Den lille blå
om ventilation



Spareventilator®

EL SELSKABERNE I DANMARK

Den lille blå om ventilation

Forfatter: Claus M. Hvenegaard (Teknologisk Institut)

Redaktionsgruppe: Jens Erik Pedersen (Teknologisk Institut), Arne Rahbek (TRE-FOR), Kai Borggreeen (Teknologisk Institut), Jørn Borup Jensen (ELFOR) og Thomas Lykke Pedersen (ELFOR).

Bogen udgives i forbindelse med elselskabernes Spare-ventilatorkampagne 1999 – 2002.

Udgiver: ELFOR

Grafisk design og tryk: A-Print ApS, Espergærde. Miljøcertificeret ISO14001.

Forside: Resenbro + Partners a/s

Oplag: 10.000, 1. udgave 2002

ISBN nummer: 87-988903-0-1

Indholdsfortegnelse Side

1 Indledning/forord - baggrund og anvendelsesmuligheder i forbindelse med ventilationstekniske problemstillinger 5

2 Spareventilatorkampagnen 6

3 Energibevidst projektering 10
3.1 Planlægning og projektering 10
3.2 Stil krav til entreprenøren - dokumentation ved aflevering af nyanlæg og service 10

4 Ventilation 14
4.1 Formål - hvorfor ventilation 14

5 Behovsanalyse 19

6 Ventilationsprincipper 23
6.1 Procesventilation 23
6.2 Komfortventilation 27
6.3 Renrumsventilation 30
6.4 Ventilationssystem 31

7 Ventilationsanlægget 33
7.1 Luftindtag og -afkast 33
7.2 Kanalsystem 34
7.3 Lyddæmpere 38
7.4 Spjæld 39
7.5 Filtre 40
7.6 Ventilatorer 41
7.7 Remtræk 44
7.8 Motorer 45
7.9 Varmegenvinding 46
7.10 Indblæsningsarmaturer 49
7.11 Udsugningskomponenter 51

8 Nøgletal 56
8.1 Volumenstrøm - nøgletal 56
8.2 Tryktab - nøgletal 60

Indholdsfortegnelse Side

9 Energiforbrug - SEL-koefficient, m.m. 61
9.1 Energiforbrug til ventilationsaggregat 61
9.2 SEL, det specifikke elforbrug 61
9.3 Energiforbrug til opvarmning af luft 62
9.4 Energiforbrug til nedkøling af luft 63
9.5 Befugtning 66

10 Målinger - lufthastighed, tryk, el 68
10.1 Lufthastighed 68
10.2 Tryk 70
10.3 Effekt 72
10.4 Bestemmelse af ventilationsanlæggets total-virkningsgrad η_t og ventilatorens virknings-grad η_v 72

11 Drift 76
11.1 Styring og regulering 76
11.2 Vedligeholdelse og optimering af anlæg 86

12 Tjekskema for ventilationsanlæg 87

13 10 gode råd 90

FORORD

"Den lille blå om ventilation" er tænkt som et hurtigt og lettilgængeligt opslagsværk for alle, der arbejder med ventilation, hvad enten de er energirådgivere, vvs-installatører, rådgivende ingeniører, arkitekter eller teknisk ansvarlige i boligforeninger, industrien og kommunale institutioner.

God og rigtig ventilation betyder større trivsel for medarbejderne, og alt andet lige medvirker korrekt ventilation til at højne kvaliteten på de produkter, der fremstilles i virksomheden.

Elselskaberne i Danmark udfører et stort arbejde for at rådgive virksomheder om fordelene ved at reducere energiforbruget. Heldigvis er mange virksomheder opmærksomme på, at der kan opnås åbenlyse fordele ved at tænke og handle energirigtigt. Her kan "Den lille blå om ventilation" være et godt og brugbart hjælpemiddel, når ventilationsanlægget trænger til renovering eller udskiftning.

Med håbet om, at "Den lille blå om ventilation" vil tjene sit formål, vil jeg ønske alle god fornøjelse og samtidig håbe, at den vil blive et uundværligt værktøj i dagligdagen, når det handler om ventilation.

God læselyst!

Hans Duus Jørgensen
Direktør for ELFOR

SPAREVENTILATORKAMPAGNEN

Elselskabernes energirådgivere udfører et stort arbejde for at minimere elforbruget. I den forbindelse er kampagnearbejdet et vigtigt element. I 1999 satte man f.eks. en Spareventilatorkampagne med særlig fokus på ventilatorer i værk. Kampagnen har resulteret i et decideret mersalg af Spareventilatorer med dokumenteret reduktion af elforbruget til følge. Spareventilatorkampagnen er et godt eksempel på, at målrettede landsdækkende kampagner giver en stor effekt.

Tjen penge til virksomheden

At skifte til Spareventilatorer kræver selvfølgelig en investering. Den typiske besparelse ved at gennemgå gamle anlæg og skifte til nye energieffektive enheder med Spareventilatorer vil være på omkring 30%. Ved samme lejlighed er det meget vigtigt at få dimensioneret og indstillet anlægget korrekt. På den måde er der mulighed for en besparelse på helt op til 40%. Det er altså en uovertruffen måde at reducere energiforbruget på i virksomhederne. Og investeringen kan være tjent ind på bare tre år. Derefter betyder Spareventilatorer penge i kassen hver dag.

Spareventilatorer vil ofte være lidt dyrere i indkøb, men merprisen er ikke større, end at den kan være tjent ind i løbet af ganske kort tid. Den samlede investering i Spareventilatorer vil således have tjent sig ind i løbet af få år.

Spareventilatorlisten

Ventilatorer med særlig høj virkningsgrad kan optages på elselskabernes Spareventilatorliste. Efter godkendelse får de lov til at bære betegnelsen Spareventilator. Stil krav til ventilatorens

2 Spareventilatorkampagnen

virkningsgrad, når der skal købes ny; den bør minimum leve op til følgende krav (se næste side).

Vælg derfor altid en ventilator fra Spareventilatorlisten ved projektering af ventilationsanlæg.
(se: www.spareventilator.dk)

Kravspecifikation til Spareventilatorer

Radialventilatorer med B-hjul

Akseleffekt	*Min. værdi for maks. virkningsgrad*
Fra 0 til og med 0,5 kW	76%
Fra 0,5 til og med 1 kW	78%
Fra 1 til og med 3 kW	79%
Fra 3 til og med 10 kW	80%
Fra 10 til og med 20 kW	81%
Fra 20 til og med 50 kW	82%
Fra 50 til og med 100 kW	83%
Større end 100 kW	84%

Aksialventilatorer

Akseleffekt	*Min. værdi for maks. virkningsgrad*
Fra 0 til og med 0,5 kW	76%
Fra 0,5 til og med 1 kW	78%
Fra 1 til og med 3 kW	79%
Fra 3 til og med 10 kW	80%
Fra 10 til og med 20 kW	81%
Fra 20 til og med 50 kW	82%
Fra 50 til og med 100 kW	83%
Større end 100 kW	84%

Kammerventilatorer

Akseleffekt	*Min. værdi for maks. virkningsgrad*
Fra 0 til og med 3 kW	65%

Transportventilatorer

Akseleffekt	Transport af støv og partikler *Min. værdi for maks. virkningsgrad*
Fra 0 til og med 0,5 kW	76%
Fra 0,5 til og med 1 kW	78%
Fra 1 til og med 3 kW	79%
Fra 3 til og med 10 kW	80%
Fra 10 til og med 20 kW	81%
Fra 20 til og med 50 kW	82%
Fra 50 til og med 100 kW	83%
Større end 100 kW	84%

Akseleffekt	Transport af materialer *Min. værdi for maks. virkningsgrad*
Fra 0 til og med 0,5 kW	66%
Fra 0,5 til og med 1 kW	68%
Fra 1 til og med 3 kW	69%
Fra 3 til og med 10 kW	70%
Fra 10 til og med 20 kW	71%
Fra 20 til og med 50 kW	72%
Fra 50 til og med 100 kW	73%
Større end 100 kW	74%

Hvis du vil vide mere

Kontakt ELFOR på adressen:
Rosenørns Allé 9, 1970 Frederiksberg C,
telefon 35 300 900 , e-mail: elfor@elfor.dk.
Du kan naturligvis også kontakte dit lokale elselskab.

