot q_i \quad (26)$$

$$\text{där } M = R_z \cdot \int_f \quad (27)$$

R_z beräknas med hjälp av

$$R_z = \frac{0,5}{\sqrt{q_i}} \cdot \int_{\text{ref}} \cdot \frac{T_z}{T_{\text{ref}}} \cdot \left(\frac{q_z}{A_z}\right)^2 \quad (28)$$

där

\int_{ref} = luftdensiteten vid referenstemperaturen T_{ref}

T_z = absoluta lufttemperaturen i flödet q_z

q_z = det flöde som motståndstalet \int_f hänförs till

A_z = tvärsnittsytan som passerar av q_z

Vilka värden på T_z , q_z och A_z som skall användas bestäms av flödesschemat och så att index z skall vara

index i för schema 1.2, 1.5, 2.2, 2.5, 3.2 och 3.5

index j för schema 1.3, 1.6, 2.3, 2.6, 3.3 och 3.6

index u för schema 1.1, 1.4, 2.1, 2.4, 3.1 och 3.4

Detta ger tre olika R_z -värden R_i , R_j och R_u .

Motståndstal

Motståndstalet ζ_f kan då flödena är obekanta ej hämtas ur diagram. Formler som medger numerisk beräkning av ζ_f kommer enligt uppgift att finnas i en tryckfallshandbok som är under utarbetande.

För att kunna beräkna M för var och en av de i FIGUR 6, 7 och 8 beskrivna schemafallen krävs icke mindre än 18 olika formler. För att ge en uppfattning om vilka likheter i formeluppbyggnaden som kan förväntas har nedan schematiska formler för samtliga schemafall uppställts. I dessa betecknar f funktionstyp.

$$\text{Schema 1.1: } M = R_u \cdot f_a \left(\frac{q_u}{q_i}, \frac{T_u}{T_i}, \frac{A_u}{A_j} \right)$$

$$\text{Schema 1.2: } M = R_i \cdot f_b \left(\frac{q_i}{q_u} \right)$$

$$\text{Schema 1.3: } M = R_j \cdot \left[f_e \left(\frac{-q_j}{q_i}, \frac{T_j}{T_i}, \frac{A_i}{A_j} \right) - f_e \left(\frac{q_j}{q_u}, \frac{T_j}{T_u}, \frac{A_u}{A_i} \right) \right]$$

$$\text{Schema 1.4: } M = R_u \cdot f_b \left(\frac{q_u}{q_i} \right)$$

$$\text{Schema 1.5: } M = R_i \cdot f_a \left(\frac{q_i}{q_u}, \frac{T_i}{T_u}, \frac{A_i}{A_j} \right)$$

$$\text{Schema 1.6: } M = R_j \cdot \left[f_f \left(\frac{q_j}{-q_i}, \frac{A_i}{A_j}, \frac{A_j}{A_i} \right) - f_f \left(\frac{q_j}{q_u}, \frac{A_u}{A_j}, \frac{A_j}{A_u} \right) \right]$$

$$\text{Schema 2.1: } M = R_u \cdot f_c \left(\frac{q_u}{q_i}, \frac{T_u}{T_i}, \frac{A_i}{A_u}, \frac{A_u}{A_i} \right)$$

$$\text{Schema 2.2: } M = R_i \cdot f_f \left(\frac{q_i}{q_u}, \frac{A_u}{A_i}, \frac{A_i}{A_u} \right)$$

$$\text{Schema 2.3: } M = R_j \cdot \left[f_c \left(\frac{-q_j}{q_i}, \frac{T_j}{T_i}, \frac{A_i}{A_j}, \frac{A_j}{A_i} \right) - f_a \left(\frac{q_j}{q_u}, \frac{T_j}{T_u}, \frac{A_j}{A_i} \right) \right]$$

$$\text{Schema 2.4: } M = R_u \cdot f_d \left(\frac{q_u}{q_i}, \frac{A_i}{A_u} \right)$$

$$\text{Schema 2.5: } M = R_i \cdot f_e \left(\frac{q_i}{q_u}, \frac{T_i}{T_u}, \frac{A_u}{A_i} \right)$$

$$\text{Schema 2.6: } M = R_j \cdot \left[f_d \left(\frac{q_j}{-q_i}, \frac{A_i}{A_j} \right) - f_b \left(\frac{q_j}{q_u} \right) \right]$$

$$\text{Schema 3.1: } M = R_u \cdot f_e \left(\frac{q_u}{q_i}, \frac{T_u}{T_i}, \frac{A_i}{A_u} \right)$$

$$\text{Schema 3.2: } M = R_i \cdot f_d \left(\frac{q_i}{q_u}, \frac{A_u}{A_i} \right)$$

$$\text{Schema 3.3: } M = R_j \cdot \left[f_a \left(\frac{-q_j}{q_i}, \frac{T_j}{T_i}, \frac{A_j}{A_u} \right) - f_c \left(\frac{q_j}{q_u}, \frac{T_j}{T_u}, \frac{A_u}{A_j}, \frac{A_j}{A_u} \right) \right]$$

$$\text{Schema 3.4: } M = R_u \cdot f_f \left(\frac{q_u}{q_i}, \frac{A_i}{A_u}, \frac{A_u}{A_i} \right)$$

$$\text{Schema 3.5: } M = R_i \cdot f_c \left(\frac{q_i}{q_u}, \frac{T_i}{T_u}, \frac{A_u}{A_i}, \frac{A_i}{A_u} \right)$$

$$\text{Schema 3.6: } M = R_j \cdot \left[f_b \left(\frac{q_j}{-q_i} \right) - f_d \left(\frac{q_j}{q_u}, \frac{A_u}{A_j} \right) \right]$$

Som synes kan samtliga formler bildas med hjälp av endast tre uttryck på R (R_i , R_j och R_u) och sex funktionstyper för f (f_a , f_b , f_c , f_d , f_e och f_f).

T_u i formlerna för schemana 1.1, 2.1 och 3.1 beräknas enligt

$$T_u = \frac{q_i \cdot T_i + q_j \cdot T_j}{q_u} \quad (29)$$

T_j i formlerna för schemana 1.3, 2.3 och 3.3 beräknas enligt

$$T_j = \frac{q_i \cdot T_i - q_u \cdot T_u}{-q_j} \quad (30)$$

T_i i formlerna för schemana 1.5, 2.5 och 3.5 beräknas enligt

$$T_u = \frac{q_j \cdot T_j - q_u \cdot T_u}{-q_i} \quad (31)$$

Korsformade förgreningar

Det är fullt möjligt att ställa upp matematiska uttryck på M för korsrör för driftfall med fläktarna igång. Då fläktarna ej är i drift är emellertid vissa av de flödesscheman som kan tänkas uppträda av en typ för vilken funktionstypen f för närvarande är okänd. Någon redovisning av hur M beräknas för sådana fall kan därför ej göras och görs ej heller för övriga fall.

B.1.4 Friktionsmotstånd

Tryckfallen i en rak ventilationskanaldel med längden l kan beräknas med hjälp av den välbekanta formeln

$$p = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot \frac{q}{\sqrt{q}} \quad (32)$$

(32) kan skrivas

$$p = M \cdot q \quad (33)$$

om

$$M = \frac{1}{2} \cdot \frac{T_{\text{ref}}}{T} \cdot \rho_{\text{ref}} \cdot \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot v^2 \cdot \frac{1}{\sqrt{q}} \cdot C_s \quad (34)$$

där ρ_{ref} = luftens densitet för absoluta lufttemperaturen T_{ref}

T = luftens absoluta temperatur i kanalen

λ = friktionstalet för kanalen

d = diametern om cirkulär kanal

$d = \frac{2 \cdot ab}{a+b}$ = hydrauliska diametern om rektangulär kanal $a \times b$

$v = \frac{T}{T_{\text{ref}}} \cdot \frac{4/q}{\sqrt{d^2}}$ om cirkulär kanal

$v = \frac{T}{T_{\text{ref}}} \cdot \frac{4/q}{ab}$ om rektangulär kanal $a \times b$

q = volymsflöde per tidsenhet hänförd till luft med temperaturen T_{ref}

C_s = korrektionsfaktor för kanalskarvar

Friktionstalet λ kan beräknas genom passning med hjälp av Colebrook's formel om $Re > 2300$.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} + \frac{\xi}{3,72 d} \right) \quad (35)$$

$$\text{där } Re = \frac{T_{\text{ref}}}{T} \cdot \frac{\rho_{\text{ref}}}{\eta} \cdot v \cdot d = \text{Reynolds tal} \quad (36)$$

$$\eta = 10^{-6} (3,65 + 0,0493 \cdot T) = \text{luftens dynamiska viskositet i Pa s} \quad (37)$$

ξ = kanalens råhet

Om $Re \leq 2300$ beräknas λ istället med hjälp av

$$\lambda = 64 / Re \quad (38)$$

B.1.5 Fläktar

Katalogvärden

Sambandet mellan totaltryckförändring och luftflöde i fläkt anges i katalog med hjälp av flätkurva. Sambandet gäller för en viss lufttemperatur (T_{kat}).

Tryckförändringen kan betraktas som ett tryckfall (p^{kat}) som är motsatt flödets riktning i katalogen. Tryckfallet kan uttryckas som en funktion (f) av flödet (q^{kat}) enligt

$$p^{kat} = f(q^{kat}) \quad (39)$$

där för frånluftsfläkt

$$q_{kat} = \frac{T}{T_{ref}} \cdot q \quad (40)$$

och där för tillluftsfläkt

$$q_{kat} = - \frac{T}{T_{ref}} \cdot q \quad (41)$$

I en byggnad är normalt $q > 0$ i frånluftsfläkt och $q < 0$ i tillluftsfläkt. Vid normal flödesriktning genom fläkt i byggnad blir som framgår av (40) och (41) alltid $q_{kat} > 0$, vilket förutsätts i flätkatalog. Om av något skäl flödesriktningen genom fläkt i byggnad skulle bli motriktad den normala sätts $q_{kat} = 0$.

$f(q_{kat})$ i (39) kan utbytas mot ett uttryck som vid insättning av q_{kat} -värden ger godtagbar överensstämmelse med en aktuell del av katalogkurvan för en fläkt. Härigenom kan P_{kat} beräknas numeriskt.

Tryckfall

En fläkt i ett ventilationssystem kan behandlas som ett motstånd. I likhet med vad som är fallet för övriga motstånd kan sambandet mellan tryckfall och luftflöde skrivas

$$p = M \cdot q \quad (42)$$

där för en frånluftsfläkt

$$M = - \frac{T_{kat}}{T} \cdot \frac{p^{kat}}{q} \quad (43)$$

och där för en tillluftsfläkt

$$M = \frac{T_{kat}}{T} \cdot \frac{p^{kat}}{q} \quad (44)$$

Observera att p i (42) betecknar tryckfall i den riktning som pekar mot ventilationssystemets uteluftända och att p^{kat} i (43) och (44) betecknar tryckfall i en riktning som är rakt motsatt flödets riktning i fläktkatalogen.

