

Ventilation

Revideret 15/12 - 2015

Ventilationssystemer

Hvad er "Ventilation"

Definitionen på ventilation er:
"transport og udskiftning af luft med det formål at forbedre luftkvaliteten"

*DS447

Et ventilationsanlæg er således anlæg hvor der er tale om systemer med mekanisk ventilation eller naturlig ventilation. Vi har ventilationsanlæg installeret i boligen på arbejdspladsen for generelt at skabe et godt og sundt indeklima. Det vil overordnet sige at forbedre iltindholdet og nedbringe CO₂ indholdet (kultveiltten som vi udånder) i den daglige indeluft.

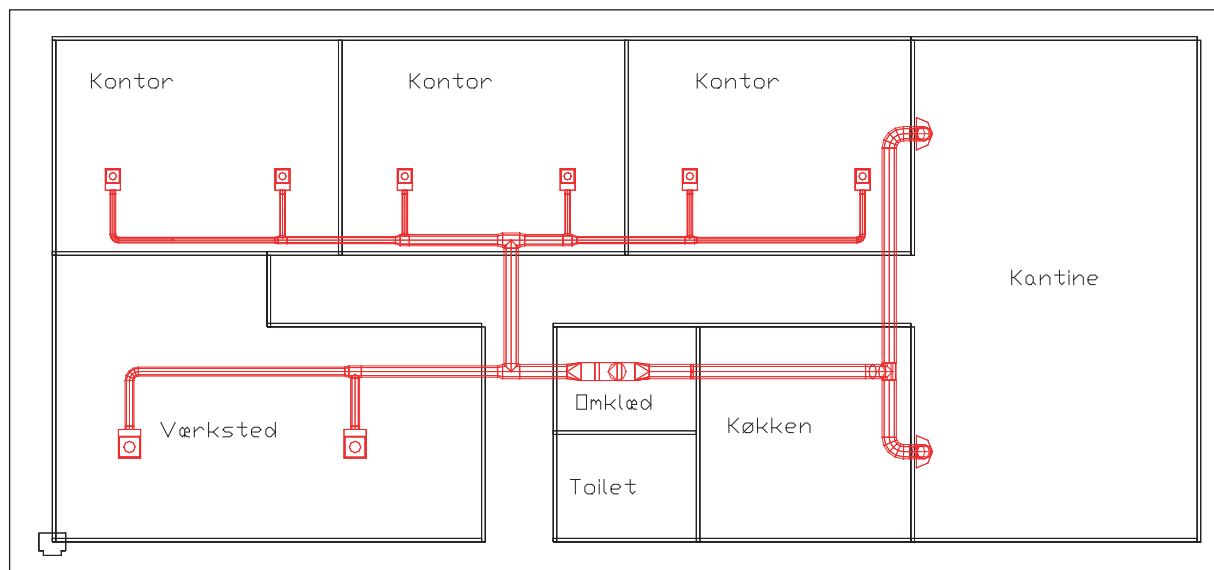
For at vi f.eks kan have et behageligt og sundhedsmæssigt opholdsområde der hvor vi arbejder, er det nødvendigt at få ventileret arbejdsområdet, idet der kan være arbejdsprocesser eller anden form for aktiviteter der afgiver dårlige lugte.

Det behøver nødvendigvis ikke at være giftige afgivelser der er farlige eller giver ubehag ved opholdet i arbejdsområdet. Ifølge lovgivningen, er der sat grænser for, hvad der skal ventileres for og hvordan.

Der opereres med forskellige typer af ventilationssystemer, der enten fungerer som indblæsnings- eller udsugningsanlæg, eller er en kombination af de to systemer. Kombinationen er i mange tilfælde kombineret med varme-genvinding, der giver mulighed for at styre både temperaturen i opholdsområderne og luftskiftet.

Ved valg af ventilationsanlæg er det et spørgsmål hvordan de enkelte rum/områder anvendes, og hvad lovgivningen, det vil sige bygningsreglementet, DS-normer og miljøloven kræver.

Eksempel på et ventilationsanlæg



Eksemplet angiver en servicevirksomhed, hvor der indblæses luft i de enkelte rum. Anlæggets rørføring er placeret i loftetagen og med specielle armaturer ført gennem etageadskillelsen til de enkelte rum.

Anlæggets opbygning

Anlægget er som tidligere nævnt et indblæsningsanlæg, uden nogen form for kombinationer som udsugning eller genvinding, det blæser ganske enkelt kun frisk luft ind i lokalerne.

Det vil således være ønsker og lovmæssige krav der har indflydelse på hvilken form for ventilation vi får brug for at installere. Her er der mange muligheder for at infri disse.

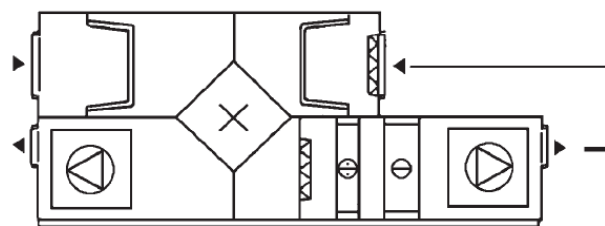
Komponenter

Når anlægget er dimensioneret og rørstørrelserne fundet, kendes størrelserne på de forskellige komponenter som bøjninger, afgreninger, reduktionsstykker og saddeltilpasninger samt ventilator. Komponenternes forskellighed er nærmere beskrevet i fabrikantkataloger som findes på skolen.