Klik ind på: www.spareventilator.dk

ENERGIBEVIDST PROJEKTERING

3.1 Planlægning og projektering

Planlægning og projektering af ventilationssystemer er hyppigt en af de sidste aktiviteter ved planlægning af nye industrianlæg. Da tidspresset ofte er stort i denne fase – og da energiforbruget i ventilationssystemer ofte betragtes som værende ubetydeligt – er det almindeligt, at energibesparelsespotentialet på dette område undervurderes.

Praktiske erfaringer har imidlertid vist, at der uden væsentlige merinvesteringer kan opnås endog store driftsbesparelser, såfremt man fra de helt tidlige projektfaser systematisk vurderer mulighederne for at reducere energiforbruget til ventilation:

- Kan ventilationsopgaven reduceres (behovsanalyse)?
- Kan ventilationssystemet sektioneres/opdeles?
- Hvilke hovedkomponenter og parametre har størst indflydelse på energiforbruget?
- Hvilken reguleringsform passer bedst til ventilationsopgaven?
- Hvad skal der tages hensyn til under detailprojekteringen?
- Hvordan indreguleres ventilationssystemer?
- Hvorledes skal et ventilationssystem overvåges og vedligeholdes?

3.2 Stil krav til entreprenøren - dokumentation ved aflevering af nyanlæg og service

Ventilationsanlæg leveres ofte i totalentreprise, hvilket giver entreprenøren gode muligheder for at påvirke energiforbruget. Det er vigtigt, at bygherren, den projekterende og leverandøren gennem hele projektforløbet holder tæt kontakt, især i de indledende faser hvor frihedsgraderne er størst.

Entreprenøren kan gøres til en medspiller i den energibevidste projektering. I udbudsmaterialet kan man kræve, at ventilationsentreprenøren specificerer alternative energieffektive ventilationsløsninger og disses eventuelle merinvesteringer og tilbagebetalingstider. Få for eksempel entreprenøren til både at udarbejde tilbud på et anlæg, som kører med konstant volumenstrøm, og et, som regulerer volumenstrømmen.

Under og efter indgåelse af kontrakt med entreprenøren er det vigtigt, at virksomheden eller dennes „energigransker" løbende holder sig i tæt dialog med entreprenøren for at fastholde fokus på energieffektive løsninger under entreprisens detailprojektering og udførelse.
Tabel 3.2a kan anvendes i forbindelse med energibevidst indkøb og projektering

Skema for bedømmelse af udstyrs energieffektivitet

Udfyldes af virksomheden

Virksomhed: .....

Udstyr: .....

Udstyrets forventede brugstid ..... timer pr. år

„Fuld ydelse" svarer til (beskriv ydelsen, eller giv tal herfor): ..... m^3/h

Vil udstyret køre i dellast i væsentligt omfang:

NEJ ..... JA ..... ,

varighedskurve for luftmængde vedlagt.

Elpris: ..... kr./kWh

Varmepris/brændselspris (kr. pr. MWh fjernvarme, kr. pr. l. olie eller lign.): .....

Virksomhedens rentabilitetskrav (f.eks. maks. tilbagebetalingstid): .....

Udfyldes af tilbudsgiver:		Grundtilbud	Alternativ 1	Alternativ 2
Pris i henhold til tilbud	kr.			
Udstyrets levetid	år			
Driftsudgifter:				
Elforbrug ved fuld ydelse	kr./time			
Elforbrug ved tomgang	kr./time			
Elforbrug ved dellast	kr./time			
Øvrigt energiforbrug ved tomgang	kr./time			
Øvrige driftsudgifter * ved fuld ydelse	kr./time			
Øvrige driftsudgifter ved tomgang	kr./time			
Service og vedligeholdelse	kr./time			
Samlet driftsudgift (inkl. tomgangsforbrug) ved den forventede brugstid	kr./år			
Tilbagebetalingstid for merinvestering	**år**			

** inkl. vand, kemikalier, køling, trykluft, pumpning m.m. Angiv og benyt enhedspris:*

Udfyldes af tilbudsgiver:	Grundtilbud	Alternativ 1	Alternativ 2
Yderligere oplysninger:			
Er der automatik, som stopper udstyret ved tomgang?			
Er der urstyring?			
Er der anden automatik, som reducerer energiforbruget?			
Er alle komponenter energieffektive (herunder el-motorer, pumper, ventiler, rørføringer m.m.)			
Krav til vedligeholdelse for fastholdelse af lavt energiforbrug			

Tabel 3.2a

3 Energibevidst projektering

VENTILATION

4.1 Formål - hvorfor ventilation?

Ventilation er nødvendig for at opretholde et tilfredsstillende indeklima for de personer, der opholder sig i lokalet, samt af hensyn til nogle produktionsprocesser.

Indeklimaet kan opdeles i:

- Termisk indeklima
- Atmosfærisk indeklima

Termisk indeklima

Personers termiske opfattelse af omgivelserne er afhængig af følgende faktorer:

- Beklædningens varmeisolering [clo]
- Aktivitetsniveauet [met]
- Lufttemperaturen [°C]
- Middelstrålingstemperaturen [°C]
- Lufthastigheden [m/s]

Endvidere er den termiske komfort påvirket af uønsket lokal opvarmning/afkøling på de enkelte kropsdele forårsaget af:

- Lodrette temperaturforskelle
- Kolde eller varme gulve
- Asymmetrisk temperaturstråling

I tabel 4.1a ses eksempler på aktivitetsniveauer og dertil hørende varmeproduktioner [met].

Aktivitet	*[met]*
Liggende	0,8
Stillesiddende aktivitet (kontor, hjem, skole, laboratorium)	1,2
Middelstor fysisk aktivitet (tungt arbejde ved maskine, værkstedsarbejde)	2,8

Tabel 4.1a. Eksempler på aktivitetsniveauer og dertil hørende varmeproduktioner [met]

Komfortkrav

Der anvendes rekommanderede værdier efter DS/ISO 7730. Komfortkravene gælder for let indeaktivitet, som finder sted i f.eks. kontorer og let industri m.v.

Vinterforhold (varmebehov)

Idet der forudsættes en beklædning med en varmeisolering på 1 clo (jakke, bukser, skjorte, underbukser, sokker og sko), fås følgende betingelser:

- Den operative temperatur (middelværdien af luft- og middelstrålingstemperaturen) bør ligge mellem 20 og 24°C. Middelstrålingstemperaturen defineres som en vægtet gennemsnitstemperatur af de tilstødende overfladers temperatur. Vægtningen foretages som vinkelforholdet mellem person og overflade (se endvidere side 77-78).
- Forskellen i den vertikale lufttemperatur mellem 0,1 og 1,1 m over gulv bør være mindre end 3°C.
- Gulvets overfladetemperatur bør ligge mellem 19 og 26°C (gulvopvarmningssystemer kan dog dimensioneres til 29°C).
- Luftens middelhastighed bør være mindre end 0,15 m/s i opholdszonen.

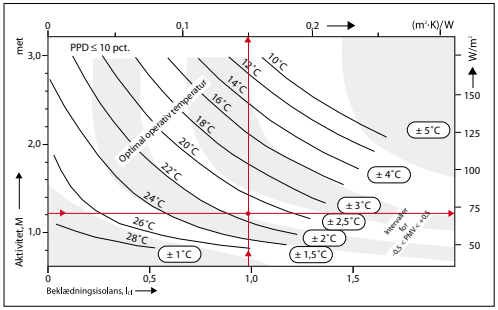
Sommerforhold (kølebehov)

Idet der forudsættes en beklædning med en varmeisolering på 0,5 clo (lette bukser, skjorte med korte ærmer, underbukser, lette sokker og sko), fås følgende betingelser:

- Den operative temperatur bør ligge mellem 23 og 26°C.
- Forskellen i vertikal lufttemperatur mellem 0,1 og 1,1 m over gulv bør være mindre end 3°C.

- Luftens middelhastighed bør være mindre end 0,25 m/s i opholdszonen.