B.2 DRIVKRAFTER

B.2.1 Termiska krafter

I luftvägar

I luftväg som är horisontell uppkommer inga termiska krafter. Luftväg genom vägg respektive bjälklag betraktas som horisontell respektive antas ha längden noll. Lutande eller vertikal luftväg i ventilationssystem uppdelas i delar på ett sådant sätt att lufttemperaturen i varje del kan anses vara konstant eller kan anses variera linjärt längs luftvägsdelen. Ett approximativt värde på den termiska kraften i en sådan luftvägsdel kan beräknas med hjälp av uttrycket

$$G = \frac{1}{2} \cdot \zeta_0 \cdot T_0 \cdot g (h_1 - h_2) \cdot \left(\frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2} \right) \quad (45)$$

där $\zeta_0 \cdot T_0 \cdot g = 3464 \text{ Pa } ^\circ\text{K/m}$.

h_1 och T_1 är höjden över referensnivån respektive absoluta lufttemperaturen vid den ände av luftvägsdelen som är belägen mellan uteluften och den motsatta änden där h_2 och T_2 gäller, FIGUR B5.

Den totala termiska kraften i en luftväg nr i uttrycks med

$$G_i = \sum^{n_G} G \quad (46)$$

där index i är luftvägens nummer och

G utgörs av uttrycket (45)

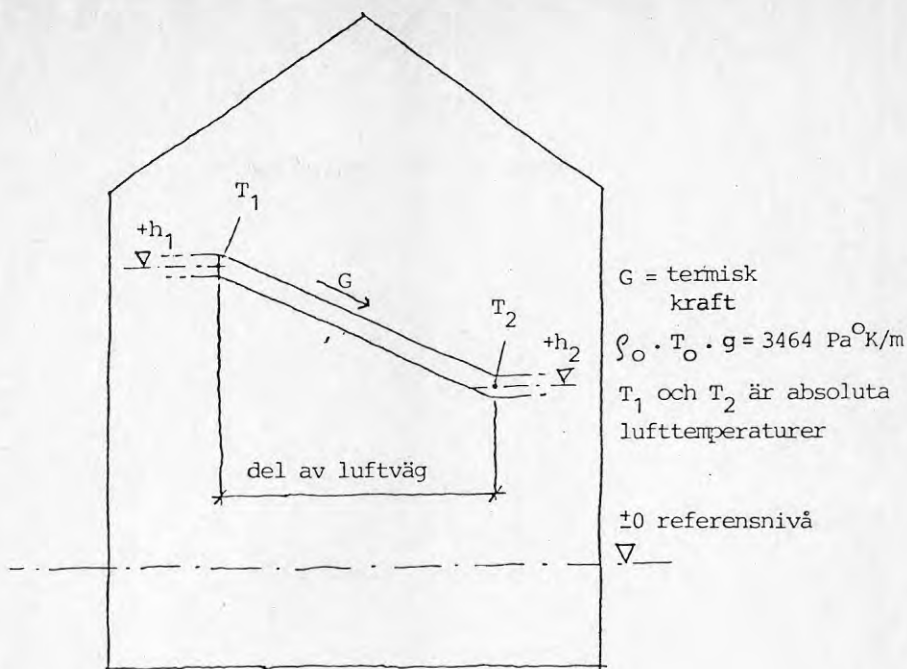
n_G är antalet luftvägsdelar som G skall beräknas för i luftväg nr i

I fiktiva luftpelare

Den termiska kraften i en fiktiv luftpelare mellan byggnadens referensnivå och en luftvägsnivå på höjden h över referensnivån kan skrivas

$$G = \zeta_0 \cdot T_0 \cdot g \cdot \frac{h}{T} \quad (47)$$

där T är lufttemperaturen i luftcellen eller kanalsnittet vid luftvägsändan.



$$G = \frac{1}{2} \zeta_0 \cdot T_0 \cdot g (h_1 - h_2) \left(\frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2} \right)$$

FIGUR B5 TERMISKA KRAFTER I EN LUFTVÄGSDEL

I luftkretsar

I varje luftkrets ingår en luftväg. Om luftvägen har numret i och går mellan en luftcell eller ett kanalsnitt med numret s och en annan luftcell eller ett annat kanalsnitt med numret t , som är större än s , så kan den sammanlagda termiska kraften i luftkretsen i en viss omloppsriktning skrivas

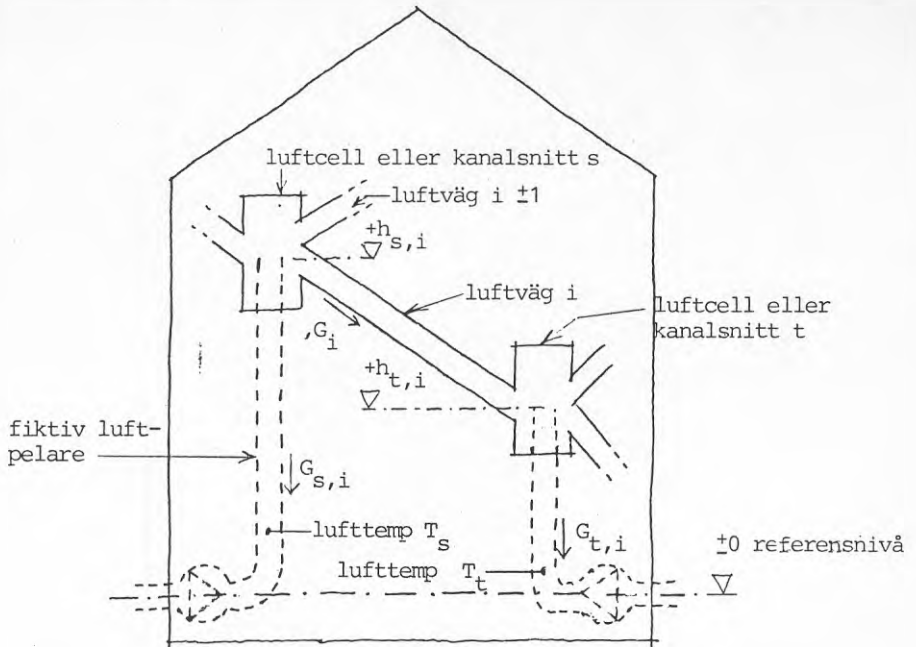
$$G_{s,i,t} = G_{s,i} - G_i - G_{t,i} \quad (48)$$

där G_i beräknas med hjälp av (45) och (46) samt där $G_{s,i}$ och $G_{t,i}$ beräknas på samma sätt som G i (47) dvs med hjälp av uttrycken i FIGUR B6.

$$G_{s,i} = \zeta_0 \cdot T_0 \cdot g \cdot \frac{h_{s,i}}{T_s} \quad (49)$$

resp

$$G_{t,i} = \zeta_0 \cdot T_0 \cdot g \cdot \frac{h_{t,i}}{T_t} \quad (50)$$



$$G_{s,i} = \rho_0 \cdot T_0 \cdot g \cdot \frac{h_{s,i}}{T_s} \quad G_{t,i} = \rho_0 \cdot T_0 \cdot g \cdot \frac{h_{t,i}}{T_t}$$

FIGUR B6 TERMISKA KRAFTER I EN LUFTKRETS

Insätts (45) i (46) samt (46), (49) och (50) i (48) erhålls

$$G_{s,i,t} = \rho_0 \cdot T_0 \cdot g \left[\frac{h_{s,i}}{T_s} - \frac{h_{t,i}}{T_t} - \frac{1}{2} \sum_{n_G} (h_1 - h_2) \cdot \left(\frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2} \right) \right] \quad (51)$$

Av (51) framgår att $G_{s,i,t} = 0$ om $T_1 = T_2 = T_s = T_t$ eftersom $\sum_{n_G} (h_1 - h_2) = h_{s,i} - h_{t,i}$

B.2.2 Vindtryck

Drivkraft av vindtryck uppträder vid luftvägsändar som mynnar utomhus. Vindtrycket vid en utomhusände kan skrivas

$$v = \mu \cdot \frac{\rho_0 \cdot T_0}{T} \cdot \frac{v^2}{2} \quad (52)$$

där μ = formfaktorn för vind vid luftvägens utomhusände

$$\rho_0 \cdot T_0 = 353 \text{ Pa } ^\circ\text{K}/(\text{m/s})^2$$

T = absoluta lufttemperaturen utomhus

v = vindhastigheten vid byggnaden.

Ett positivt μ -värde ger en tryckstegring och ett positivt värde på V . Jfr FIGUR A4.

B.2.3 Fläktar

Fläktar driver visserligen luften men behandlas i detta beräkningssystem som motstånd, se B.1.5.

B.3 FLÖDESEKVATIONEN

Flödena till och från en luftcell eller ett kanalsnitt balanserar varandra. Summan av flödena i tillriktningen minskad med summan av flödena i frånriktningen är alltså lika med noll.

Om beräkningsstorheten för ett flöde i tillriktningen betecknas q_a och beräkningsstorheten för ett flöde i frånriktningen betecknas q_e kan flödesekvationen för en luftcell eller ett kanalsnitt skrivas

$$\sum_a^{n_a} q_a - \sum_e^{n_e} q_e = 0 \quad (53)$$

där $a = a_1, a_2, \dots, a_{n_a}$
 $e = e_1, e_2, \dots, e_{n_e}$

B.4 TRYCKEKVATIONEN

De totala tryckförändringarna i en luftkrets skall vara lika med noll, dvs summan av trycksänkningarna i en viss omloppsriktning skall vara lika med summan av tryckhöjningarna i samma riktning.

Villkoret kan uttryckas i en tryckekvation som för den luftkrets som innehåller luftvägen nr i kan skrivas

$$q_i \sum^{m_i} M + P_s - P_t - (G_{s,i} - G_{t,i} - V_i) = 0 \quad (54)$$

där

- i = beteckningsnumret på luftkretsens luftväg
- $q_i \cdot M$ = tryckfallet i ett motstånd i luftkretsens luftväg
- q_i = flödet i luftvägen i
- M = en funktion av bl a q_i och i vissa fall q_j jfr B.1.3.
- q_j = flödet i en luftväg som ansluter till samma kanalsnitt som luftkretsens luftväg och som ansluter via en kanalförgrening i vilken q_i passerar det ena grenmotståndet och q_j det andra, jfr B.1.3.
- m_i = antalet motstånd i luftkretsens luftväg
- P_s = jämviktstrycket för luftcellen eller kanalsnittet med beteckningsnumret s (om s är numret på uteluftcellen är $P_s = 0$).
- P_t = jämviktstrycket för luftcellen eller kanalsnittet med beteckningsnumret t .
- s = beteckningsnumret på luftcellen eller kanalsnittet vid den ena änden av luftvägen i luftkretsen, $s < t$.
- t = beteckningsnumret på luftcellen eller kanalsnittet vid den andra änden av luftvägen i luftkretsen, $t > s$.
- G_i = total termisk kraft i luftkretsens luftväg.
- $G_{s,i}$ = den termiska kraften i den fiktiva luftpelare som ansluter till luftcellen eller kanalsnittet med beteckningsnumret s , där samtidigt luftvägen i ansluter.
- $G_{t,i}$ = den termiska kraften i den fiktiva luftpelare som ansluter till luftcellen eller kanalsnittet med beteckningsnumret t , där samtidigt luftvägen i ansluter.
- V_i = vindtrycket vid den luftvägsände som är ansluten till luftcellen med beteckningsnumret s om s är numret på uteluftcellen, dvs $s = 0$. Om $s \neq 0$ är $V_i = 0$.