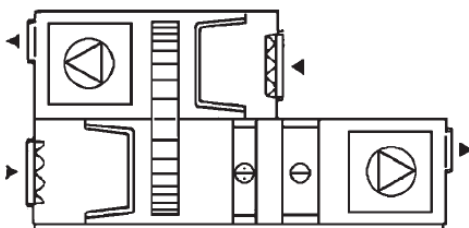
Ventilation



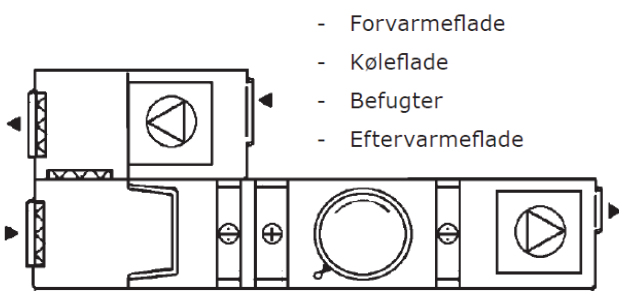
Eksempler på ventilationssystemer



Krydsvarmeveksler



Roterende veksler



Ventilationsprincipper

Når man skal ventilere et rum eller arbejdsområde er der forskellige principper for hvordan man gør det. De kan opdeles i :

- Udsugning (Procesventilation)
- Balanceret ventilation
- klimaanlæg

Udsugning kan man montere som *direkte udsugning* fra enkelte rum eller områder, eller det kan være *fællesudsugning* fra flere rum eller arbejdsområder.

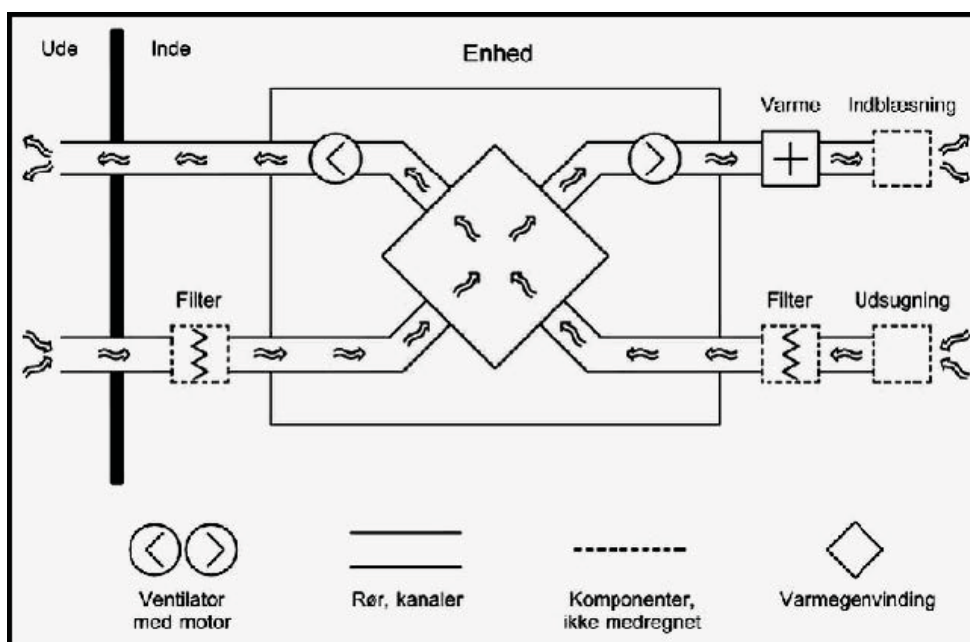
Balanceret ventilation kendetegnes ved at der både indblæses og udsuges luft fra de ventilerede lokaler. Og kan igen opdeles i hhv.:

Fortrængnings- eller Opblandingsventilation

Ved opblandingsventilation blæses den friske luft ind i lokalet på en måde, så den blandes med den luft, der findes i forvejen. Den blandede luft fordeler sig i lokalet, inden den suges ud. Her blæses udeluften ind ved gulvet. Efterhånden som luften varmes op, stiger den og suges ud i toppen af lokalet.

Klimaanlæg er kendetegnet ved at luftens fugtighed også er styret, samt temperaturen på den indblæste luft både med hensyn til varme og køl.

Det er desuden muligt at føre en del af den udsugede luft tilbage til bygningen (recirkulation) ligesom det kan være muligt at lave varmeveksling. Det sparer energi.



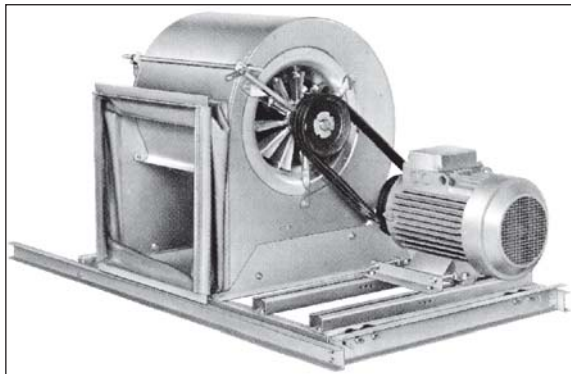
Principskitse af ventilationsanlæg



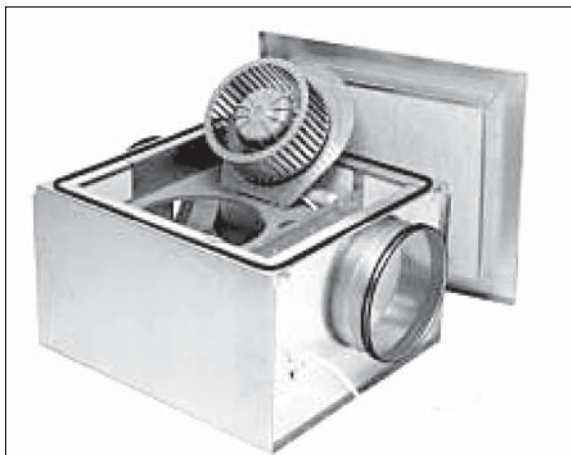
Ventilator

Ventilatorer findes i mange forskellige udgaver, ligesom der er mange virksomheder der producerer ventilatorer til vidt forskellige formål.