I figur 4.1a ses optimal operativ temperatur som funktion af aktivitet og beklædning. Desuden er vist intervaller af operative temperaturer omkring den optimale.



Figur 4.1a Optimale operative temperatur som funktion af aktivitet og beklædning (se: andre kilder 6)

Eksempel:
Ved et aktivitetsniveau på 1,2 met (svarende til stillesiddende aktivitet) og en varmeisolering af beklædningen på 1,0 clo (jakke, bukser, skjorte, underbukser, sokker og sko) ses, at den optimale operative temperatur er ca. 22°C.

Endvidere ses at den menneskelige varmeafgivelse kan aflæses 70 w/m² og at isolansen for beklædningen er 0,155 (m² • k)/w

Atmosfærisk indeklima (luftkvalitet)
Personers opfattelse af det atmosfæriske indeklima afhænger af følgende faktorer:

- Lugte
- Støv og fibre
- Gasser og dampe
- Relativ fugtighed

For at opretholde et tilfredsstillende atmosfærisk indeklima er det nødvendigt med tilførsel af en vis mængde udeluft samt udsugning af en vis mængde rumluft.

- Ved ikke-sundhedsskadelig forurening, f.eks. ubehagelige lugte fra processer eller fra menneskelige aktiviteter, kan ventilationsbehovet bestemmes på basis af Arbejdstilsynets vejledning „Grænseværdier for stoffer og materialer", Bygningsreglementet BR 95 eller anvisninger fra Den nordiske komité for bygningsbestemmelser (NKB).

Den nordiske komité for bygningsbestemmelser (NKB) foreslår, at udeluftbehovet beregnes således:

1. Udeluftmængden pr. person ved stillesiddende arbejde bør mindst være 3,5 l/s

2. Udeluften pr. m²-gulvflade bør mindst være 0,7 l/s

3. Hvis den samlede udeluftmængde fundet af 1) og 2) er mindre end 7 l/s pr. person vælges 7 l/s pr. person som dimensionsgivende.

I rum med tobaksrygning bør udeluftmængden mindst være 20 l/s pr. person.

Eksempel:
I et kontor på 24 m^2 arbejder 6 personer. Ingen af personerne ryger.
Ved hjælp af NKB's anvisninger kan udeluftmængden $q_{v,ude}$ bestemmes:

$q_{v,ude}$ = (24 m^2 × 0,7 l/s pr. m^2)) + (6 personer × 3,5 l/s pr. person) = 38 l/s

I henhold til 3) er denne udeluftmængde utilstrækkelig og den skal hæves til:

$q_{v,ude}$ = 6 personer × 7 l/s pr. person = 42 l/s

Hvis de 6 personer på kontoret var rygere kan udeluftmængden $q_{v,ude}$ i henhold til NKB's anvisninger bestemmes til:

$q_{v,ude}$ = 6 personer × 20 l/s pr. person = 120 l/s

- Ved sundhedsskadelig forurening, f.eks. eksplosive luftarter samt røg og damp, er det nødvendigt at beregne den nødvendige tilførsel af udeluft, efter disse kriterier.

I afsnit 8.1 er angivet en række vejledende nøgletal over volumenstrømme for ventilering af forskellige rumkategorier.

BEHOVSANALYSE

For at kunne opfylde bygherrens behov på den bedste måde er det nødvendigt at vurdere behovene nærmere og komme bag om de kravspecifikationer, som ventilationsingeniøren typisk præsenteres for i første omgang.

Et ventilationsanlæg skal sædvanligvis holde i 20 år eller mere, og i den periode er der normalt ikke mulighed for radikale anlægsændringer. Derfor gælder det om at udforme anlægget energibevidst fra starten, så det dækker behovene uden at koste for meget eller anvende for mange ressourcer.

En ordentligt udført behovsanalyse kan resultere i et energieffektivt anlæg.

Det er nødvendigt at trænge ind bag typiske krav som "et luftskifte på 10 gange i timen" eller "en relativ luftfugtighed på 50% ± 10%" for at afklare de grundlæggende behov. Herefter vil løsningsrummet også udvide sig og give mulighed for en række forskellige løsninger, heraf mange med lavt energiforbrug. Inden der projekteres, bør det desuden undersøges, om der er andre løsninger end ventilation, som kan opfylde krav/behov om driftsikkerhed, kvalitet m.v., og som totalt set er mere økonomiske. En ventilationsopgave kan for eksempel helt undgås, hvor:

- Anvendelse af et sundhedsskadeligt opløsningsmiddel skal erstattes med et ikke-sundhedsskadeligt produkt til samme opgave.
- Naturlig ventilation kan erstatte mekanisk ventilation (husk at modregne den manglende varmegenvinding ved naturlig ventilation).
- Kilder til forurening eller varmebelastning fjernes fra rummet.

- Fjernelse af støv, partikler eller materialer o.lign. kan ske på anden vis.

- En ventilationsløsning kan dække flere behov.

Ideelt set bør man før en ventilationsopgave løses, stille sig selv spørgsmålet, hvorvidt denne kan erstattes af andre og mere energirigtige løsninger. Dette er som regel ikke muligt, og man bør så koncentrere arbejdet om at reducere den givne ventilationsopgave ved:

- At etablere et samlet overblik over ventilationsopgavens omfang og skønnet energiforbrug.
- At identificere de parametre, der har mest indflydelse på ventilationsanlæggets energiforbrug, herunder lokalisere årsager til for høje trykfald og/eller for store volumenstrømme.
- At vurdere hvilke optimeringsmuligheder, der er mest relevante, herunder at sektionsopdele ventilationsanlægget eller at indføre hastighedsregulering af ventilatoren.
- At involvere de nødvendige parter i en revurdering af kritiske parametre, f.eks. at drøfte nødvendige temperaturer og luftmængder med bygherren og/eller leverandør af procesudstyr.
- At reducere selve behovet for ventilation, f.eks. ved at:

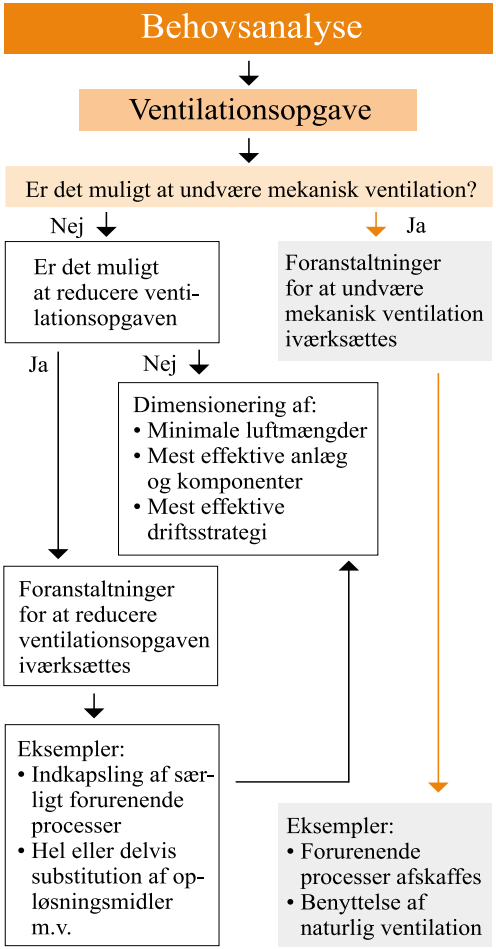
  - Indkapsle forureningskilder
  - Udvide grænserne for rumtemperaturer og relativ fugtighed
  - Mindske krav til luftens renhed i renrum
  - Minimere driftstiden
  - Placere punktudsugninger
  - Anvende sugemundstykker med flanger
  - Foretage sektionsopdeling

  - Anvende lavenergibelysning og apparater med lille varmeudvikling
  - Benytte naturlig ventilation
  - Affugte i stedet for at bortventilere
  - Etablere solafskærmning
  - Udnytte bygningskonstruktionen (lette/tunge) til varmeakkumulering
  - Isolere varmeafgivende udstyr
  - Undgå belægninger, som giver anledning til statisk elektricitet
  - Undgå forurenende råmaterialer
  - Undgå f.eks. brug af flygtige opløsningsmidler

Er det nødvendigt at opvarme ventilationsluften, bør det i størst mulig omfang ske ved at genvinde varme fra udsugningsluft, kondensatorvarmen fra køleanlæg, trykluftanlæg eller procesudstyr. Behovsanalysen bør godtgøre, hvorledes processens afgivelse af forureninger og varme samt dens krav til ventilation, varierer over tid.
Et sådant arbejde rækker langt ud over det rent ventilationstekniske. Erfaringen viser, at behovsanalyser ofte stiller krav om en tværfaglig viden om meget andet end det rent ventilationstekniske. Det sætter store krav til samarbejdet mellem den projekterende, bygherren og dennes leverandører. Det kan være tidskrævende og vanskeligt, men giver ofte store gevinster, da f.eks. en mindskelse af luftmængder - foruden væsentlige energibesparelser i hele levetiden - også kan reducere anlægsinvesteringer i ventilatorer, kanaler m.m.