Storheterna G_i , $G_{s,i}$, $G_{t,i}$ och V_i i (47) ersätts med en enda storhet K_i .

$$G_{s,i} - G_{t,i} - G_i - V_i = K_i \quad (55)$$

Kombineras (54) och (55) kan tryckekvationen skrivas på ett mer förenklat sätt

$$q_i \cdot M_i + P_s - P_t - K_i = 0 \quad (56)$$

där

$$M_i = \sum^{m_i} M \quad (57)$$

B.5 TEMPERATURER I LUFTCELLER OCH KANALSNIITT

Betecknas absoluta lufttemperaturen T_a i ett flöde q_a i tillriktningen kan temperaturen T_e i flöden q_e i frånriktningen beräknas som

$$T_e = \frac{\sum_a^{n_a} q_a T_a + W}{\sum_a^{n_a} q_a} \rho_{ref} C_p \quad (58)$$

där W är tillförd värmeeffekt minskat med bortförd värmeeffekt.

ρ_{ref} är luftdensiteten för absoluta lufttemperaturen T_{ref} .

C_p är den isobara värmekapaciteten för luften.

C BERÄKNINGSMODELL

C.1 BERÄKNINGSSAMBAND

En byggnad är ur luftflödessynpunkt en samling slutna luftkretsar sammankopplade genom luftceller och kanalsnitt. Det gäller att finna beräkningssamband som gör det möjligt att beräkna flödena.

I B.3 och B.4 visas två typer av beräkningssamband, flödesekvationen (52) och tryckekvationen (53). Uppställs flödesekvationerna för alla kanalsnitt och alla luftceller utom uteluftcellen får man ett ekvationssystem som innehåller ett större antal obekanta storheter (flödena) än antalet ekvationer. Antalet beräkningssamband är alltså mindre än vad som krävs för systemets lösning.

Utökas ekvationssystemet med tryckekvationerna för alla luftvägar blir antalet nytillkomna ekvationer större än antalet nytillkomna obekanta storheter (jämviktstrycken) så att det totala antalet obekanta blir lika stort som antalet ekvationer.

Numrering, indexnummer

Varje luftväg, kanalsnitt och luftcell åsätts ett nummer tillhörande nummerserien 0, 1, 2, ... N. Numreringen görs i överensstämmelse med nedanstående schema:

Nummerbärare	Nummer
Uteluftcellen	0
Luftvägar i ventilationssystem samt luftvägar genom väggar och bjälklag	$i = 1, 2, \dots, k$
Kanalsnitt samt luftceller inomhus	$r = k+1, k+2, \dots, N$

Där två luftvägar går igenom grenmotstånd i samma kanalförgrening gäller dessutom att skillnaden mellan luftvägarnas nummer skall vara lika med +1 eller -1.

Beträffande kanalsnitts numrering, se även 3.3.

Nummerbärarnas nummer utnyttjas som index i storhetsbeteckningar, t ex

q_4	= flöde i luftväg 4
p_{12}	= jämviktstryck för luftcell 12
G_4	= total termisk kraft i luftväg 4

$G_{12,4}$ = termisk kraft i den fiktiva luftpelaren vid den ände av luftväg 4 som ansluter till luftcell 12

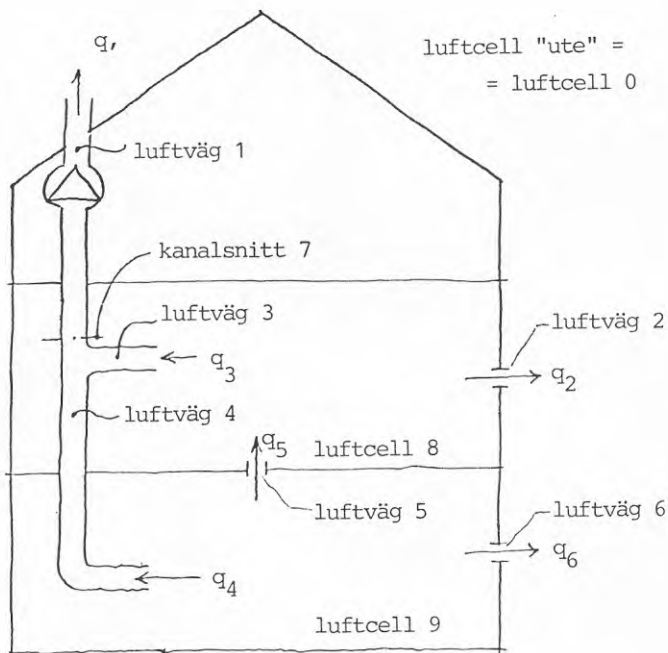
V_6 = vindtryck vid utomhusändan av luftväg 6

C.2 ETT PRINCIPFALL

För att konkretisera beräkningssmodellen studeras en enkel byggnad med ett ventilationssystem, FIGUR C1.

C.2.1 Beräkning av flöden och jämviktstryck för ett visst temperatur- och vindbelastningsfall

Alla motståndsp parametrar förutsätts ha kända värden. Utseendena av funktionerna för grenmotstånd motståndstal och fläktkurvan förutsätts likaså vara kända.



FIGUR C1 ENKEL BYGGNAD MED ENKELT VENTILATIONSSYSTEM

Uppställs alla tryckekvationerna och flödesekvationerna för luftvägarna och luftcellerna/kanalsnitten i FIGUR C1 erhålls ekvationssystemet:

$$\left. \begin{aligned}
 q_1 \cdot M_1 & - P_7 - K_1 = 0 \\
 q_2 \cdot M_2 & - P_8 - K_2 = 0 \\
 q_3 \cdot M_3 + P_7 - P_8 - K_3 & = 0 \\
 q_4 \cdot M_4 + P_7 - P_9 - K_4 & = 0 \\
 q_5 \cdot M_5 + P_8 - P_9 - K_5 & = 0 \\
 q_6 \cdot M_6 & - P_9 - K_6 = 0 \\
 & - q_1 + q_3 + q_4 = 0 \\
 & - q_2 - q_3 + q_5 = 0 \\
 & - q_4 - q_5 - q_6 = 0
 \end{aligned} \right\} (1)$$

där M_1 = en icke linjär funktion av q_1
 M_2 = en icke linjär funktion av q_2
 M_3 = en icke linjär funktion av q_3 och q_4
 M_4 = en icke linjär funktion av q_4 och q_3
 M_5 = en icke linjär funktion av q_5
 M_6 = en icke linjär funktion av q_6

och där konstanterna

$$\begin{aligned}
 K_1 & = G_{0,1} - G_{7,1} - G_1 - V_1 \\
 K_2 & = G_{0,2} - G_{8,2} - V_2 \\
 K_3 & = G_{7,3} - G_{8,3} \\
 K_4 & = G_{7,4} - G_{9,4} - G_4 \\
 K_5 & = G_{8,5} - G_{9,5} \\
 K_6 & = G_{0,6} - G_{9,6} - V_6
 \end{aligned}$$

Systemet (1) består av nio ekvationer som tillsammans innehåller sex flöden q och tre jämviktstryck P , dvs nio obekanta storheter.

C.2.2 Lösning av ekvationssystem

Ekvationssystemet (1) innehåller lika många ekvationer som antalet obekanta storheter och kan alltså lösas. Eftersom q ingår i M på icke linjärt sätt, måste lösning ske genom iteration.

Tillvägagångssättet vid iterationen kan förklaras på följande sätt:

Antag att man har ett ekvationssystem bestående av N stycken ekvationer av typen

$$u_h + w_h + \dots + C_h = 0$$

Antag att C_h är en konstant term och att de övriga termerna i systemekvationernas vänsterled utgörs av högerleden i ett antal kurvekvationer

$$u_h = f_h(x) = \text{en funktion av } x \text{ för } h = 1, 2, \dots, N$$

$$w_h = g_h(y) = \text{en funktion av } y \text{ för } h = 1, 2, \dots, N$$

⋮
⋮
⋮

Insätts i f_h, g_h, \dots på försök valda värden x^*, y^*, \dots blir värdet av systemekvationernas vänsterled i allmänhet ej lika med noll. Antag att man får

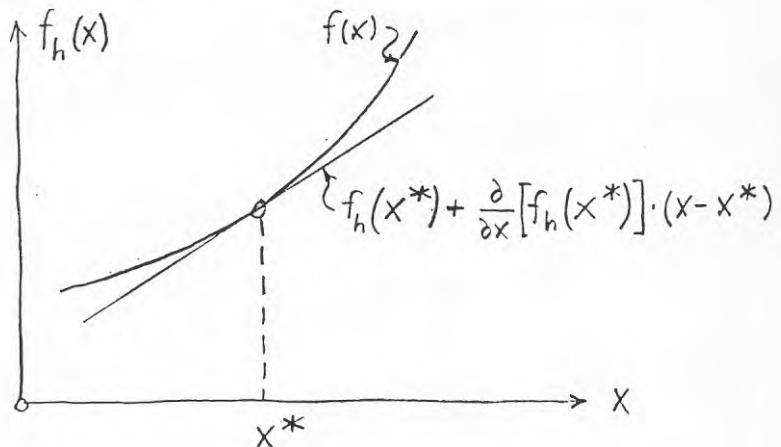
$$f_h(x^*) + g_h(y^*) + \dots + C_h = S_h^*$$

För att förbättra värdena x^*, y^*, \dots och S_h^* ersätts kurvekvation som icke är linjär med ekvationen för kurvans tangent i den punkt där respektive $x = x^*, y = y^*, \dots$, FIGUR C2. De nya linjära kurvekvationerna kan skrivas

$$u_h = f_h(x^*) + \frac{\partial f_h(x^*)}{\partial x} \cdot (x - x^*)$$

$$w_h = g_h(y^*) + \frac{\partial g_h(y^*)}{\partial y} \cdot (y - y^*)$$

⋮
⋮
⋮



FIGUR C2 LINEARISERING AV $f_h(x)$ I EN GODTYCKLIGT VALD TANGENTPUNKT x^* .

Högerleden i de nya linjära kurvekvationerna insätts i h -te systemekvationens vänsterled. Härvid betecknas

$$\begin{aligned}x - x^* &= \Delta x \\y - y^* &= \Delta y \\&\cdot \\&\cdot \\&\cdot\end{aligned}$$

och som tidigare nämnts

$$f_h(x^*) + g_h(y^*) + \dots + C_h = S_h^*$$

För $h = 1, 2, \dots, N$ erhålls på detta sätt i första iterationssteget ett nytt lineariserat ekvationssystem med ekvationer av typen

$$\frac{\partial f_h(x^*)}{\partial x} \cdot \Delta x + \frac{\partial g_h(y^*)}{\partial y} \cdot \Delta y + \dots + S_h^* = 0$$

Eftersom alla ekvationerna i systemet är linjära kan systemet lösas på konventionellt sätt.