En ventilator til et udsugnings- eller indblæsningsanlæg vil typisk være udformet som en centrifugalventilator. Figur A viser et eksempel på en ventilator, hvor el-motoren er placeret ved siden af ventilatorhuset. Motoren kan også være monteret direkte på ventilatorhuset og har betegnelsen Boksventilator se figur B. Ligeledes findes der en såkaldt kanalventilator, her er motor og vinge-/lamelhjul indbygget i røret.



Figur A



Figur B

Afgreninger

Afgreninger, også kaldet T-rør fås som præfabrikerede (maskinfremstillet) komponenter, og de kan være udført til såvel runde som firkantede rør. De kan også være fremstillet manuelt, men omkostningsmæssigt, kan de ikke konkurrerer med tilsvarende præfabrikerede. Kun i de tilfælde hvor der ikke findes præfabrikerede, fremstilles de manuelt.

Påstik

Et påstik, en form for afgrening de steder hvor der fra f.eks. et stort rør skal være en mindre afgrening. Påstikket monteres med tætningsmasse og selvskærende skruer efter der er skåret hul på røret. Vær opmærksom på, at det udskårne hul er nøjagtigt tilpasset påstikket, idet at en dårlig tilpasning kan give turbulenser i luftstrømmene.



Bøjninger

En bøjning anvendes de steder hvor rørføringen ændre retning. Bøjningerne fås også præfabrikerede eller manuelt fremstillet, både som runde eller firkantede og i forskellige gradvinkler f.eks. 90° eller 45°.



Overgangsrør

Et overgangsrør anvendes de steder hvor forskellige rørstørrelser sættes sammen. Overgangsrørerne kan være udformet som overgange fra rundt til rundt eller fra rundt til firkantet og fra firkantet til firkantet. Endvidere kan disse være med forskudt centre (excentriske).



Spjæld

Et spjæld kan være opbygget til manuelt betjening eller opbygget med motorstyring. Endvidere kan det være udformet til at kunne lukke helt tæt (røg- og brandspjæld) eller kun kunne lukke delvis. Et spjæld der kun lukker delvist anvendes som indreguleringsspjæld ved regulering af luftstrømme.



Indreguleringsspjæld (Lindab)

Indblæsningsarmaturer (Lindab kontrolventil)

Et indblæsningsarmatur kan være et simpelt og håndregulerbart armatur der er monteret i ventilationssystemets afslutning i loftet se figur A.

Figur B viser den bajonetfatning som afslutter rørsystemet ved loftet, og som armaturet placeres i.

Det kan også være en mere kompliceret indretning der er indbygget i loftet, og hvor der kun ses en fint udformet rist rund eller firkantet i loftbeklædningen. Der findes også armaturer som står på gulvet i lokalet (fortrængningsarmaturer).



Figur A



Figur B

Rør og kanaler

Rør og kanaler fås præfabrikeret eller manuelt fremstillet. De præfabrikerede rør og kanaler kan være udført med og uden isolering, og i forskellige materialer, dimensioner og materialetykkelser, alt afhængig af hvad de skal bruges til.



Samlingsmetoder, ophæng og tæthedskrav

Samlingsmetoder

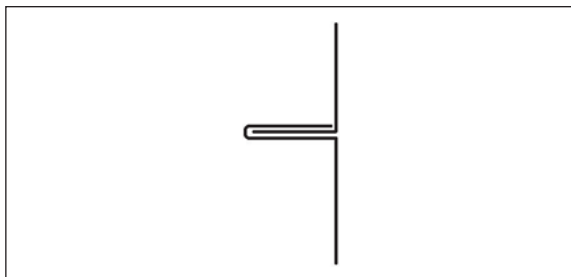
Runde rør

Samlingsmetoderne for runde rør kan være udført på mange måder. De præfabrikerede rør samles almindeligvis med præfabrikerede samlestykker (nipler), hvor der er monteret en gummikrave der udgør tætningen. Fastholdelsen af samlingen udføres med selvskærende skruer.

Ved samlingen mellem f.eks. bøjning eller afgrening er disse præfabrikeret med gummikraver (se f.eks. Lindabs tilbehørsliste).



Samlingerne af runde rør kan også udføres som stående tværfals eller sikke. Disse samlinger foregår almindelig vis på manuelt fremstillede rør.



Udsnit af en fals på et rør

Samlingsmetoderne for firkantede kanaler kan være på flere måder. De præfabrikerede kanaler samles med præfabrikeret samleskinner se f.eks. Lindabs tilbehørsliste.

Samlingerne af kanaler kan også udføres som en flangesamling, skydefalse eller med

pittsburghfals (se Blikkenslagerfagets Håndbog i Værkstedssarbejde).

Samlingen mellem rør/kanal og ventilator udføres i reglen som en fleksibel samling, derved forhindres vibrationer fra ventilatoren i at forplante sig i anlægget.

Produktion af rør og kanaler

Ved manuel produktion af rør og kanaler foregår processen ved følgende metoder:

Runde rør produceres ved anvendelse af rundemaskine og bukkemaskine samt sikke-maskine, som forefindes i de fleste blikkenslagersværksteder. Arbejdsdisciplinerne indgår i VVS-uddannelsen.

Kanaler produceres ved anvendelse af lock-former og bukkemaskine. Lockformeren (se billede) er en elektrisk maskine, der kan forme en fals på pladekanterne. Bukkemaskinen anvendes til at bukke pladen i den firkantede facon. Arbejdsdisciplinerne indgår blandt andet VVS-uddannelsen





Ophængning af rør og kanaler

Rør og kanaler ophænges efter bestemte standarder der har til formål at sikre stabiliteten i anlægget. Ophængningen udføres dels med stropper og dels med præfabrikerede bæringer som pladeprofiler eller bæringer udført i stålprofiler som vinkeljern eller profilrør. DS 447 og 428 angiver hvilke krav der stilles til materialerne.