En behovsanalyse bør udføres så tidligt som muligt i projektforløbet, og det vil ofte være nødvendigt at indhente data fra leverandører i god tid, før der træffes endelige beslutninger om et givent anlæg. Bygherren bør bidrage aktivt i at indhente disse data.

I figur 5a vises forløbet ved en behovsanalyse, som kan anvendes ved energirigtig projektering og analyse af eksisterende anlæg.



Figur 5.a. Forløbet ved behovsanalyse

VENTILATIONSPRINCIPPER

Ventilationsprincipperne kan opdeles i tre hovedgrupper:

1. Procesventilation
Procesventilation omhandler lokal ventilation fra processen. Procesventilationen skal hindre forureninger og varme i at trænge ud i selve arbejdslokalet, og at komfortventilationen som følge deraf må øges med en betydelig faktor.

2. Komfortventilation
Komfortventilation omhandler ventilation af arbejds- og opholdszonen. Komfortventilationen skal opretholde et indeklima, som er tilfredsstillende for personer, og samtidig opfylde processens krav til temperatur og eventuelt relativ fugtighed.

3. Renrumsventilation
Renrumsventilation omhandler ventilation af rum eller zoner, hvor der ønskes et særligt lavt antal partikler i rumluften og eventuelt også lav eller ingen mikrobiel (bakterier) aktivitet.

6.1 Procesventilation

Der findes tre metoder eller principper, som vil kunne anvendes ved procesventilation. Metoderne beskrives neden for.

Total indkapsling
Ved en forurenende proces skal man først undersøge, om det er muligt at indkapsle processen totalt. En total indkapsling af processen er altid den bedste løsning med hensyn til arbejdsmiljøet, men kan sjældent anvendes på grund af overvågning og arbejdsprocessens manuelle dele. Den udsugede volumenstrøm kan være ganske lille, eksempelvis hvis den kun skal opretholde et lille undertryk i indkapslingen, som skal erstatte tabet over uundgåelige

lækager i indkapslingen. Undertrykket i indkapslingen vil effektivt hindre al udslip til omgivelserne.
I figur 6.1a ses et eksempel på en totalindkapsling af en proces.



Figur 6.1a Total indkapsling af proceshandskeboks

Delvis indkapsling
Hvis det ikke er muligt at foretage en total indkapsling af processen, bør det undersøges, om en delvis indkapsling er mulig. Delvis indkapsling af processen er den mest benyttede metode.Ved delvis indkapsling søges det at afskærme processen mest muligt, eksempelvis ved anvendelse af et stinkskab.



Figur 6.1b Delvis indkapsling - stinkskabe

Delvis indkapsling kan benyttes både for ***varmeprocesser med eller uden emissioner,*** f.eks. smeltning af metal i smelteovne, og for ***neutrale processer med emissioner,*** f.eks. sprøjtemaling i malesprøjtebokse eller -kabiner.

Punktudsug
Hvis det ikke er muligt at indkapsle processen, er det nødvendigt at placere punktudsug ved processen.



Figur 6.1c Punktudsug - hætter

Punktudsug kan benyttes både for ***varmeprocesser med eller uden emissioner,*** f.eks. varmforzinkning af metal i bade, og for ***neutrale processer med emissioner,*** f.eks. slibning eller pudsning af træ og metal med roterende værktøjer.

For varmeprocesser med eller uden emissioner bygger denne form for udsugning på at opfange den konvektionsstrøm/emission, der stiger op fra processen (modtagerprincippet).
Ved anvendelse af effektive punktudsug placeret over processerne er det muligt at opfange størstedelen af konvektionsstrømmen/emissionen, men en del vil dog altid undslippe på grund af tværstrømme i lokalet, roterende maskindele, blæsere i motorer m.m.
Hvis det på grund af pladsforhold ikke er muligt at anvende punktudsug placeret over processerne, kan det være nødvendigt at anvende punktudsug, som bygger på det princip, at emissionerne skal indfanges eller gribes (gribeprincippet). Punktudsug i forbindelse med svejseprocesser er et eksempel herpå.
Punktudsug afskærmer ikke for strålevarme,

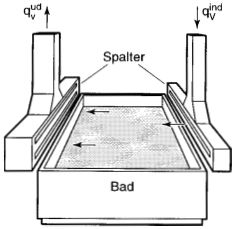
derfor skal uisolerede flader isoleres, hvis det er muligt.

For neutrale processer med emissioner gælder det også, at luftens naturlige bevægelsesmønstre skal respekteres ved udformningen af punktudsuget. Hvis dette ikke er muligt på grund af pladsforhold, må der igen anvendes punktudsug, som bygger på det princip, at emissionerne skal indfanges eller gribes. For nogle neutrale processer med emissioner er det ikke muligt at anvende hverken indkapsling (hel eller delvis) eller punktudsug. Dette er f.eks. tilfældet ved mekanisk bearbejdning med roterende håndværktøj. Ved den type proces vil emissionen fra processen spredes i mange forskellige retninger, og det vil dermed være svært at placere et punktudsug, som effektivt vil kunne fjerne emissionen. I dette tilfælde vil det være nødvendigt at fortrænge emissionen fra arbejdszonen ved f.eks. at etablere indblæsning over arbejdszonen og udsugning ved gulvet. Denne form for ventilation kaldes perifer fortrængningsventilation og beskrives yderligere i næste afsnit.

Vandret lufttæppe (Push-pull)
Punktudsug ved åbne bade til beskyttelse af omgivelserne med forurenende dampe udføres mest effektivt med vandrette lufttæpper – de såkaldte push-pull systemer.
Et push-pull system består henholdsvis af indblæsningsspalter eller en række dyser og en udsugningsspalte, der begge skal dække hele badets længde. Indblæsningsluften danner en plan stråle og strømmer over hele badet mod udsugningsspalten. Systemets funktion styres primært af indblæsningsstrålen, mens udsugningens funktion er at modtage og udsuge den forurenede luftstråle. Luftstrålen vil medrive rumluft under strømningen mod udsugningsåbningen, og volumenstrømmen i strålen ved udsugningen vil derfor være væsentligt større end

den indblæste volumenstrøm.
Fordelen ved et push-pull system er, at indblæsningsstrålen kan opretholde høje luft-hastigheder over store afstande, mens hastigheden foran en udsugningsåbning aftager meget hurtigt med afstanden fra åbningen. Push-pull systemer kan derfor transportere forureninger over relativt store afstande mod udsugningsåbningen og kontrollere forureningsafgivelsen i situationer, hvor det ellers ville være svært eller umuligt.

Push-pull systemet er illustreret i figur 6.1d

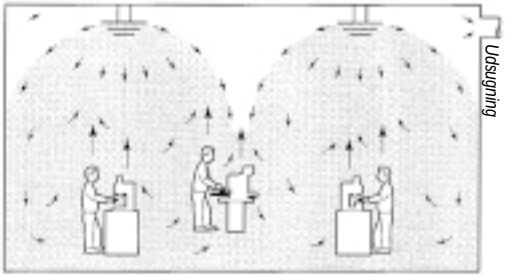


Figur 6.1d Push-pull system (se: andre kilder /1/)

6.2 Komfortventilation

Ved komfortventilation er der to indblæsningsprincipper, som vil kunne anvendes. Det drejer sig om:

Opblandingsprincippet



Figur 6.2a. Opblandingsprincippet (se: andre kilder /1/)

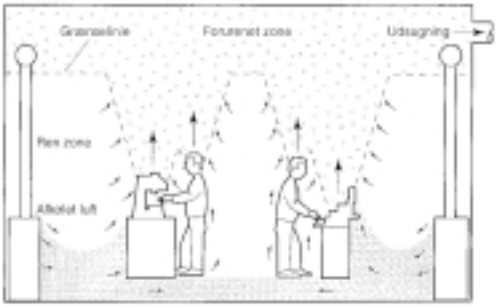
Opblandingsprincippet tilstræber ens fordeling af varme og forurening i hele rummet.