Antag att lösningen är tillskotten

$$\begin{aligned}\Delta x &= \Delta x^* \\ \Delta y &= \Delta y^* \\ &\cdot \\ &\cdot \\ &\cdot\end{aligned}$$

Med hjälp av tillskotten beräknas i nästa iterationssteg förbättrade värden och nya tillskott

$$\begin{aligned}x^{**} &= x^* + \Delta x^* \\ y^{**} &= y^* + \Delta y^* \\ S_h^{**} &= f_h(x^{**}) + g_h(y^{**}) + \dots + C_h \\ \Delta x &= \Delta x^{**} \\ \Delta y &= \Delta y^{**}\end{aligned}$$

I påföljande iterationssteg används de nya tillskotten för att få nya förbättrade värden och häremot svarande tillskott osv.

Hittills har för enkelhets skull antagits att var och en av kurvfunktionerna som ingår i de ursprungliga systemekvationernas vänsterled är en funktion av en variabel. Det finns dock inget hinder för att använda det beskrivna tillvägagångssättet då en funktion är en funktion av t ex två variabler.

Antag att t ex $u_h = f_h(x)$ som beskriver en kurva i stället är $u_h = f_h(x, z)$ som beskriver en yta.

Om ytan är buktig måste ytekvationen lineariseras, dvs ersättas av ekvationen för den plana tangentytan i den punkt där $x = x^*$ och $z = z^*$. Man får då den nya linjära ytekvationen:

$$u_h = f_h(x^*, z^*) + \frac{\partial f_h(x^*, z^*)}{\partial x} \cdot (x - x^*) + \frac{\partial f_h(x^*, z^*)}{\partial z} \cdot (z - z^*)$$

I första iterationssteget ser de lineariserade systemekvationerna ut på följande sätt:

$$\frac{\partial f_h(x^*, z^*)}{\partial x} \cdot \Delta x + \frac{\partial g_h(y^*)}{\partial y} \cdot \Delta y + \frac{\partial f_h(x^*, z^*)}{\partial z} \cdot \Delta z + \dots + S_h^* = 0$$

där $S_h^* = f_h(x^*, z^*) + g_h(y^*) + \dots + C_h$

I det ν -te iterationssteget är det förbättrade S-värdet

$$S_h^\nu = f_h(x^\nu, z^\nu) + g_h(y^\nu) + \dots + C_h$$

Förutom att vara värdet på konstanttermen i den h -te lineariserade systemekvationen är S_h^ν värdet på motsvarande ursprungliga olinjära systemekvationens vänsterled. Detta kan användas för att pröva huruvida respektive $x^\nu, y^\nu, z^\nu, \dots$ är godtagbart nära lika med en exakt lösnings variabelvärden. Eftersom en exakt lösning kännetecknas av att variabelvärdena ger S-värden som är lika med noll för alla h , kan en godtagbar lösning sägas kännetecknas av att dess variabelvärden ger S-värden som skiljer sig så litet från noll att man kan bortse ifrån avvikelserna. Iterationsberäkningen kan alltså avbrytas när x, y, z, \dots uppfyller villkoret

$$|S_h^\nu| < \epsilon_h \quad \text{för } h = 1, 2, \dots, N$$

där $\epsilon_h =$ valt tillräckligt litet positivt värde.

Tillämpas nu ovan beskrivna iterationsförfarande på ekvationssystemet (1) får i första iterationssteget ekvationen på t ex rad 1 följande utseende (i luftväg 1 antas finnas engångsmotstånd och friktionsmotstånd samt en frånluftsfläkt):

$$\frac{\partial f_1(q_1^*)}{\partial q_1} \cdot \Delta q_1 - \Delta P_7 + S_1^* = 0 \quad (2)$$

där $\frac{\partial f_1(q_1^*)}{\partial q_1} =$ värdet på $\frac{\partial f_1(q_1)}{\partial q_1}$

för det på försök valda värdet q_1^*

$$f_1(q_1) = q_1 \cdot M_1$$

$$M_1 = \sum^{m_1} M = \sum^{m_1^I} M^I + M^{III}$$

M^I = M för ett engångsmotstånd eller ett friktionsmotstånd enligt B.1.2 resp B.1.4.

M^{III} = M för frånluftsfläkten enligt B.1.5.

m_1 = antalet motstånd i luftväg 1

m_1^I = antalet engångsmotstånd och friktionsmotstånd

$$S_1^* = q_1^* \cdot M_1^* - P_7^* - K_1$$

M_1^* = värdet på M_1 för det på försök valda värdet q_1^* .

P_7^* = ett på försök valt värde på P_7 .

Derivatauttrycket som används för att beräkna derivatavärdet i (2) är av följande typ:

$$\frac{\partial f_1(q_1)}{\partial q_1} = \sum \frac{m_1^I}{\beta_I} + \sum m_1^f M^I \cdot \frac{q_1}{\lambda} \cdot \frac{\partial \lambda}{\partial q_1} - \frac{T_{\text{kat}}}{T} \cdot \frac{\partial p^{\text{kat}}}{\partial q_1} \quad (3)$$

där $\beta_I = 1/2$ för engångsmotstånd av ξ -typ
och för friktionsmotstånd

$\beta_I = \beta$ för engångsmotstånd av α -typ

$$\frac{q_1}{\lambda} \cdot \frac{\partial \lambda}{\partial q_1} = - \frac{10,04}{(\ln 10) \cdot R_e \cdot 10^{-1/2\sqrt{\lambda}} + 5,02}$$

för $R_e > 2300$

$$\frac{q_1}{\lambda} \cdot \frac{\partial \lambda}{\partial q_1} = -1 \text{ för } R_e \leq 2300$$

m_1^f = antalet friktionsmotstånd i luftväg 1

p^{kat} = totaltryckförändringen i fläkten vid lufttemperaturen T_{kat} enligt fläktkatalog

T = absoluta lufttemperaturen i fläkten

I t ex luftväg 3 finns, förutom engångsmotstånd och friktionsmotstånd, ett grenmotstånd. Ekvationen på rad 3 i (1) får därför ett något krångligare utseende efter linearisering:

$$\frac{\partial f_3(q_3, q_4)}{\partial q_3} = \sum_I^{m_3} \frac{M^I}{\beta_I} + \sum_f^{m_3} M^I \cdot \frac{q_3}{1} \cdot \frac{\partial \lambda}{\partial q_3} + \frac{2 q_3 \cdot M^{II}}{q_3 + q_4} + \frac{q_3 \cdot M^{II}}{\zeta_f} \cdot \frac{\partial \zeta_f}{\partial q_3} \quad (5)$$

$$\frac{\partial f_3(q_3, q_4)}{\partial q_4} = \frac{2 q_3 \cdot M^{II}}{q_3 + q_4} + \frac{q_3 \cdot M^{II}}{\zeta_f} \cdot \frac{\partial \zeta_f}{\partial q_4} \quad (6)$$

där ζ_f = motståndstalet för grenmotståndet i luftväg 3 beräknat enligt B.1.3

$\beta_I = 1/2$ för engångsmotstånd av ζ -typ och för friktionsmotstånd

$\beta_I = \beta$ för engångsmotstånd av α -typ

$$\frac{q_3}{1} \cdot \frac{\partial \lambda}{\partial q_3} = - \frac{10,04}{(\ln 10) \cdot R_e \cdot 10^{-1/2} + 5,02}$$

för $R_e > 2300$

$$\frac{q_3}{1} \cdot \frac{\partial \lambda}{\partial q_3} = -1 \text{ för } R_e \leq 2300$$

m_3^f = antalet friktionsmotstånd i luftväg 3

I luftväg 5 finns endast ett motstånd (ett läckningsmotstånd), varför man på rad 5 får en betydligt enklare ekvation.

$$\frac{\partial f_5(q_5^*)}{\partial q_5} \cdot \Delta q_5 + \Delta P_8 - \Delta P_9 + S_5^* = 0 \quad (7)$$

där $\frac{\partial f_5(q_5^*)}{\partial q_5}$ är värdet på $\frac{\partial f_5(q_5)}{\partial q_5}$ för det på försök

valda värdet q_5^*

$$\frac{\partial f_5(q_5)}{\partial q_5} = \frac{\partial (q_5 \cdot M_5)}{\partial q_5} = \frac{M_5}{\beta}$$

$M_5 = M$ för läckningsmotståndet enligt B.1.1

$$S_5^* = q_5^* \cdot M_5^* + P_8^* - P_9^* - K_5$$

M_5^* = värdet på M_5 för det på försök valda värdet q_5^*

Införs för derivatavärdena beteckningarna som följer nedan kan ekvationerna skrivas enklare:

$$\frac{\partial f_1(q_1^*)}{\partial q_1} = D_{1,1}^*$$

som ingår i första termen i (2)

$$\frac{\partial f_3(q_3^*, q_4^*)}{\partial q_3} = D_{3,3}^*$$

som ingår i första termen i (4)

$$\frac{\partial f_3(q_3^*, q_4^*)}{\partial q_4} = D_{3,4}^*$$

som ingår i andra termen i (4)

$$\frac{\partial f_5(q_5^*)}{\partial q_5} = D_{5,5}^*$$

som ingår i första termen i (7).

Det fullständiga ekvationssystemet i första iterationssteget blir då

$$\begin{aligned} D_{1,1}^* \cdot \Delta q_1 & & - \Delta P_7 + S_1^* & = 0 \\ D_{2,2}^* \cdot \Delta q_2 & & - \Delta P_8 + S_2^* & = 0 \\ D_{3,3}^* \cdot \Delta q_3 + D_{3,4}^* \cdot \Delta q_4 + \Delta P_7 - \Delta P_8 + S_3^* & = 0 \\ D_{4,4}^* \cdot \Delta q_4 + D_{4,3}^* \cdot \Delta q_3 + \Delta P_7 - \Delta P_9 + S_4^* & = 0 \\ D_{5,5}^* \cdot \Delta q_5 & & + \Delta P_8 - \Delta P_9 + S_5^* & = 0 \\ D_{6,6}^* \cdot \Delta q_6 & & - \Delta P_9 + S_6^* & = 0 \\ & & - \Delta q_1 + \Delta q_3 + \Delta q_4 + S_7^* & = 0 \\ & & - \Delta q_2 - \Delta q_3 + \Delta q_5 + S_8^* & = 0 \\ & & - \Delta q_4 - \Delta q_5 - \Delta q_6 + S_9^* & = 0 \end{aligned} \quad (8)$$

Lösningen till ekvationssystem (8) ger de förbättrade variabelvärdena

$$\begin{aligned} q_1^{**} &= q_1^* + \Delta q_1^* \\ q_2^{**} &= q_2^* + \Delta q_2^* \\ &\vdots \\ &\vdots \\ P_9^{**} &= P_9^* + \Delta P_9^* \end{aligned}$$

Ersätts q_1^* , q_2^* , ... med q_1^{**} , q_2^{**} , ... i (8) erhålls nya förbättrade värden q_1^{***} , q_2^{***} , ... etc.