Eksempel på en montagebøjle fra Lindab

Tæthed

Kravet om tæthed er vigtig, idet at utætte samlinger giver muligheder for støj, misfarvninger af loft og vægge, tab af lufttryk med det til følge, at det er svært at indregulere. Dog er det sådan, at der almindeligvis regnes med en lækagefaktor og at anlæggene ikke produceres 100% tætte. Undtagelsesvis kan et anlæg udføres fuldstændig tæt, når der stilles krav om det.

I Dansk Ingeniørforenings norm for ventilationsanlæg DS 447 er der formuleret et krav til tæthed. Dette er nærmere defineret i tabel for tæthedsklasser.

Valg af tæthedsklasser sker under hensyntagen til, hvad det er for et type anlæg. En særlig type anlæg skal være helt tætte, f.eks. anlæg der bortventilerer farlige luftarter.

Bygningsreglementet (BR) beskriver blandt andet krav til indeklimaet og til brandtekniske foranstaltninger.

Kravene til materialer

Kravene til materialerne er afhængig af hvilke type anlæg de skal bruges i. Almindeligvis udføres rør og kanal, komponenter med videre i galvaniseret plade med en godstykkelser på 0,5 - 0,9 mm indtil 1000 Pa, og anlæg med større tryk udføres med godstykkelser på op til 1,25mm. DS 447 angiver de specifikke krav til rør og kanaler ved almindelige komfortanlæg.

Rør, kanaler og komponenter må ikke være beskadiget ved f.eks. buler eller knæk, idet disse skader giver turbulens i luftstrømmene, hvorved der opstår dels støj og dels besværlige indreguleringsforløb.

Isolering af rør og kanaler

Ved montage af rør og kanaler til transport af ventilationsluft, er det nødvendigt at isolere disse dele som har en anden temperatur end det rum kanalerne føres i. Her inddeles i varme-, kondens og brandisolering.

Varmeisolering mod uønsket energitab

- Kanaler med opvarmet luft isoleres.
- Kanaler med kølet luft isoleres.
- Kanaler med udeluft, ført i varme rum, isoleres.
- Kanaler med returluft til genvinding isoleres.
- Kanaler med afkastluft kan henstå uisolert evt. isoleres mod kondens.

Kondensisolering

- Kanaler med medietemperatur lavere end omgivelserne isoleres mod udvendig kondens*.
- Kanaler med medietemperatur højere end omgivelserne isoleres mod indvendig kondens*.

**) Formålet er at undgå skader og ulemper på omgivelser, isolering og installation.*

Brandisolering

Til denne isolering, som kan kombineres med de to andre, stilles der krav til ventilationsanlæg om korrekt anvendelse.

De brandtekniske krav til ventilationsanlæg beskrives i Norm for Brandtekniske foranstaltninger ved ventilationsanlæg DS 428.

Her står bl.a.

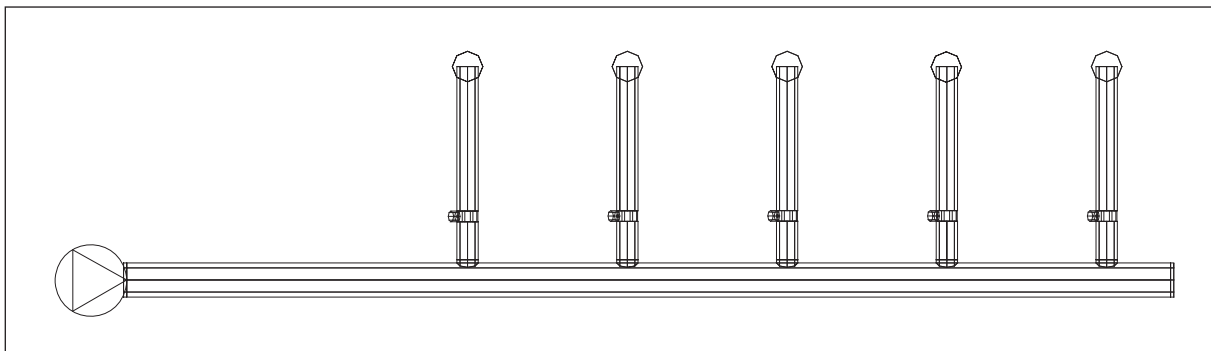
"skal sikre, at risiko for brands opståen, udvikling og spredning minimeres".



Praktisk øvelse i værksted

Anlægsbeskrivelse

Anlægget er et indblæsningsanlæg, og er opbygget med 5 - 6 afgreninger



Dette anlæg er en praktisk prøveopstilling som kunne være indblæsning af luft til 5 forskellige typer rum med forskellige størrelser.

Det er meget vigtigt at mængden af luft der indblæses, er tilpasset den mængde luft som foreskriftsmæssigt skal indblæses i forhold til komfort og lovbestemmelser.

Denne tilpasning sker generelt set ved at den luft som ventilatoren kan indblæse, fordeles ligeligt mellem de 5 "rum" i forhold til førnævnte beregnede luftmængder (volumenstrøm) som rummene skal bruge målt i m^3/h .

Næste kapitel omhandler indregulering. Efter at have gennemgået dette kapitel om "Indregulering", kan ovennævnte anlæg indreguleres efter udleverede luftmængde pr. rum.

I skal nu ved fælles hjælp indregulere denne stand så alle ventiler blæser de respektive volumenstrømme efter udleverede data.

Dette foregår bedst i grupper i en størrelse hvor alle medlemmer løbende bytter "roller" og holder løbende dialog om hvilke skridt og metoder der bliver anvendt og rapporteret på udleverede rapportpapir.