Opblandingsprincippet er anvendeligt på virksomheder med moderate forureningsemissioner og konvektionsstrømme fra processerne. Ved kraftige forureningsemissioner er opblandingsprincippet ikke anvendeligt, da der skal indblæses betydelige mængder udeluft for at opnå en tilfredsstillende fortynding. Endvidere vil kraftige og store konvenktionsstrømme ødelægge strømningsbilledet i lokalet. Hvis der afgives megen varme fra processerne, skal der ligeledes bruges store luftmængder for at reducere temperaturen i arbejdszonen.

Ved anvendelse af opblandingsprincippet kan der maks. fjernes en varmebelastning på 100 W/m^2.

Opblandingsprincippet vil med fordel kunne anvendes ved processer uden væsentlige varmeafgivere og emissioner.

Fortrængningsprincippet



Figur 6.2b. Fortrængningsprincippet (se: andre kilder /1/)

Ved fortrængningsprincippet tilstræbes en "skæv" fordeling af varme og forurening i rummet, således at luften i arbejdszonen bliver renere og køligere end højere oppe i lokalet.

Ved fortrængningsprincippet udnyttes konvektionsstrømmene fra de termiske kilder i lokalet. Det sker ved, at indblæsningsluften flyder hen over gulvet og ved opvarmning ved varmekilderne stiger mod loftet og fortrænger forureningerne, hvis disse er lettere end eller har samme vægt som luft.

Fortrængningsventilation kan ikke anvendes til opvarmning, da den rene, varme luft vil stige op over opholdszonen, når den forlader indblæsningsarmaturet.

Fortrængningsprincippet er særdeles anvendeligt på virksomheder med kraftige forureningsemissioner og konvektionsstrømme fra processerne. En væsentlig ulempe ved dette princip er imidlertid, at det er særdeles pladskrævende, da indblæsningsarmaturerne skal placeres på gulvet. For at opnå den ønskede virkning, skal luften nemlig kunne flyde hen over gulvet uden forhindringer i retning mod varme- og forureningskilderne; det kan på mange virksomheder være et problem. Desuden vil en eventuel senere omplacering af indblæsningsarmaturerne ofte være meget vanskelig.

Der kan maks. fjernes en varmebelastning på ca. 100 W/m^2.

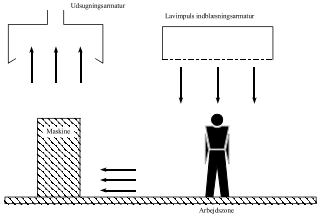
Lokal lavimpuls indblæsning

I de senere år er der foretaget en række vellykkede undersøgelser af mulighederne for at anvende lokal lavimpuls indblæsning ved industrielle processer. Dette er et indblæsningsprincip, som udnytter den klassiske fortrængningsventilations fordele og kompenserer for dens ulemper med hensyn til optagelse af plads.

Ved lokal lavimpuls indblæsning indblæses den friske erstatningsluft direkte i arbejdszonen. Sammenlignet med konventionel opblandingsventilation medfører dette, at den indblæste luftmængde kan reduceres betydeligt, samtidig med at der opnås et forbedret arbejdsmiljø.

Vælger man at benytte lokal lavimpuls indblæsning, skal man dog gøre sig klart, at det kun er i arbejdszonen, altså lokalt, at de termiske og atmosfæriske forhold bliver tilfredsstillende. Uden for arbejdszonen vil disse forhold være anderledes.

Den maksimale varmebelastning, der kan fjernes ved at anvende lokal lavimpuls indblæsning, er 400 W/m^2. Lokal lavimpuls indblæsning kan anvendes ved termisk varme og ved termisk neutrale processer.



Figur 6.2c. Princippet i lokal lavimpuls indblæsning

6.3 Renrumsventilation

Renrumsventilation designes typisk med meget høje luftmængder, som sikrer, at partikelemissioner i renrummet minimeres. Desværre betyder det også, at energiforbruget til ventilation ofte er meget stort, især til drift af ventilatorer, men også til opvarmning og eventuel køling, affugtning og befugtning. Der er et meget stort potentiale for energibesparelser ved energibevidst projektering af renrumsventilation.
Der anvendes typisk opblandingsventilation til at sikre renheden i de mest belastede renrumsklasser.



Figur 6.3a Stempelfortrængning (se: andre kilder /I/)

Hvor rumadskillelse mellem renrumsklasser ikke er mulig, kan en lokal enhed med stempelfortrængning anvendes med økonomisk og energimæssig fordel til at sikre en ren zone i et større lokale, frem for at etablere renrum i hele lokalet.

Ved højere krav til partikelrenheden vil stempelfortrængning som regel være nødvendig.
Ved stempelfortrængning indblæses den filtrerede luft ensrettet over et ønsket område. Det kan være i hele rummet, i en del af rummet, i en halvåben arbejdsbænk eller i en indeslutning. Luften kan indblæses horisontalt eller vertikalt. Sundhedsmyndighederne kræver typisk ved steril pharmaceutisk produktion, at lufthastigheden omkring produktet er ca. 0,45 m/s.
Anvendelse af stempelprincippet ved lavere hastigheder på f.eks. 0,2 m/s vil imidlertid ofte kunne sikre en meget høj renhed omkring produktet.

6.4 Ventilationssystem

Efter valg af ventilationsprincip kan der vælges mellem to grundlæggende ventilationssystemer:

1. CAV (constant air volume), der omfatter systemer med konstant volumenstrøm. Dette ventilationssystem kan vælges, hvis den parameter (f.eks. emissioner til rumluften eller varmebelastning) som er dimensionsgivende for den nødvendige luftmængde, ikke

varierer inden for ventilationsanlæggets driftstid over døgnet eller året.
Hvis der i store dele af driftstiden forventes et aktuelt luftmængdebehov, som er 10% eller mere under den dimensionsgivende drifts-situation, vil et VAV-anlæg (se nedenfor) i de fleste tilfælde give den bedste totaløkonomi.

2. VAV (variable air volume) omfatter et system med variabel luftstrøm. VAV-anlæg regulerer luftmængden efter det aktuelle behov. Ofte er der variation i driften af maskiner, derved kan procesventilationen med fordel etableres som et VAV-anlæg. Variationer i varmelast fra f.eks. maskiner og solindfald gennem vinduer betyder, at et VAV-anlæg ofte vil give den bedste totaløkonomi for et komfortventilations-anlæg.

Med et VAV-anlæg er det muligt at opnå meget store energibesparelser i forhold til et CAV-anlæg. Hvis luftmængden halveres ved omdrejnings-regulering af ventilatoren, vil elforbruget til driften kunne reduceres med op til 82%. Effektbehovet afhænger i praksis af luftmængden i ca. 2,5 potens i almindelige ventilationsanlæg med filtre og varmeflader. Elbesparelsesmulighederne ved VAV fremgår af figur 11.1a på side 78. Hertil kommer energibesparelserne ved reduceret behov for opvarmning og eventuel køling, befugtning og affugtning af luften.

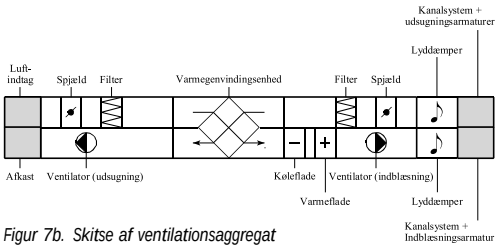
Der er mange muligheder for design af et VAV-anlæg. I afsnit 11.1 er nævnt en række parametre, som luftmængden kan reguleres efter.