I det ν -te iterationssteget har man de förbättrade S-värdena S_1^ν , S_2^ν , ...

Om det befinns att alla S-värdens absoluta belopp är mindre än ett ur luftomsättningssynpunkt försumbart litet tryck respektive flöde kan iterationen avbrytas och q_1^ν , q_2^ν , ... betraktas som en godtagbar lösning till (1). Iteration kan alltså avbrytas om

$$|S_i^\nu| \leq \xi_i \quad \text{för } i = 1, 2, \dots, 6 \quad (9)$$

$$|S_r^\nu| \leq \xi_r \quad \text{för } r = 7, 8, 9 \quad (10)$$

där ξ_i resp ξ_r = ett valt positivt tryckvärde resp flödesvärde så litet att det i praktiska fall kan försummas.

C.2.3 Matrisberäkning

Matriser

Som framgår av (8) leder redan ett enkelt exempel som det i FIGUR C1 till ett så stort antal ekvationer att användning av dator för iterationsberäkningen är påkallad. Den vanliga rutinen vid datorlösning av ekvationssystem är att uppställa ekvationerna i matrisform.

Ekvationssystemet (8) kan i matrisform skrivas

$$\left\{ \begin{array}{l} D * \Delta q + E * \Delta P = -U \end{array} \right. \quad (11)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} E^t * \Delta q \end{array} \right. = -W \quad (12)$$

där i första iterationssteget

$$D = \begin{bmatrix} D_{1,1}^* & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 \\ 0 & D_{2,2}^* & 0 & \cdot & \cdot & 0 \\ 0 & 0 & D_{3,3}^* & D_{3,4}^* & 0 & 0 \\ 0 & 0 & D_{4,3}^* & D_{4,4}^* & 0 & 0 \\ 0 & \cdot & \cdot & 0 & D_{5,5}^* & 0 \\ 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 & D_{6,6}^* \end{bmatrix} \quad \Delta q = \begin{bmatrix} \Delta q_1 \\ \Delta q_2 \\ \Delta q_3 \\ \Delta q_4 \\ \Delta q_5 \\ \Delta q_5 \end{bmatrix}$$

$$E = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 1 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad \Delta P = \begin{bmatrix} \Delta P_7 \\ \Delta P_8 \\ \Delta P_9 \end{bmatrix}$$

$$E^t = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad \text{dvs E-matrisen transponerad}$$

$$U = \begin{bmatrix} S_1^* \\ S_2^* \\ S_3^* \\ S_4^* \\ S_5^* \\ S_6^* \end{bmatrix} = M * Q + E * P - K \quad (13)$$

$$M = \begin{bmatrix} M_{1,1}^* & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 \\ 0 & M_{2,1}^* & 0 & \cdot & \cdot & 0 \\ 0 & 0 & M_{3,1}^* & 0 & \cdot & 0 \\ 0 & \cdot & 0 & M_{4,1}^* & 0 & 0 \\ 0 & \cdot & \cdot & 0 & M_{5,1}^* & 0 \\ 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 & M_{6,1}^* \end{bmatrix} \quad Q = \begin{bmatrix} q_1^* \\ q_2^* \\ q_3^* \\ q_4^* \\ q_5^* \\ q_6^* \end{bmatrix}$$

$$P = \begin{bmatrix} P_7^* \\ P_8^* \\ P_9^* \end{bmatrix} \quad K = \begin{bmatrix} K_1 \\ K_2 \\ K_3 \\ K_4 \\ K_5 \\ K_6 \end{bmatrix}$$

$$W = \begin{bmatrix} S_7^* \\ S_8^* \\ S_9^* \end{bmatrix} = E^t * Q \quad (14)$$

Lösning

Matrisekvationssystemet kan lösas på följande sätt:

Ur (11) erhålls

$$\Delta q = -D^{-1} * E * \Delta P - D^{-1} * U \quad (15)$$

Multiplieras båda leden i (15) med E^t erhålls:

$$E^t * \Delta q = -E^t * D^{-1} * E * \Delta P - E^t * D^{-1} * U \quad (16)$$

Kombineras (16) och (12) har man att

$$-E^t * D^{-1} * E * \Delta P - E^t * D^{-1} * U = -W$$

varur kan lösas:

$$\Delta P = (E^t * D^{-1} * E)^{-1} * (W - E^t * D^{-1} * U) \quad (17)$$

Högerledet i (17) innehåller enbart bestämda värden, varför ΔP kan beräknas. Δq fås sedan genom insättning av ΔP i (15).

Varje iterationssteg utom det första inleds med att sammanhörande variabelvärden och Δ -värden i föregående iterationssteg adderas. Med hjälp av de på så sätt "förbättrade" variabelvärdena beräknas därefter matrisvärdena i U och W samt undersöks huruvida samtliga dessa uppfyller villkoren (9) och (10). Visar sig detta vara fallet avbryts iterationen. Om villkoren ej uppfylls beräknas iterationsstegets Δ -värden samt fortsätts iterationen med nästa steg.

Förenklingar

Då en D-matris inverteras får man en D^{-1} -matris. Innehåller en matrisposition en nolla i D-matrisen kommer även D^{-1} -matrisen att innehålla en nolla i samma position.

För att i möjligaste mån nedbringa beräkningsvolymen bör på varje rad i D-matrisen och D^{-1} -matrisen den koefficient, som i likhet med koefficienten i diagonalposition har ett värde skilt från noll, placeras så nära diagonalpositionen som möjligt. Överallt där två luftvägar går igenom grenmotstånd i samma kanalförgrening bör de två luftvägarna därför numreras så att de har intill varandra liggande nummer.

C.3 BERÄKNING AV STRYPNING I LUFTDON OCH ARBETSPUNKT PÅ FLÄKTKURVA

Ventilationssystemet i FIGUR C1 betraktas. Alla motståndsp parametrar förutsätts ha kända värden undantagandes de för luftdonet i luftväg 3. Utseendena av funktionerna för grenmotståndens motståndstal förutsätts likaså vara kända. Önskade ventilationsflöden för ett visst temperatur- och vindbelastningsfall har valts. Värden på motståndsp parametrarna för luftdonet i luftväg 3 söks. Först beräknas jämviktstrycken i luftcell 8 och 9.

C.3.1 Beräkning av jämviktstryck i luftceller

Enbart själva byggnaden i FIGUR C1 betraktas. Alla motståndsp parametrar för läckningsmotstånd förutsätts ha kända värden liksom de valda ventilationsflödena. Jämviktstrycken för luftcellerna kan nu beräknas genom lösning av nedanstående ekvationssystem (18) som visas i matrisform.

Använda storhetsbeteckningar framgår av C.2.2. (18) löses genom iteration på sätt som anges i C.2.

$$\begin{bmatrix} M_2 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & M_5 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & M_6 & 0 & -1 \\ -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & -1 & 0 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} q_2 \\ q_5 \\ q_6 \\ P_8 \\ P_9 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} K_2 \\ K_5 \\ K_6 \\ q_3 \\ q_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (18)$$

C.3.2 Beräkning av tryckfall och jämviktstryck i ventilationssystemet

Sedan nu värdena på P_8 och P_9 har beräknats kan tryckfallen $q_1 M_1$ och $q_3 M_3$ samt jämviktstrycket P_7 beräknas.

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} q_1 \cdot M_1 \\ q_3 \cdot M_3 \\ P_7 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ -P_8 \\ q_4 \cdot M_4 - P_9 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} K_1 \\ K_3 \\ K_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (19)$$

Ekvationerna i (19) är linjära, varför systemet kan lösas på konventionellt sätt.

C.3.3 Beräkning av tryckfall i luftdon och fläkttryck

Som framgår av C.2.2 kan tryckfallet ($q_3 M_{\text{don}}^I$) i luftdonet i luftväg 3 beräknas enligt

$$q_3 M_{\text{don}}^I = q_3 M_3 - q_3 \sum^{m_3^I-1} M^I - q_3 M^{II} \quad (20)$$

där m_3^I-1 = antalet engångsmotstånd i luftväg 3, luftdonet oräknat.

Lämpligt luftdon kan sedan väljas med ledning av ekv (13) eller (16) samt flödet q_3 och tryckfallet $q_3 M_{\text{don}}^I$.

De med hjälp av (19) beräknade värdena på $q_1 M_1$ och P_7 tillåter att katalogvärdet för fläkten, p^{kat} i (35) i appendix B, kan beräknas för tidigare valt q_1 -värde.

$$p^{\text{kat}} = - \frac{T}{T_{\text{kat}}} \cdot q_1 M^{\text{III}}$$

där $q_1 M^{\text{III}} = q_1 M_1 - q_1 \sum^{m_1^I} M^I$ enligt C.2.2.

Med ledning av p^{kat} -värdet och uttrycket

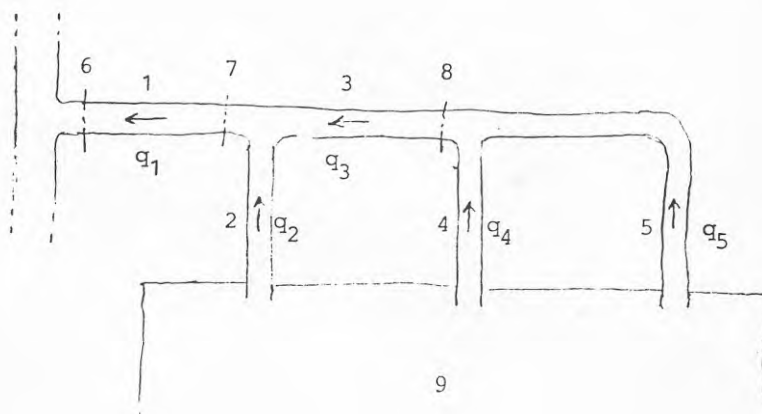
$$q_{\text{kat}} = \frac{T}{T_{\text{ref}}} \cdot q_1 \text{ enligt (32) i appendix B kan}$$

sedan lämplig fläkt väljas.

C.4 STORA HUS

Vid stora hus där ett stort antal luftdon betjänar varje luftcell blir antalet obekanta beräkningsstorheter besvärande stort. Om samtliga luftdon tillhörande samma fläkt i en luftcell kunde ersättas med ett enda luftdon skulle antalet beräkningsstorheter kunna minskas avsevärt. Detta är dessbättre möjligt.

I FIGUR C3 visas en schematisk bild på ett kanalsystem som via tre luftdon betjänar en luftcell. Systemet omfattar endast delen mellan luftcellen och den förgreningspunkt där systemet ansluter till kanal som betjänar annan eller andra luftceller.