Indregulering

Ved indregulering af et anlæg er der nogle forudsætninger der skal være klarlagt:

- Hvad er det for et type anlæg, indblæsning eller udsugning?
- Hvor mange afgreninger er der på anlægget?
- Hvilke luftmængder er anlægget dimensioneret til?
- Hvilke luftmængder afgreningerne er dimensioneret med?

Når der tales om typer af anlæg stilles der også forskellige krav til luftsiftet, idet der er forskel på, om anlægget er projekteret til kontor- eller industrimiljøer. Norm for ventilationsanlæg DS 447 og bygningsreglementet (BR) beskriver kravene for luftsiftet i forhold til hvilke lokaler og lokalets anvendelse.

Metode til indregulering

Der findes i princippet fire forskellige metoder til indregulering af klimaanlæg, tre relative og en, hvor der anvendes absolut måling.

De tre relative metoder er henholdsvis »tilfældighedsmetoden«, forindstillingsmetoden« og »proportionalmetoden«.

Den metode der anvendes til grundforløbets opgave er proportionalmetoden.

Indregulering med proportionalmetoden udføres systematisk, ved først at indregulere hver spjæld i afgreningen på anlægget i relativt forhold til hinanden. Her er det en god idé først at »grovdrosle« spjældene ved de grene der får for meget luft, så der bliver fordelt luft til de øvrige grene i anlægget, ligesom den samlede hovedluftmængde kun skal ligge lidt i overkanten ($\pm 30\%$).

Et væsentligt problem ved indregulering af et anlæg er, at indstilling af spjæld et sted i systemet ikke blot ændrer volumenstrømmen (luftmængden) i det/den pågældende armatur/ gren, men også i den øvrige del af systemet.

Det vil normalt betyde, at et stort antal efterjusteringer er nødvendige og for hver efterjustering skal volumenstrømmen måles igen.

Det er netop det forhold »proportionalmetoden« tager højde for. Ved at få fordelingsgrene i balance i forhold til hinanden undgår man nemlig at skulle foretage en efterfølgende justering.

Relativ indregulering betyder at, hvis f.eks. fire armaturer alle er i balance med 80 % af den ønskede luftmængde i forhold til hinanden, fordeler luften sig selv proportionalt (ensartet), når den samlede luftmængde til grenen øges. Deraf navnet »proportionalmetoden«.

Metoden bygger altså på den forudsætning, at ved fikserede modstande er forholdet mellem luftmængderne i en forgrening uafhængig af ændringer i den samlede volumenstrøm til forgreningen.

Indregulering i praksis

For lidt enkelt at forklare, hvad det vil sige at indregulere proportionalt, forklares først hvordan der opnås balance mellem to grene.

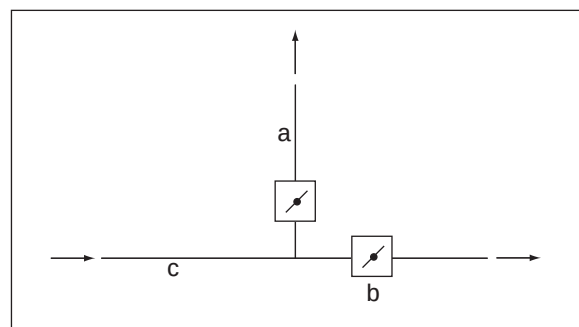
En afgrening, (se figuren herunder) skal indreguleres, så luftmængden gennem a og b bliver henholdsvis $q_{v\text{proj}}$ og $q_{v\text{proj}}$ (proj = projekteret luftmængde l/s).

Spjældene i a og b skal i henhold til proportionalmetoden indstilles så følgende forhold opnås:

$$\frac{q_{v_{\text{amålt}}}}{q_{v_{\text{bmålt}}}} = \frac{q_{v_{\text{aproj}}}}{q_{v_{\text{bproj}}}}$$

eller:

$$\frac{q_{v_{\text{amålt}}}}{q_{v_{\text{aproj}}}} = \frac{q_{v_{\text{bmålt}}}}{q_{v_{\text{bproj}}}}$$





Forholdet mellem luftmængderne i gren a og b vil altså være lige store ved ændringer af den totale luftmængde, når blot alle værdier ligger inden for 30 % af de projekterede værdier.

Fidusen er altså, at når resten af systemet ind mod ventilatoren er indreguleret, vil alle luftmængder ligge inden for de krævede tolerancer.

Spjældet på den gren der har det største volumenstrømsforhold lukkes så meget, at grenenes volumenstrømsforhold bliver lige store.

Spjæld a og b kan nu låses og indreguleringen af anlægget fortsætter.

Det skal understreges, at ingen afgangsgrener må indreguleres, før alle spjæld længere inde i systemet på den pågældende gren er indstillede, i retningen væk fra ventilatoren.

Ligeledes gælder det ved en optimal indregulering, at mindst et spjæld på en kam af grene eller armaturer, skal stå åben når balancen er opnået, for at man kan tale om lavest mulige tryktab og dermed energiforbrug ved indreguleringen.



Måleudstyr

Der anvendes flere forskellige måleapparater til måling af luftstrømme som f.eks.:

- Pitotrør
- Ballometer
- Varmetrådsanemometer

Pitotrøret

Pitotrøret er egnet til f.eks. måling på større lufthastigheder og steder hvor der forekommer støv og partikler i luften, som ville brænde sig fast til varmetråden i et varmetrådsanemometer.

Målefejlen ved anvendelse af pitotrør ligger typisk på 5 % - med i de 5 % er fejlen ved anvendelse af den tilknyttede metode.