Ved variabel varme- og forureningsbelastning skal den indblæste og udsugede volumenstrøm altid være af en sådan størrelse, at kravene til det atmosfæriske indeklima overholdes.

VENTILATIONSANLÆGGET



Figur 7a. Ventilationsaggregat



Figur 7b. Skitse af ventilationsaggregat

7.1 Luftindtag og -afkast

Luftindtag og -afkast skal dimensioneres således, at tryktabene over disse er mindst mulige. Tryktabet over luftindtaget eller -afkastet afhænger primært af lufthastigheden og tryktabsfaktoren, som igen afhænger af luftindtagets eller -afkastets geometriske udformning. Der findes et stort antal typer luftindtag og -afkast med forskellige geometriske udformninger. Fælles for disse gælder, at tryktabet over dem bør være mindre end **40 Pa**.
Anvendelse af jethætter til afkast af luft bør undgås på grund af høje tryktab.



Figur 7.1a. Indtags- og afkasthætter

Indtagshætte *Afkasthætte*

7.2 Kanalsystem

Kanalsystemet har indflydelse på anlæggets energiforbrug gennem friktionsmodstanden i kanalerne og modstanden i enkeltkomponenter. Af hensyn til energiforbruget bør der anvendes cirkulære kanaler. Endvidere bør man også være opmærksom på valg af tæthedsklasse for minimering af lækagetab. I dette afsnit behandles kanalerne med tilhørende bøjninger og udvidelser samt indløb til og udløb fra ventilatorer.

Kanalsystemet kan opdeles i tre typer:

Anlægstype	*Lufthastighed målt i hovedkanaler*
Lavtryksanlæg	2-9 m/s
Mellemtryksanlæg	10-25 m/s
Højtryksanlæg	20-35 m/s



Figur 7.2a. Lavtryksanlæg

1. Lavtryksanlæg

Lavtryksanlæg omfatter både indblæsnings- og udsugningsanlæg til komfortventilation.

Kanalsystemet kan opbygges af standardkomponenter som spiralfalsede rør med tilhørende bøjninger, afgreningsstykker, T-stykker og lignende. Ved retningsændringer benyttes bløde afrundinger. De energimæssigt acceptable kanalmodstande er vist i tabel 7.2a.

Driftstid *[h/døgn]*	**Maksimale lufthastigheder** *[m/s]*	**Acceptable kanalmodstand** *[Pa/m kanal]*
8 – 16	4 (ø 125 mm) 9 (ø 500 mm)	1,5-2,0
16 – 24	3 (ø 125 mm) 7 (ø 500 mm)	1,0

Tabel 7.2a. Acceptable kanalmodstande i lavtryksanlæg

2. Mellemtryksanlæg

Mellemtryksanlæg er typisk udsugningsanlæg for støv- og spåntransport.
Tryktabet i sådanne anlæg er betydelige. F.eks. er tryktabet i en ø 63 mm kanal ca. 80 Pa/m ved en lufthastighed på 20 m/s. Kanallængden bør derfor gøres så kort som mulig.

For at mindske tryktabet i afgreninger og for at undgå ophobning af materialer i hovedkanalen er det nødvendigt at anvende 45° eller 30° skråstillede afgreninger fra hovedkanalen. T-stykker udformes som „bukseben".

Ved anlæg med flere tilsluttede maskiner kan man reducere energiforbruget ved at lave muligheder for afspærring, når en maskine stopper. Energi-

besparelsen ved denne afspærring bliver størst, når anlægget er forsynet med en hastighedsregulering efter konstant kanalundertryk, så anlæggets ventilator indstilles til korrekt ydelse.

3. *Højtryksanlæg*

Højtryksanlæg anvendes ved transportanlæg for støv og spåner m.m. med sugemundstykker/ sugeslanger helt ude ved arbejdsstedet. Højtryksanlæg bør så vidt muligt erstattes af mindre energikrævende teknologier til at løse det aktuelle (transport) behov.

Bøjninger

Et stort antal bøjninger i kanalsystemet bør så vidt muligt undgås. Bøjninger øger modstanden og turbulensen i kanalsystemet. En øget modstand resulterer i et øget elforbrug til drift af ventilatoren.

For lavtryksanlæg bør bøjningens radius være større end eller lig med kanalens diameter. I mellem- og højtryksanlæg bør radius/diameter forholdet R/D være min. 2.

■ *Ændring af kanaltværsnit*

Ved ændring af kanaltværsnit sker der et tryktab, som ligeledes medfører øget elforbrug og dermed øgede driftsudgifter til ventilatoren. Specielt giver udvidelser af kanaltværsnit anledning til relative store tryktab. Ved en ændring af kanaltværsnittet bør der altid anvendes overgangsstykker med en vis åbningsvinkel. Tryktabet minimeres med en lille vinkel.

■ *Afgreninger*

Afgreninger i form af T-stykker bør om muligt undgås i kanalsystemet, hvor lufthastigheden overstiger 3 m/s. På anlæg med højere hastigheder bør afgreninger være i 15°, 30° eller 45° vinkel med hovedkanalen.

Ventilatorindløb og -udløb

■ *Indløb*

Indløbet til (radial)ventilatorer er ofte forsynet med kanalbøjninger, hvor der opstår trykfald. Bøjninger lige før ventilatoren bør om muligt undgås. I de tilfælde, hvor det er nødvendigt at tilslutte en kanal direkte til indløbet, skal kanalstykket lige før ventilatoren være lige. Systemtabet i indløbet afhænger af forholdet mellem bøjningens radius og bøjningens diameter samt af længden af det lige kanalstykke før indløbet.

■ *Udløb*

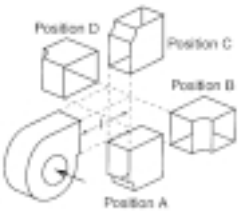
Udløbet fra (radial)ventilatorer er ofte uhensigtsmæssigt udformet. Det er vigtigt, at kanaltilslutningen i udløbet følger luftens rotationsretning for at få mindst muligt tab. En uhensigtsmæssig udformning af udløbet kan i værste fald medføre en forringelse af ventilatorens virkningsgrad på 10%.

Hvis det, af pladshensyn, er nødvendigt at udforme udløbet således, at luftens rotationsretning brydes, bør der i udløbet indskydes et lige kanalstykke med en længde på mindst to gange indløbets hydrauliske diameter.

For runde kanaler er den hydrauliske diameter D_h lig med kanalens diameter. For en rektangulær kanal med siderne a og b er den hydrauliske diameter:

$$D_h = \frac{2 \cdot a \cdot b}{a + b}$$

I figur 7.2b ses forskellige udformninger af udløb fra en ventilator og udformningernes indflydelse på ventilatorens virkningsgrad.



Figur 7.2b. Forskellige udformninger af udløb fra en ventilator (se: andre kilder 1)

Position A:
Denne udformning af udløbet fører stort set ikke til forringelse af ventilatorens virkningsgrad, hvis længden er mindst to gange ventilatorudløbets hydrauliske diameter.

Position B:
Denne udformning af udløbet fører ikke til forringelse af ventilatorens virkningsgrad.

Position C:
Denne udformning af udløbet fører til forringelse af ventilatorens virkningsgrad på ca. 10%.

Position D:
Denne udformning af udløbet fører til forringelse af ventilatorens virkningsgrad på ca. 5%.

7.3 Lyddæmpere



Figur 7.3a. Lyddæmper

Lyddæmpere bør dimensioneres med en maks. hastighed mellem bafler på 10 m/s eller maks. 6 m/s mellem bafler i vinkellyddæmpere.
Da lyddæmperen er en integreret del af kanalsystemet, bør der ikke være noget større tryktab over den, men tryktab på 100-200 Pa i lyddæmpere er dog ikke ualmindelige.

7.4 Spjæld

Spjælds funktion i ventilationsanlæg er at regulere luftmængden eller at afspærre anlægget helt eller delvist. Oftest anvendte spjæld i ventilationsanlæg:

- **Indreguleringsspjæld**
  Indreguleringsspjæld skal dimensioneres under hensyntagen til det ønskede tryktab over spjældene. Undgå unødige tryktab.