FIGUR C3 KANALSYSTEM FÖR FRÅN- ELLER TILLUFT FÖR EN LUFTCELL (9).

Genom att göra en beräkning i princip enligt C.3.1 kan man bilda sig en uppfattning om läckningsflödena från och till luftcellen i en aktuell temperatur- och vindbelastningssituation och med ledning härav välja önskade flöden genom luftdonen samt välja motståndsp parametrar för ett av luftdonen, t ex det i luftväg 5.

Man kan nu beräkna tryckfallen i de återstående luftdonen - de i luftväg 2 och 4 - och jämviktstrycken i kanalsnitten. Beräkningen görs med hjälp av luftvägarnas tryckekvationer. Det krävs att ett känt värde på jämviktstrycket i luftcellen insätts i beräkningen. Detta kan vara värdet från den tidigare nämnda beräkningen men kan också vara ett godtyckligt värde som sedan betraktas som ett referensvärde för jämviktstrycken i kanalsnitten. Tryckekvationssystemet får följande utseende i matrisform.

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} P_6 \\ q_2 M_2 \\ P_7 \\ q_4 M_4 \\ P_8 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} q_1 M_1 \\ -P_9 \\ q_3 M_3 \\ -P_9 \\ q_5 M_5 - P_9 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} K_1 \\ K_2 \\ K_3 \\ K_4 \\ K_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (21)$$

Använda storhetsbeteckningar framgår av C.2.2.

Som synes är systemekvationerna linjära, varför lösning kan ske på konventionellt sätt utan iteration.

Sambandet mellan tryckfallet och flödet i en ekvivalent luftväg som ersätter kanalsystemet mellan luftcell 9 och kanalsnitt 6 kan anges med t ex

$$q_1 M_1 + q_2 M_2 = C_s \cdot C_\eta \cdot \alpha \left(\frac{T}{T_{\text{ref}}} \right)^{\frac{1}{\beta}} / q_1 / \beta^{-1} \cdot q_1 \quad (22)$$

eller

$$C_s \cdot C_\eta \cdot \alpha \left(\frac{T}{T_{\text{ref}}} \right)^{\frac{1}{\beta}} / q_1 / \beta^{-1} = \frac{q_1 M_1 + q_2 M_2}{q_1} \quad (23)$$

där C_s och C_η beräknas med hjälp av (19) resp (20) i APPENDIX B.

För att kunna beräkna α och β behövs två kända värden på högerledet i (23). Hittills föreligger bara ett. För att få ett andra värde väljs ett värde på flödet i luftväg 1 som är skilt från det tidigare använda värdet.

Eftersom nu alla flöden utom q_1 är obekanta storheter, liksom alla jämviktstrycken utom P_9 som kan åsättas ett godtyckligt referensvärde, erhålls ett ekvationssystem som innehåller såväl tryckekvationer som flödesekvationer.

$$\begin{bmatrix} M_2 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & M_3 & 0 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & M_4 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & M_5 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} q_2 \\ q_3 \\ q_4 \\ q_5 \\ P_7 \\ P_8 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} P_9 \\ 0 \\ P_9 \\ P_9 \\ q_1 \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} K_2 \\ K_3 \\ K_4 \\ K_5 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (24)$$

Tryckekvationerna (rad 1 - 4) är denna gång icke linjära. Lösning måste därför ske genom iteration på i C.2.1 angivet sätt.

Ett andra värde på högerledet i (23) kan nu beräknas. Om q^* betecknar flödesvärde i högerledet i (23) enligt den första beräkningen och q^{**} enligt den andra beräkningen kan man skriva

$$\left(\frac{q_1^*}{q_1^{**}}\right)^{\frac{1}{\beta}-1} = \frac{q_1^* M_1 + q_2^* M_2}{q_1^*} \cdot \frac{q_1^{**}}{q_1^{**} M_1 + q_2^{**} M_2} \quad (25)$$

vilket medger att värdet på β kan beräknas. Genom insättning av β -värdet i (23) kan sedan även värdet på α beräknas.

För läsare som ej har räkning med matriser helt aktuellt visas nedan exempel på

addition
 multiplikation
 transponering
 ekvationslösning

Addition

$$\begin{bmatrix} a_{11} \\ a_{21} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_{11} \\ b_{21} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} + b_{11} \\ a_{21} + b_{21} \end{bmatrix}$$

Multiplikation

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \\ b_{31} & b_{32} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} \\ c_{21} & c_{22} \\ c_{31} & c_{32} \end{bmatrix}$$

där

$$c_{11} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} b_{11} \\ b_{21} \\ b_{31} \end{bmatrix} = a_{11} b_{11} + a_{12} b_{21} + a_{13} b_{31}$$

$$c_{12} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} b_{12} \\ b_{22} \\ b_{32} \end{bmatrix} = a_{11} b_{12} + a_{12} b_{22} + a_{13} b_{32}$$

$$c_{21} = \begin{bmatrix} a_{21} & a_{22} & a_{23} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} b_{11} \\ b_{21} \\ b_{31} \end{bmatrix} = a_{21} b_{11} + a_{22} b_{21} + a_{23} b_{31}$$

etc.

Transponering

Om man i en matris

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & & & \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad \text{med } m \text{ rader och } n \text{ kolumner}$$

låter rader och kolumner byta plats, bildas den transponerade matrisen.

$$A^t = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{21} & \dots & a_{m1} \\ a_{12} & a_{22} & \dots & a_{m2} \\ \vdots & & & \\ a_{1n} & a_{2n} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad \text{med } n \text{ rader och } m \text{ kolumner}$$

Vi nöjer oss med att konstatera att koefficienterna i raderna i A återfinns i kolumnerna i A^t .

Ekvationslösning

Varje ekvationssystem

$$\begin{cases} a_{11} x_1 + a_{12} x_2 + \dots + a_{1n} x_n = b_1 \\ a_{21} x_1 + a_{22} x_2 + \dots + a_{2n} x_n = b_2 \\ \vdots \\ a_{m1} x_1 + a_{m2} x_2 + \dots + a_{mn} x_n = b_m \end{cases}$$

kan skrivas i kompaktformen

$$A * X = B,$$

där

A betyder en matris

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}$$

X betyder en matris

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}$$

och

B betyder en matris

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_m \end{bmatrix}$$

Vi vet att ekvationssystemet kan lösas om antalet ekvationer och antalet obekanta är lika, dvs att $m = n$. Om så är fallet kan lösningen skrivas:

$$x_1 = c_{11} b_1 + c_{12} b_2 + \dots + c_{1n} b_n$$

$$x_2 = c_{21} b_1 + c_{22} b_2 + \dots + c_{2n} b_n$$

$$\vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots$$

$$x_n = c_{n1} b_1 + c_{n2} b_2 + \dots + c_{nn} b_n$$

vilket i kompaktform kan uttryckas som

$$X = C * B,$$

där X och B betyder samma matriser som förut och

$$C \text{ betyder en matris } \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \cdots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \cdots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ c_{n1} & c_{n2} & \cdots & c_{nn} \end{bmatrix}$$

C-matrisen är den inversa matrisen till A-matrisen, vilket betecknas

$$C = A^{-1}.$$

Den inversa matrisen bildas enligt vissa regler, som det dock skulle föra för långt att här gå in på. Det kan dock nämnas att en matris som skall inverteras, bl a skall vara kvadratisk, dvs ha lika många rader som kolumner.

Låter man

$$A * X = B$$

vara kompaktformeln för ett system lineariserade tryckbalans- och flödesbalans-ekvationer och studerar koefficienterna i matriserna finner man att de kan uppdelas i fält enligt nedan:

$$A = \begin{array}{|c|c|} \hline D & E \\ \hline E^t & \begin{array}{l} \text{alla} \\ \text{koeff.} = \\ = 0 \end{array} \\ \hline \end{array} \left. \begin{array}{l} \left. \begin{array}{l} k = \text{antal rader} = \\ \text{antal tryckbalans-} \\ \text{ekvationer} \\ r = \text{antal rader} = \\ \text{antal flödes-} \\ \text{balans-ekvationer} \end{array} \right\} \end{array} \right\} \begin{array}{l} k \text{ kolumner} \\ r \text{ rader} \end{array}$$

$$X = \begin{array}{|c|} \hline \Delta q \\ \hline \Delta P \\ \hline \end{array} \left. \begin{array}{l} \left. \begin{array}{l} k \text{ rader} \\ r \text{ rader} \end{array} \right\} \end{array} \quad B = \begin{array}{|c|} \hline U \\ \hline W \\ \hline \end{array} \left. \begin{array}{l} \left. \begin{array}{l} k \text{ rader} \\ r \text{ rader} \end{array} \right\} \end{array}$$

Man finner alltid att $k > r$.

Betraktar man därefter de olika fälten som matriser inses att respektive

$$D * \Delta q + E * \Delta p = -U \quad (1)$$

och

$$E^t * \Delta q = -W \quad (2)$$

är kompaktformlerna för det lineariserade systemets tryckbalans- och flödesbalansekvationer.

KORREKTIONSFAKTORER C_p OCH C_η FÖR LÄCKNINGSMOTSTÅND

Sambandet mellan tryckfallet p och flödet w för läckningsmotstånd kan enligt Tamura & Wilson* skrivas

$$p = C' \cdot \zeta^{\frac{1}{\beta}-1} \cdot \eta^{2-\frac{1}{\beta}} \cdot \frac{w}{\zeta} / \zeta^{\frac{1}{\beta}-1} \cdot \frac{w}{\zeta} \quad (1)$$

där C' = en konstant

β = exponenten i (1) i B.1.1

ζ = luftens densitet för absoluta temperaturen T

η = luftens dynamiska viskositet för temperaturen T

$\eta = (3,65 + 0,0493 T) \cdot 10^{-6}$ i Pa s

w = massflödet per tidsenhet

För $T = T_{ref}$ erhålls enligt (1)

$$p_{ref} = C' \cdot \zeta_{ref}^{\frac{1}{\beta}-1} \cdot \eta_{ref}^{2-\frac{1}{\beta}} \cdot \frac{w}{\zeta_{ref}} / \zeta_{ref}^{\frac{1}{\beta}-1} \cdot \frac{w}{\zeta_{ref}} \quad (2)$$

Enligt (4) och (5) i B.1.1 gäller för $T = T_{ref}$ att

$$p_{ref} = \left(\frac{1}{k_{ref}}\right)^{\frac{1}{\beta}} \cdot \frac{1}{q} / \zeta_{ref}^{\frac{1}{\beta}-1} \cdot q \quad (3)$$

där $q = \frac{w}{\zeta_{ref}}$

(1) kan omskrivas till formen

$$p = C' \cdot \zeta_{ref}^{\frac{1}{\beta}-1} \cdot \eta_{ref}^{2-\frac{1}{\beta}} \cdot \left(\frac{\zeta}{\zeta_{ref}}\right)^{\frac{1}{\beta}-1} \cdot \left(\frac{\eta}{\eta_{ref}}\right)^{2-\frac{1}{\beta}} \cdot \left(\frac{\zeta_{ref}}{\zeta}\right)^{\frac{1}{\beta}} \cdot \frac{w}{\zeta_{ref}} / \zeta_{ref}^{\frac{1}{\beta}-1} \cdot \frac{w}{\zeta_{ref}} \quad (4)$$