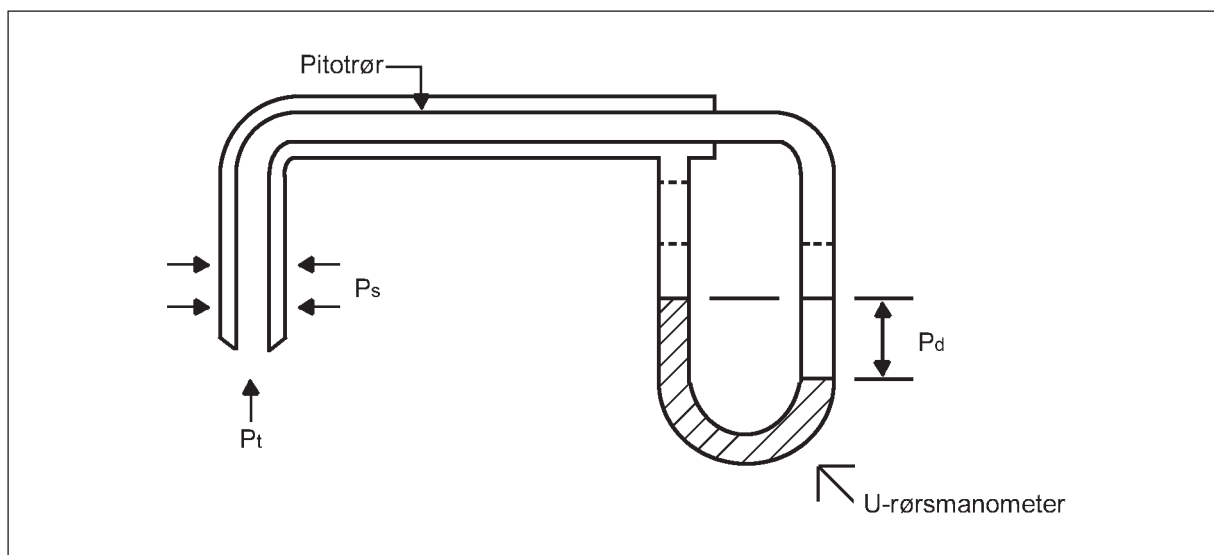
Hvis luften i det pågældende målepunkt er bare en lille smule turbulent, kan man hurtigt få en målefejl på 10 %. Ligeledes skal pitotrøret holdes helt lige i forhold til luftens strømning, dog måler instrumentet forholdsvis præcist med en vinkel på op til 15° i forhold til luftstrømmen.

Det dynamiske tryk P_d kan bestemmes i praksis ved hjælp af et pitotrør, der er en sonde udført som et dobbeltrør (se nærmere i bilagsområdet).

Når der måles dynamisk tryk med pitotrør, udregnes hastigheden ved hjælp af følgende formler:

$$v = 1,29 \times \sqrt{p_d} \text{ [m/s]}, \text{ når } p_d \text{ er målt i [Pa] og}$$

$$v = 4,04 \times \sqrt{p_d} \text{ [m/s]}, \text{ når } p_d \text{ er målt i [mmVS]}$$





Ballometer

Bruges til at måle den "Volumenstrøm" i m³/h der strømmer fra en rist eller en ventil.



Varmetrådsanemometret

Varmetrådsanemometret egner sig bedst til målinger på lufthastigheder mellem 1 og 10 m/s, hvor store hastigheder instrumentet kan klare, afhænger af fabrikat.

Når instrumentet er korrekt kalibreret og anvendes korrekt, kan man opnå en målefejl på 5 %, men der skal ikke meget til at ændre fejlen til mellem 10 og 20 %.



Instrumentet skal helst ikke drejes mere end højst 5° i forhold til luftretningen, ligeledes er instrumentet meget følsomt over for tilsmudsning af varmetråden, derudover begynder instrumentet at måle forkert, hvis batterispændingen falder til 80 - 90 %.

Varmetrådsanemometer fås i flere forskellige varianter, alt afhængig af hvad det skal kunne. Det viste instrument er et ELMA AM-

4204, som kan måle lufthastighed i m/s og temperatur i C°. Yderligere oplysninger kan fås www.elmanet.dk.

Målepunkter

Målepunkterne er placeret forskellige steder på anlægget ud fra nogle bestemte retningslinjer når der er tale om målinger i kanaler. Er der tale om målinger ved indblæsningsarmaturet, er armaturet målepunktet (tabel om målepunkter og måleplacering findes i bilagsområdet).

For at sikre indreguleringen mod »falsk luft« skal der i målepunkterne i rør og kanaler indsættes en plastprop. Vær opmærksom på, om alle målepunkter er sikret med propper inden indreguleringen gennemføres!

Beregning

Beregninger på luftflowet udføres ved dimensioneringen af anlægget. Denne proces omtales ikke i dette modul.

Eksempler på måling/beregning med Pitotrør:

Målt med pitotrør - pd. (dynamisk tryk) i Pa (Pascal) eller mmVS

Målt 2,1mmVS omregnes til hastighed $V = 4,04 \times \sqrt{2,1} = 5,855 \text{ m/s}$

Udregnet $V =$ omregnes til luftmængde $q_v = A \times v \times K_2 \times 3600 = \text{m}^3/\text{h}$

A = tværsnitsarealet af rørstørrelsen (m)

V = hastighed (m/s)

K_2 = korrektionsfaktor for rør (findes i pitotrørssrapport)

3600 omregningsfaktor for sekunder til time

$A = r^2 \times \pi \text{ i [m]}$

Tabel for omregning fra mmVS til m/s findes i bilagsområdet.