- **Afspærringsspjæld**
  De mest anvendte afspærringsspjæld er:
  - Driftsspjæld
  - Røgspjæld
  - Brandspjæld

  Afspærringsspjæld vil i hovedparten af anlæggets driftstid stå fuldt åbne. Spjældene skal derfor vælges med lavest mulige tryktab i fuldt åben stilling.

- **Reguleringsspjæld**
  Trykfaldet over et helt åbent reguleringsspjæld skal udgøre ca. 10 % af trykfaldet over spjældet, plus trykfaldet over resten af anlægsstrækningen.

- **Volumenstrømsregulatorer**
  Volumenstrømsregulatorer skal have et trykfald på 50 - 100 Pa for at virke korrekt.
  De bør derfor kun anvendes, hvis der er et reelt behov for dem.



Figur 7.4a Spjæld

7.5 Filtre

Grundfilter (G1 – G4)



Figur 7.5a.

- God filtrering af partikler større end 4-5 µ
- Lufthastigheden over frontarealet bør højst være 2,5 m/s
- Begyndelsestryktab: 30 Pa.
- Sluttryktab: 130 Pa

Finfilter(F5 – F9)



Figur 7.5b.

- God filtrering af partikler større end 0,1 µ
- Lufthastigheden over frontarealet bør højst være 2-3 m/s
- Begyndelsestryktab: 50-100 Pa
- Sluttryktab: 200-250 Pa

Mikrofilter (H10 – U17)



Figur 7.5c.

- God filtrering af partikler større end 0,01 µ
- Lufthastigheden over frontarealet bør højst være 0,5-1 m/s
- Begyndelsestryktab: 250 Pa
- Sluttryktab: Afhængig af ønsket om levetid og driftsøkonomi

Kulfilter

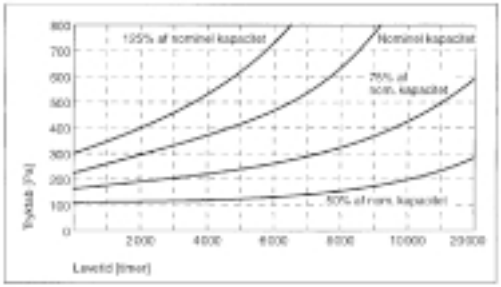


Figur 7.5d.

- Anvendes til filtrering af gasser
- Lufthastigheden over frontarealet bør være omkring 1-1,5 m/s
- Begyndelsestryktab: 50-60 Pa
- Sluttryktab: 100-120 Pa

Figur 7.5a - 7.5d (se: andre kilder 1)

I figur 7.5a ses sammenhængen mellem mikrofiltres belastning (kapacitet), sluttryktab og levetid. Det samme billede, men med andre data, gør sig gældende for grund- og finfiltre, som er de mest anvendte filtre i ventilationsanlæg.

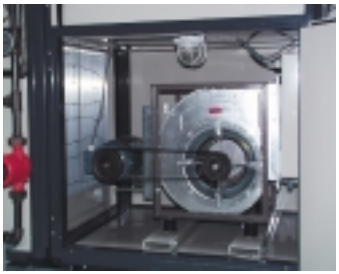


Figur 7.5e. Levetid som funktion af sluttryktab (se: andre kilder 1)

7.6 Ventilatorer

Ventilatormotorens optagne effekt er udover den leverede luftmængde og tryktabet i anlægget afhængig af virkningsgraden for ventilatoren, remtrækket og elmotoren. Ventilatorvirkningsgraden afhænger i høj grad af ventilatortypen.

I ventilationsanlæg anvendes seks typer ventilatorer. Egenskaber og anvendelser af disse seks typer: se følgende sider.



Figur 7.6a. Ventilator

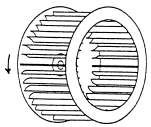


Radialventilator med B-hjul (bagudrettede skovle)

- Høj virkningsgrad på ca. 75-85%
- Relativt lavt lydniveau
- Stabil drift ved parallelkobling
- Ændringer i volumenstrømmen ved hastighedsregulering medfører fald i effektoptaget i 2,5-3 potens, da ventilatoren bibeholder samme virkningsgrad ved lave omdrejningstal
- Er væsentligt mere pladskrævende end en radialventilator med F-hjul (ved identiske driftsforhold, tryk og volumenstrøm)
- Benyttes typisk i ventilationsaggregater (komfortanlæg), men kan også anvendes til transport af støv og partikler samt materialer

Radialventilator med P-hjul (plane, bagudrettede skovle)

- Ydelsesmæssigt meget lig radialventilatoren med B-hjul
- Høj virkningsgrad på ca. 60-75%.
- Benyttes typisk til transport af støv og partikler samt materialer



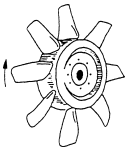
Radialventilator med F-hjul (fremadrettede skovle)

- Virkningsgrad på ca. 55-65%
- Relativt små dimensioner
- Lav periferihastighed
- Lavt lydniveau
- Ved ændring af volumenstrømmen fås kun små variationer i totaltrykstigningen
- Bør så vidt muligt undgås på grund af den lave virkningsgrad
- Benyttes typisk i ventilationsaggregater (komfortanlæg)



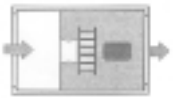
Radialventilator med T-hjul (lige skovle)

- Virkningsgrad på ca. 40-50%
- Høj trykstigning
- Højt temperaturområde
- Robust konstruktion
- Høj selvrensningsgrad
- Benyttes til transport af forskellige materialer, også klæbende stoffer, idet hjulet har en stor evne til at slippe stofferne
- Bør kun anvendes, hvor radialventilatorer med B-hjul eller aksialventilatorer ikke kan løse opgaven



Aksialventilator

- Virkningsgrad på maks. 75-85%
- Enkel konstruktion, ingen remtræk
- Medfører mindre systemtab
- Aksialventilatorer benyttes hovedsageligt som kanalventilatorer (udsugning). De benyttes i mindre grad i ventilationsaggregater (komfortanlæg)



Kammerventilator (radialventilator uden spiralhus) (0-3 kW)

- Virkningsgrad på maks. 65%
- Billig ventilator, idet spiralhuset kan undværes
- Pladsbesparende
- Benyttes i ventilationsaggregater (komfortanlæg)

7.7 Remtræk

Virkningsgraden for remtræk afhænger af en række faktorer, såsom remtype, belastning, opspænding, skævvridning, remskivens diameter m.m. Efterfølgende tabel viser typiske virkningsgrader for de almindeligt forekommende typer remtræk.

Remtræk	*Typiske virkningsgrader [%]*
Remtræk med en almindelig kilerem	93-98
Remtræk med flere almindelige kileremme	90-93
Remtræk med formfortandet kilerem	96-98
Tandremstræk	97-99
Fladremstræk	97-99

Tabel 7.7a.Typer af remtræk

Virkningsgraderne gælder for nye remtræk. Når remtrækket slides, reduceres virkningsgraden nogle procent, tandremstrækket fastholder dog stort set virkningsgraden.

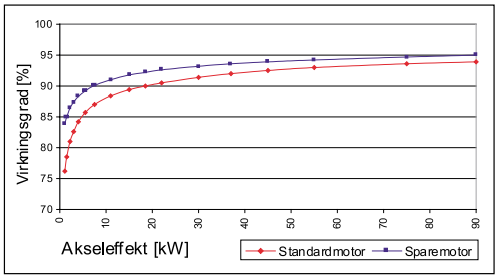
De største fald i virkningsgraden ses ved remtræk med flere kileremme, fordi remme og skiver ikke slides ens og måske heller ikke skiftes samtidig. Derved bliver korrekt opspænding ikke mulig.

Nedenfor er en række gode råd om remtræk.