* Transaction No 2047, ASHRAE, 1967

Kombineras (4), (2) och (3) erhålls

$$p = \left(\frac{1}{k_{\text{ref}}}\right)^{\frac{1}{\beta}} \cdot \left(\frac{\xi}{\xi_{\text{ref}}}\right)^{\frac{1}{\beta}-1} \cdot \left(\frac{\eta}{\eta_{\text{ref}}}\right)^{2-\frac{1}{\beta}} \cdot \left(\frac{\xi_{\text{ref}}}{\xi}\right)^{\frac{1}{\beta}} \cdot \frac{1}{q/\beta^{1-1}} \cdot q$$

eller om man så vill

$$p = C_{\xi} \cdot C_{\eta} \cdot \left(\frac{1}{k_{\text{ref}}}\right)^{\frac{1}{\beta}} \cdot \left(\frac{T}{T_{\text{ref}}}\right)^{\frac{1}{\beta}} \cdot \frac{1}{q/\beta^{1-1}} \cdot q \quad (5)$$

$$\text{där } C_{\xi} = \left(\frac{\xi}{\xi_{\text{ref}}}\right)^{\frac{1}{\beta}-1} = \left(\frac{T_{\text{ref}}}{T}\right)^{\frac{1}{\beta}-1}$$

$$C_{\eta} = \left(\frac{\eta}{\eta_{\text{ref}}}\right)^{2-\frac{1}{\beta}} = \left(\frac{3.65 + 0.0493 T}{3.65 + 0.0493 T_{\text{ref}}}\right)^{2-\frac{1}{\beta}}$$

$$\left(\frac{1}{k_{\text{ref}}}\right)^{\frac{1}{\beta}} = C' \cdot \xi_{\text{ref}}^{\frac{1}{\beta}-1} \cdot \eta_{\text{ref}}^{2-\frac{1}{\beta}} \quad (6)$$

C' i (6) kan bestämmas genom provning. Logaritmeras (1) fås

$$\log/p/ = \log(C' \cdot \xi_{\text{ref}}^{\frac{1}{\beta}-1} \cdot \eta_{\text{ref}}^{2-\frac{1}{\beta}}) + \frac{1}{\beta} \log \frac{w}{\xi} \quad (7)$$

Som framgår av (7) är $\log/p/$ en linjär funktion av

$\log \frac{w}{\xi}$ och därmed en rät linje i ett diagram. Om ett

antal (minst två) punkter på den räta linjen bestäms genom provning kan den räta linjen uppritas. Värdet på β kan därefter bestämmas eftersom det utgörs av det inverterade värdet av linjens lutningsindex. C' kan nu beräknas med hjälp av (1) genom insättning av värdet på β och sammanhörande värden på p , ξ , η och w för en godtycklig punkt på linjen.

Korrektionsfaktorn C

Om $p_{q>0}$ är p-värden för positiva värden på q och $p_{q<0}$ är p-värden för negativa värden på q så gäller att

$$\begin{aligned} p &= \frac{1}{2} \left(1 + \frac{q}{|q|}\right) \cdot p_{q>0} + \frac{1}{2} \left(1 - \frac{q}{|q|}\right) \cdot p_{q<0} = \\ &= \frac{1}{2} p_{q>0} \left[1 + \frac{p_{q<0}}{p_{q>0}} + \left(1 - \frac{p_{q<0}}{p_{q>0}}\right) \cdot \frac{q}{|q|}\right] = \\ &= \frac{1}{2} p_{q>0} \left[1 + C + (1-C) \cdot \frac{q}{|q|}\right] \end{aligned} \quad (8)$$

$$\text{där } p_{q>0} = C_{\rho_t} \cdot C_{\eta_t} \cdot \left(\frac{1}{k_{\text{ref}}^{q>0}}\right)^{\frac{1}{\beta}} \cdot \left(\frac{T_t}{T_{\text{ref}}}\right)^{\frac{1}{\beta}} \cdot |q|^{\frac{1-\beta}{\beta}} \cdot q$$

T_t är absoluta lufttemperaturen i motståndet då $q>0$.

C_{ρ_t} resp C_{η_t} är C_{ρ} resp C_{η} för $T = T_t$

$k_{\text{ref}}^{q>0}$ är k då $T = T_{\text{ref}}$ och $q>0$

$$p_{q<0} = C_{\rho_s} \cdot C_{\eta_s} \cdot \left(\frac{1}{k_{\text{ref}}^{q<0}}\right)^{\frac{1}{\beta}} \cdot \left(\frac{T_s}{T_{\text{ref}}}\right)^{\frac{1}{\beta}} \cdot |q|^{\frac{1-\beta}{\beta}} \cdot q$$

T_s är absoluta lufttemperaturen i motståndet då $q<0$.

C_{ρ_s} resp $C_{\eta_s} = C_{\rho}$ och C_{η} för $T = T_s$

$$\begin{aligned} C &= \frac{p_{q<0}}{p_{q>0}} = \\ &= \left(\frac{T_t}{T_s}\right)^{\frac{1}{\beta}-1} \cdot \left(\frac{3,65+0,0493 T_s}{3,65+0,0493 T_t}\right)^{2-\frac{1}{\beta}} \cdot \left(\frac{k_{\text{ref}}^{q>0}}{k_{\text{ref}}^{q<0}}\right)^{\frac{1}{\beta}} \cdot \left(\frac{T_s}{T_t}\right)^{\frac{1}{\beta}} = \\ &= \frac{T_s}{T_t} \cdot \left(\frac{3,65+0,0493 T_s}{3,65+0,0493 T_t}\right)^{2-\frac{1}{\beta}} \cdot \left(\frac{k_{\text{ref}}^{q>0}}{k_{\text{ref}}^{q<0}}\right)^{\frac{1}{\beta}} \end{aligned}$$

BERÄKNINGSEXEMPEL

Luftflödesberäkningar

Resultatutskrifterna visar ett exempel beräknat med TYRENS program för luftflödesberäkningar med flercellsmodeller.

Beräkningsprogram för flercellssystem existerar tidigare (B.T.Larsen och ev andra). Driftsfallet för kontorshus - när man vet åt vilket håll luften går i kanalerna - vållar mindre problem än nattfallet.

Exemplet belyser ett sådant fall då fläktarna är avstängda.

Luftflödena initieras av termisk drivkraft och luftmotstånd utgörs av en kombination av kanaler och luftläckor.

För att belysa noggrannheten vid iterationsförfarandet har valts att "tvinga fram" en ändring av flödesriktningen i en av ventilationskanalerna.

Mellan beräkningsstegen har därför läckmotståndens storlek förändrats i syfte att framkalla ett omvänt stabilt ventilationsflöde i den högra kanalen.

Det omvända flödet uppstår i den något svalare kanalen då höljet tätas och inre otätheter öppnas.

Förklaringar till datorutskrift:

"Positivt flöde" är flödesriktning från cell med högre ordningsnummer till cell med lägre.

A och B är luftvägsändar

$$\text{TRYCKFALL} = Z\ddot{A}T A \times \frac{\text{LUFTHASTIGHET}^2}{2} \times R O$$

$$\text{LUFTFLÖDE} = K\text{-FL} \times \text{TRYCKFALL}^{\text{BETA}}$$

$$\text{TRYCKFALL} = \text{ALFA} \times \text{LUFTFLÖDE}^{1/\text{BETA}}$$

$$\text{ALFA} = \left(\frac{1}{K\text{-FL}} \right)^{1/\text{BETA}}$$

$$\text{ALFA} = \frac{R O \times Z\ddot{A}T A}{2 \times \text{AREA}^2}$$

SP = 1 = specificerad temperatur

OS = 0 = ospecificerad temperatur

GRC = grader Celsius

RES. 6

NORDISK.ADB LM:1984-02-14 15:32

PROJEKT:
 DATUM : 1984-02-14 15:32:46

INDATA: KANALER

NR	LÄNGD	BREDD	HÖJD	HYD. DIAM	RAHET	ANSLUTNING TILL CELLER		WIND TRYCK
						A	B	
1	5.00	0.00	0.00	0.20	0.00100	1	0	5.00
8	5.00	0.00	0.00	0.20	0.00100	2	0	5.00

INDTA: ENGANGSMOTSÄND/LÄCKVÄGAR

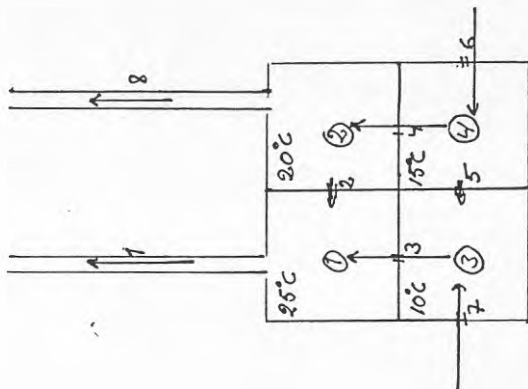
LFTMOT VÄG ST	POSITIVT FLODE			NEGATIVT FLODE			CELLANSLUTN. VIND						
	ZATA	BETA	ALFA	ZATA	BETA	ALFA	A	B	NIVA				
1	1	1.50	0.50	761.	0.000	1.50	0.50	761.	0.000	1	0	5.00	0.00
2	1	0.00	0.60	2154.	0.010	0.00	0.60	2154.	0.010	2	1	3.50	0.00
3	1	0.00	0.60	2154.	0.010	0.00	0.60	2154.	0.010	3	1	2.50	0.00
4	1	0.00	0.60	2154.	0.010	0.00	0.60	2154.	0.010	4	2	2.50	0.00
5	1	0.00	0.60	2154.	0.010	0.00	0.60	2154.	0.010	4	3	1.00	0.00
6	1	0.00	0.60	2154.	0.010	0.00	0.60	2154.	0.010	4	0	1.00	0.00
7	1	0.00	0.60	2154.	0.010	0.00	0.60	2154.	0.010	3	0	1.00	0.00
8	1	1.50	0.50	761.	0.000	1.50	0.50	761.	0.000	2	0	5.00	0.00

LFT VÄG	FRAN CELL	TILL CELL	FLODE M3/S	LFT VÄG	FRAN CELL	TILL CELL	FLODE M3/S	LFT VÄG	FRAN CELL	TILL CELL	FLODE M3/S
1	1	0	0.02897	4	4	2	0.02140	7	0	3	0.02240
2	2	1	0.00584	5	4	3	0.00072	8	2	0	0.01556
3	3	1	0.02312	6	0	4	0.02212	9	0	0	0.00000

TEMPERATURER TRYPK

CELL SP=1 NR	OS=0	TEMP GRC	TRYPK Pa	CELL SP=1 NR	OS=0	TEMP GRC	TRYPK Pa
1	1	25.00	-9.36	3	1	10.00	-3.95
2	1	20.00	-8.09	4	1	15.00	-4.10