Eksempel på beregning af luftmængden

Rørstørrelse Ø100mm

Diameter omregnes til 0,1m : $2 = 0,052 \times \pi = 0,0079 \text{ (A)}$

Udregning af luftmængden

(A) $0,0079 \times (v) 5,855 \times (K_2) 0,96 \times 3600 = 159,86 \text{ m}^3/\text{h}$



Bilag

Uddrag af formelsamling

Volumenstrøm

$$q_v = A \times v \times K_2 \times 3600 \text{ [m}^3/\text{h]}$$

$$A = \text{tværsnitsareal [m}^2\text{]}$$

$$\text{Udregning af A for runde kanaler } A = r^2 \times \pi \text{ [m}^2\text{]}$$

$$\text{Udregning af A for firkantede kanaler: } h \times b \text{ (højde} \times \text{bredde) [m}^2\text{]}$$

$$v = \text{middelhastighed [m/s]}$$

Når der måles dynamisk tryk med pitotrør, udregnes hastigheden ved hjælp af følgende formler:

$$v = 1,29 \times \sqrt{p_d} \text{ [m/s], når } p_d \text{ er målt i [Pa] og}$$

$$v = 4,04 \times \sqrt{p_d} \text{ [m/s], når } p_d \text{ er målt i [mmVS]}$$

K_2 = metode korrektionsfaktor for kanalstørrelse, findes f.eks. på pitotrørssrapporten

Omregning af volumenstrøm til andre enheder

$$\frac{\text{m}^3/\text{h}}{3600} = [\text{m}^3/\text{s}] \quad \frac{\text{m}^3/\text{h}}{3,6} = [\text{l/s}]$$

$$\text{m}^3/\text{s} \times 3600 = [\text{m}^3/\text{h}] \quad \text{l/s} \times 3,6 = [\text{m}^3/\text{h}]$$

$$\text{m}^3/\text{s} \times 1000 = [\text{l/s}] \quad \frac{\text{l/s}}{1000} = [\text{m}^3/\text{s}]$$

Udregning af hastighed når volumenstrøm er kendt

$$V = \frac{q_v}{A \times K_2 \times 3600} \text{ [m/s]}$$

K_2 = metode korrektionsfaktor for kanalstørrelse, findes f.eks. på pitotrørssrapporten.

$$A = \text{tværsnitsareal [m}^2\text{]}$$

$$q_v = \text{volumenstrøm [m}^3/\text{h]}$$

Udregning af afvigelses procent

$$\text{Afvigelsesprocent} = \frac{q_{v_{\text{målt}}}}{q_{v_{\text{proj}}}} \times 100 - 100 \text{ [+/- \%]}$$

$$q_{v_{\text{proj}}} = \text{Projekteret volumenstrøm.}$$

Udregning af volumenstrøm på armaturer ved relativ måling

$$N = \frac{q_v}{\Sigma v}$$

$$N = \text{Nøgletal (konstant)}$$

$$q_v = \text{Den totale volumenstrøm til armaturerne}$$

$$\Sigma v = \text{Summen af hastigheder på armaturerne}$$

Volumenstrøm til det enkelte armatur

$$q_v = N \times v \text{ [m}^3/\text{h]}$$

Indregulering ved hjælp af volumenstrømsforholdet »volf« på referencegren/referencearmatur

$$\text{volf} = \frac{q_{v_{\text{målt}}}}{q_{v_{\text{proj}}}}$$

Volumenstrøm som der skal indreguleres til, når volf er udregnet

$$q_{v_{\text{målt}}} = q_{v_{\text{proj}}} \times \text{volf} \text{ [m}^3/\text{h]}$$

Massestrøm

$$q_m = q_v \times \rho \text{ [kg/h]}$$

$$\rho = \text{Luftens massefylde [kg/m}^3\text{]}$$

Luftens densitet ved forskellige tryk og temperaturer

$$\rho = 1,225 \times \frac{288 \times \text{hPa}}{(273 + t) \times 1013} \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$t = \text{Luftens temperatur [}^\circ\text{C]}$$

Luftskifte

$$\text{Luftskifte} = \frac{q_v}{\text{rumfang}} \text{ [h}^{-1}\text{]}$$



Pitotrør og manometer

Ved måling af lufthastigheder i kanaler kan man tale om tre forskellige tryk.

Det totale tryk P_t kan måles ved at føre en sonde ind i luftstrømmen og det dynamiske tryk kan da bestemmes ved at trække det statiske tryk fra det målte totale tryk.

Det statiske tryk P_s er det tryk, der virker vinkelret på en kanalvæg. Trykket kan være negativt eller positivt i forhold til omgivelserne. Det måles ved at føre manometerledningen til en studs i kanalvæggen, der er vinkelret på luftstrømmens retning.

Det dynamiske tryk eller hastighedstrykket P_d er et mål for den bevægelsesenergi (kinetiske energi), som luftstrømmen har og dette ændrer sig med kvadratet på hastigheden.

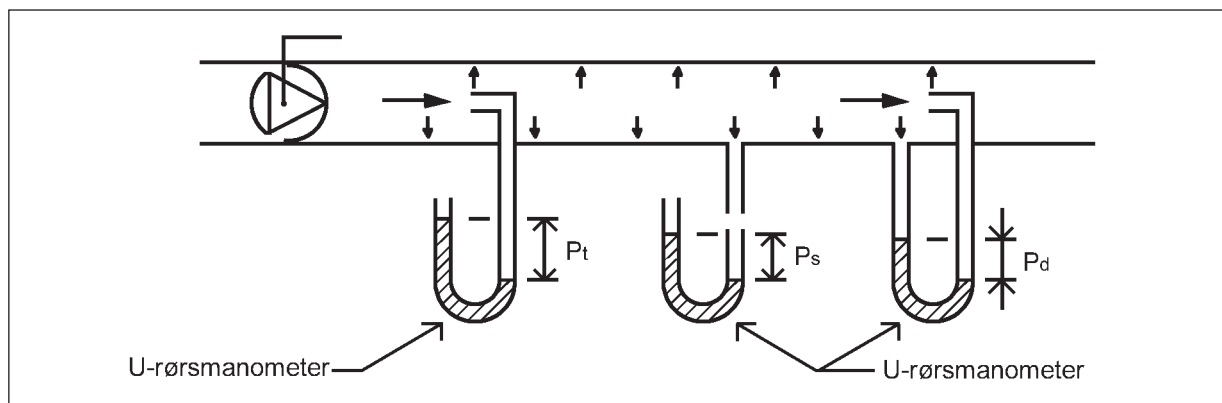
Bernoullis ligning:

$$p_t = p_d + p_s$$

Totale tryk er lig med dynamisk + statisk tryk

dvs: $P_d = P_t - P_s$

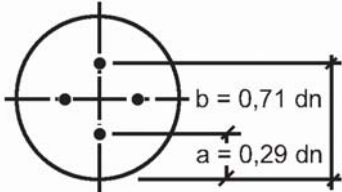
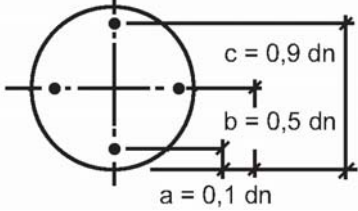
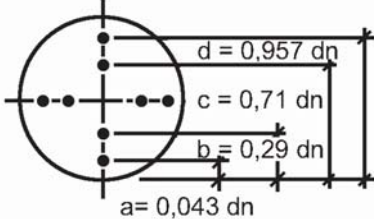
hvor: p_d er dynamisk tryk
 p_t er det totale tryk
 p_s er det statiske tryk



Totaltryk P_t , statisk tryk P_s og dynamisk tryk P_d



Målepunkter i cirkulære kanaler

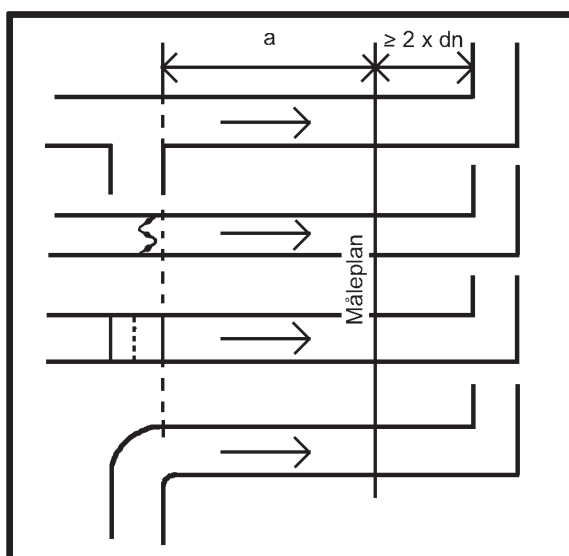
Nominel diameter dn (mm)	Måleplan	Målepunkternes placering (mm)			
		a	b	c	d
100 125 160		29 36 46	71 89 114		
200 250 315 400		20 25 32 40	100 125 160 200	180 225 283 360	
500 630 800 1000 1250		22 27 34 43 54	145 185 230 290 360	355 445 570 710 890	478 603 766 957 1196

For mindre cirkulære kanaler med jævn strømning kan det ofte være tilstrækkeligt at foretage en måling af hastigheden i centrum, hvorpå middelhastigheden bestemmes ved at gange med 0,9.

Fejlen ved denne fremgangsmåde er i lavtryksanlæg normalt mindre end 5 %.

Strømningen skal være ensrettet og jævn på målestedet, hvilket nogle gange først opnås i en afstand på 8 til 10 gange diameteren fra bøjninger, afgreninger, spjæld og andre forstyrrelser og med 2 til 3 gange diameteren til den næste enkeltmodstand. I mange tilfælde er det nok at lave sin måling 5 gange diameteren efter en enkeltmodstand (forstyrrelse) i runde kanaler og 6 gange den hydrauliske diameter (dh) i rektangulære kanaler.

Måleplansplacering





Omregning fra mmVS til m/s

Pd[mmVS]	v[m/]s	Pd[mmVS]	m/s[m/]s	Pd[mmVS]	m/s[m/]s
0,1	1,28	3,6	7,66	9,4	12,38
0,2	1,81	3,7	7,76	9,6	12,51
0,3	2,21	3,8	7,87	9,8	12,64
0,4	2,55	3,9	7,97	10,0	12,77
0,5	2,85	4,0	8,07	10,2	12,89
0,6	3,13	4,1	8,17	10,4	13,02
0,7	3,38	4,2	8,27	10,6	13,14
0,8	3,61	4,3	8,37	10,8	13,27
0,9	3,83	4,4	8,47	11,0	13,39
1,0	4,04	4,5	8,56	11,2	13,51
1,1	4,23	4,6	8,66	11,4	13,63
1,2	4,42	4,7	8,75	11,6	13,75
1,3	4,60	4,8	8,84	11,8	13,87
1,4	4,78	5,0	9,03	12,0	13,98
1,5	4,94	5,2	9,21	12,2	14,10
1,6	5,11	5,4	9,38	12,4	14,22
1,7	5,26	5,6	9,55	12,6	14,33
1,8	5,42	5,8	9,72	12,8	14,44
1,9	5,56	6,0	9,89	13,0	14,55
2,0	5,71	6,2	10,05	13,2	14,67
2,1	5,85	6,4	10,21	13,4	14,78
2,2	5,99	6,6	10,37	13,6	14,89
2,3	6,12	6,8	10,53	13,8	15,00
2,4	6,25	7,0	10,68	14,0	15,10
2,5	6,38	7,2	10,83	14,2	15,21
2,6	6,51	7,4	10,98	14,4	15,32
2,7	6,63	7,6	11,13	14,6	15,42
2,8	6,75	7,8	11,27	14,8	15,53
2,9	6,87	8,0	11,42	15,0	15,63
3,0	6,99	8,2	11,56	15,2	15,74
3,1	7,11	8,4	11,70	15,4	15,84
3,2	7,22	8,6	11,84	15,6	15,94
3,3	7,33	8,8	11,98	15,8	16,05
3,4	7,44	9,0	12,11	16,0	16,15
3,5	7,55	9,2	12,24	16,2	16,25