LUTELFTTEMP: 0.0 GR C



START FÖLJOTSÄTTNINGAR

RES.7

NORDISK.ADB LM:1984-02-14 15:36

PROJEKT: STRYFTA BJKL
 DATUM : 1984-02-14 15:36:14

INDATA: KANALER

NR	LANGD	BREDD	HOJD	HYD. DIAM	ANSLUTNING TILL CELLER		VIND TRYCK
					A NIVA-A	B NIVA-B	
1	5.00	0.00	0.00	0.20	0.00100	1 0	5.00 10.00 0.00
8	5.00	0.00	0.00	0.20	0.00100	2 0	5.00 10.00 0.00

INDTA: ENGANGSMOTSAND/LACKVAGAR

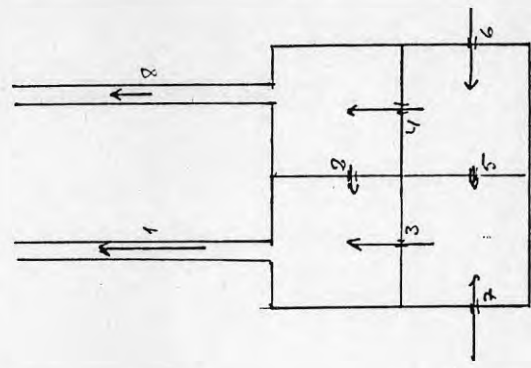
LFTMOT VAG ST	POSITIVT FLODE				NEGATIVT FLODE				CELLANSLUTN. VIND				
	ZATA	BETA	ALFA	K-FL	ZATA	BETA	ALFA	K-FL	A NIVA	B NIVA	TRYCK	TRYCK	
1	1.50	0.50	761.	0.000	1.50	0.50	761.	0.000	1	0	5.00	0.00	
2	1	0.00	0.60	2154.	0.010	0.60	2154.	0.010	2	1	3.50	0.00	
3	1	0.00	0.60	6840.	0.005	0.60	6840.	0.005	3	1	2.50	0.00	
4	1	0.00	0.60	6840.	0.005	0.60	6840.	0.005	4	2	2.50	0.00	
5	1	0.00	0.60	2154.	0.010	0.60	2154.	0.010	4	3	1.00	0.00	
6	1	0.00	0.60	2154.	0.010	0.60	2154.	0.010	4	0	1.00	0.00	
7	1	0.00	0.60	2154.	0.010	0.60	2154.	0.010	3	0	1.00	0.00	
8	1	1.50	0.50	761.	0.000	1.50	0.50	761.	0.000	2	0	5.00	0.00

LFT VAG	FRAN CELL	TILL CELL	FLODE M3/S	LFT VAG	FRAN CELL	TILL CELL	FLODE M3/S	LFT VAG	FRAN CELL	TILL CELL	FLODE M3/S
1	1	1	0.02167	4	4	2	0.01414	7	0	3	0.01471
2	2	1	0.00657	5	4	3	0.00038	8	2	0	0.00757
3	3	1	0.01509	6	0	4	0.01452	9	0	0	0.00000

TEMPERATURER TRYCK

CELL NR	SP=1	TEMP GR C	TRYCK Pa	CELL NR	SP=0	TEMP GR C	TRYCK Pa
1	1	25.00	-9.76	3	1	10.00	-2.19
2	1	20.00	-8.41	4	1	15.00	-2.36

UTELUFTTEMP: 0.0 GR C



LUFTVAGARNA 3 OCH V STRYFTS.
 FLODET MINGKAR NAGOT I
 KANAL 1, MER I KANAL 8

RES. 8

NORDISK.ADB LM: 1984-02-14 15:40

PROJEKT: ÖFFEN DÖRR
 DATUM : 1984-02-14 15:40:02

INDATA: KANALER

NR	LÅNGD	BREDD	HÖJD	HYD. DIAM	ANSLUTNING TILL CELLER		VIND TRYCK			
					A	B				
1	5.00	0.00	0.00	0.20	0.00100	1	0	5.00	10.00	0.00
8	5.00	0.00	0.00	0.20	0.00100	2	0	5.00	10.00	0.00

INDTA: ENGANGSMÖTAND/LÄCKVÄGAR

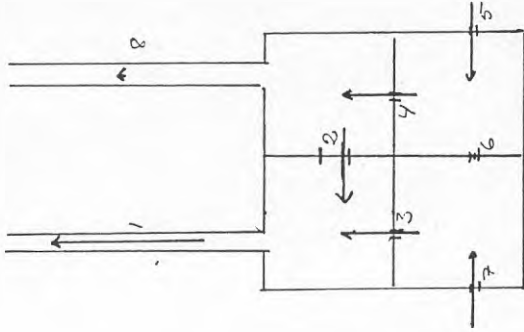
LFTMÖT POSITIVT FLODE				NEGATIVT FLODE				CELLANSLUKN. VIND					
VAG	ST	ZATA	BETA	ALFA	K-FL	ZATA	BETA	ALFA	K-FL	A	B	NIVA	TRYCK
1	1	1.50	0.50	761.	0.000	1.50	0.50	761.	0.000	1	0	5.00	0.00
2	1	0.00	0.60	0.	2.000	0.00	0.60	0.	2.000	2	1	3.50	0.00
3	1	0.00	0.60	6840.	0.005	0.00	0.60	6840.	0.005	3	1	2.50	0.00
4	1	0.00	0.60	6840.	0.005	0.00	0.60	6840.	0.005	4	2	2.50	0.00
5	1	0.00	0.60	2154.	0.010	0.00	0.60	2154.	0.010	4	3	1.00	0.00
6	1	0.00	0.60	2154.	0.010	0.00	0.60	2154.	0.010	4	0	1.00	0.00
7	1	0.00	0.60	2154.	0.010	0.00	0.60	2154.	0.010	3	0	1.00	0.00
8	1	1.50	0.50	761.	0.000	1.50	0.50	761.	0.000	2	0	5.00	0.00

LFT VAG	FRAN CELL	TILL CELL	FLODE M3/S	LFT VAG	FRAN CELL	TILL CELL	FLODE M3/S	LFT VAG	FRAN CELL	TILL CELL	FLODE M3/S
1	1	0	0.02901	4	4	2	0.01452	7	0	3	0.01453
2	2	1	0.01447	5	4	3	0.00001	8	2	0	0.00005
3	3	1	0.01454	6	0	4	0.01453	9	0	0	0.00000

TEMPERATURER TRYCK

CELL	SP=1	TEMP	TRYCK	CELL	SP=1	TEMP	TRYCK
NR	OS=0	GRC	Pa	NR	OS=0	GRC	Pa
1	1	25.00	-9.36	3	1	10.00	-2.15
2	1	20.00	-8.66	4	1	15.00	-2.36

UTELUFTTEMP: 0.0 GR C



LUF-TVÄG, 2 ÖPPNINGS FLÖDET
 STANNAR I KANAL 8
 ÖKAR I KANAL 1.

RES. 9

NORDISK.ADB LM:1984-02-14 15:43

PROJEKT: KRAFTIGT STRYPTA BJKL
 DATUM : 1984-02-14 15:43:04

INDATA: KANALER

NR	LANGD	BREDD	HOJJD	HYD. DIAM	ANSLUTNING TILL CELLER			VIND TRYCK		
					A	B	NIVA-A NIVA-B			
1	5.00	0.00	0.00	0.20	0.00100	1	0	5.00	10.00	0.00
8	5.00	0.00	0.00	0.20	0.00100	2	0	5.00	10.00	0.00

INDTA: ENBANGSMOTSAND/LÄCKVÄGAR

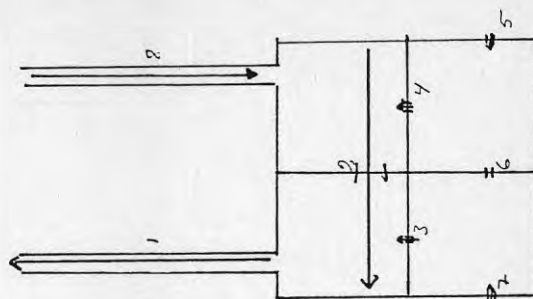
LFTMOT VAG	POSITIVT FLODE				NEGATIVT FLODE				CELLANSLUTN. VIND			
	FRAN CELL	TILL CELL	FLODE M3/S	TRYCK Pa	ZATA	BETA	ALFA	K-FL	A	B	NIVA	TRYCK
1	1	1.50	0.50	761.0	1.50	0.50	761.0	0.000	1	0	5.00	0.00
2	1	0.00	0.60	0.20000	0.00	0.60	0.20000	0.000	2	1	3.50	0.00
3	1	0.00	0.60	100000.0	0.00	0.60	100000.0	0.001	3	1	2.50	0.00
4	1	0.00	0.60	100000.0	0.00	0.60	100000.0	0.001	4	2	2.50	0.00
5	1	0.00	0.60	2154.0	0.010	0.60	2154.0	0.010	4	3	1.00	0.00
6	1	0.00	0.60	2154.0	0.010	0.60	2154.0	0.010	4	3	1.00	0.00
7	1	0.00	0.60	2154.0	0.010	0.60	2154.0	0.010	3	0	1.00	0.00
8	1	1.50	0.50	761.0	1.50	0.50	761.0	0.000	2	0	5.00	0.00

LFT VAG	FRAN CELL	TILL CELL	FLODE M3/S	TRYCK Pa	TIDEL CELL	FRAN CELL	TILL CELL	LFT VAG	FRAN CELL	TILL CELL	LFT VAG	FRAN CELL	TILL CELL	FLODE M3/S	TRYCK Pa
1	1	1	0.05000	0.00	2	0.00274	7	7	0	3	0.00275	0	3	0.00275	0.00
2	2	1	0.04725	-7.41	3	0.00000	8	8	0	2	0.04450	0	2	0.04450	0.00
3	3	1	0.00275	-6.69	4	0.00275	9	9	0	0	0.00000	0	0	0.00000	0.00

TEMPERATURER: TRYCK

CELL SP=1 NR	OS=0 NR	TEMP GRC	TRYCK Pa	CELL SP=1 NR	OS=0 NR	TEMP GRC	TRYCK Pa
1	1	25.00	-7.41	3	1	10.00	-0.70
2	1	20.00	-6.69	4	1	15.00	-0.92

UTELUFTTEMP: 0.0 GR C



LUFTVÄGARNA 3 OCH 4 STRYPS
 YTTRELLIGARE.
 FLODET VÄNDER I KANAL 3
 OCH ÖKAR I KANAL 1
 ÖVRIGA FLÖDEN AVSTÄMMADE

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 781245-7
från Statens råd för byggnadsforskning till Tyréns
Företagsgrupp AB, Sundbyberg.

R129: 1985

ISBN 91-540-4482-0

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6705129

Abonnemangsgrupp:
Z. Konstruktioner och material

Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm

Cirka pris: 35 kr exkl moms