- Brug en kilerem med høj virkningsgrad
- Anvend så få kileremme som muligt og helst kun én
- Anvend remskivediameter på min. 180 mm både for motor og ventilator
- Afpas remtrækkets kapacitet til ventilatorens akseleffekt (ikke til motorens nominelle effekt)
- Remtrækket skal oplines med en retskinne og opspændes korrekt
- Ved montering af ny rem efterspændes efter 24 timer
- Se endvidere www.defu.dk/remberegning

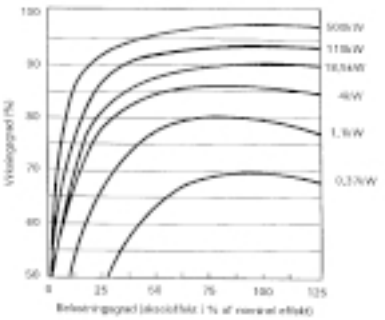
7.8 Motorer

Elmotorens virkningsgrad afhænger både af motorens størrelse og af belastningen, men der er også betydelige variationer mellem forskellige typer og fabrikater.
I figur 7.8a ses virkningsgrader for 4-polede standard- og sparemotorer (asynkronmotorer). Den øverste kurve er for sparemotorer, der er elmotorer med særligt høj virkningsgrad.



Figur 7.8a. Virkningsgrader for 4-polede standard- og sparemotorer

I figur 7.8b ses virkningsgraden ved varierende belastning af normmotorer. Det ses, at virkningsgraden falder stærkt, når motoren belastes under 25%. I området 50-100% af mærkeeffekten er virkningsgraden ret konstant.

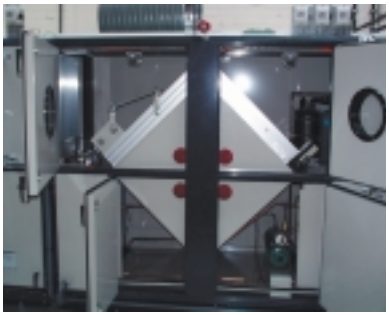


Figur 7.8b.Virkningsgrad for motor som funktion af belastningsgrad

Gode råd om motorer

- *Ved projektering af ventilationsanlæg bør der altid vælges* Sparemotorer. Klik ind på sparemotorlisten www.sparemotor.com og få de aktuelle informationer.
- Motorstørrelsen bør vælges således, at belastningsgraden ligger mellem 75 og 100%. Herved opnås altid de højeste virkningsgrader.

7.9 Varmegenvinding



Figur 7.9a. Krydsvarmeveksler

I ventilationsanlæg, hvor indblæsningsluften tilføres varme eller køling, kan der opnås meget store energibesparelser ved at etablere varmegenvinding. Energibesparelsen afhænger af tryktabet over varmegenvindingsenheden (øget elforbrug til ventilatordrift) samt varmegenvindingsenhedens temperaturvirkningsgrad η_t.

$$\eta_t = \frac{t_2 - t_1}{t_3 - t_1}$$

hvor:
t_1 er udeluftens temperatur før veksleren [°C]
t_2 er udeluftens temperatur efter veksleren [°C]
t_3 er afkastningsluftens temperatur før veksleren [°C]

I praksis er det ikke muligt at måle temperaturen umiddelbart efter veksleren. Det skyldes, at temperaturen varierer over vekslerens udløbsflade. Temperaturen t_2 måles i praksis efter ventilatoren og med eventuel varmeflade afbrudt. Varmen fra ventilator og motor indgår således i beregningen af varmegenvindingsenhedens temperaturvirkningsgrad. Denne varmeafgivelse giver normalt anledning til en temperaturstigning på luften på 0,5 - 1°C.

Eksempel:
På et ventilationsanlæg er der målt følgende temperaturer omkring en krydsvarmeveksler:

Udeluftens temperatur t_1 = 0°C
Udeluftens temperatur efter veksleren t_2 = 12°C
Afkastningsluftens temperatur før veksleren t_3 = 20°C

Temperaturvirkningsgraden η_t = (12°C-0°C)/(20°C-0°C) = 0,6 = 60%

Ifølge BR 1995 er varmegenvinding på ventilationsanlæg et lovkrav. Kravet gælder også for ventilationsanlæg i industrien.

I ventilationsanlæg anvendes primært tre typer varmevekslere, der alle skal kunne kapacitetsreguleres. Nedenfor er de 3 typer beskrevet:



Figur 7.9b.

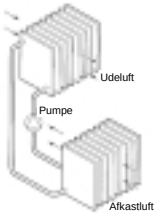
Krydsvarmeveksler

Følgende egenskaber kan fremhæves ved krydsvarmevekslere:

- Lille lækage mellem luftstrømmene
- Ingen bevægelige dele
- Moderat temp.virkningsgrad mellem 50 og 65%

Man undersøger nu mulighederne for at anvende luft/luftpladevarmevekslere, som bruger mod-

strømsprincippet fremfor krydsstrømsprincippet. Denne type vekslere har en temperaturvirkningsgrad på 80% eller derover.



Figur 7.9c.

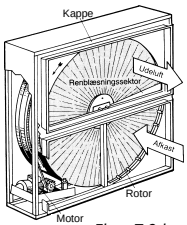
Væskekoblede vekslere

Fordele:

- Genvindingsfladerne kan placeres uafhængigt af hinanden.
- Ingen risiko for lækage mellem udeluft- og afkastningskanal.
- Begrænset pladsbehov.

Ulemper:

- Høj temperatur på udsugningsluften kan forårsage kogning i det varmebærende system.
- Ved manglende glykol i væskekredsen er der risiko for frostsprængning.
- Lav temperaturvirkningsgrad mellem 40 og 60%.
- Elforbrug til drift af væskepumpe.



Figur 7.9d.

Roterende varmeveksler

Fordele:

- Høj temperaturvirkningsgrad
- Høj fugtvirkningsgrad (hygroskopisk rotor)
- Begrænset pladsbehov, moderat tryktab og frostsikring
- Virkningsgraden kan let reguleres ved omdrejningsregulering
- Temperaturvirkningsgraden for denne type veksler ligger typisk mellem 75 og 85%
- Fugtvirkningsgraden for hygroskopiske vekslere er typisk 70-85%

Ulemper:

- Lækage i systemet, som dog kan styres i ønsket retning ved rigtig placering af ventilatorerne.
- Risiko for overføring af gasser.

Figur 7.9b og 7.9c (se: andre kilder 1). Figur 7.9d (se: andre kilder 3)

7.10 Indblæsningsarmaturer

Opblandingsarmaturer

Opblandingsarmaturer fås i flere forskellige udførelser, således at de kan tilpasses rummets geometri og indretning.



Riste

Induktionsgraden (opblanding af rumluft i indblæsningsstrålen) er meget lav. Muligheden for trækfrit at tilføre rummet undertempereret luft er derfor lille. Ved højloftede lokaler er der risiko for, at luften ikke kommer ned i opholdszonen i opvarmningstilfældet, hvis indblæsningstemperaturen er for høj. Når armaturet anvendes til køling, kan luften indblæses med en undertemperatur på 3 til 4°C.



Spaltearmaturer

Spaltearmaturer er konstrueret således, at luften tilføres gennem en (enspaltede armaturer) eller flere spalter (flerspaltede armaturer). Spalten findes mellem en diffusorring og en tallerken. Den højeste induktionsgrad opnås ved anvendelse af flerspaltede armaturer, hvor diffusorringene er nedbygget. På grund af den høje induktion er det muligt trækfrit at tilføre undertempereret luft. Når armaturet anvendes til køling, kan luften indblæses med en undertemperatur på op til 10°C.



Perforerede armaturer

Et perforeret indblæsningsarmatur er konstrueret således, at luften tilføres dels gennem en perforeret bundplade, dels gennem en sidespalte. Dette

armatur har på grund af sin konstruktion den største induktionsgrad af samtlige armaturtyper. Med dette armatur er det muligt at tilføre såvel overtempereret luft som undertempereret luft. Når armaturet anvendes til køling, kan luften indblæses med en undertemperatur på op til 12°C.



Spalte- og hvirveldiffusorer
Induktionsgraden for disse typer armaturer er meget høj. Det er derfor muligt at tilføre såvel overtempereret som undertempereret luft. Når armaturet anvendes til køling, kan luften indblæses med en undertemperatur på op til 12°C.

Ovenstående viser, at riste bør undgås, hvis ventilationsanlægget skal anvendes til køling. Hvis anlægget skal fjerne en given mængde varme fra et rum, kræver det mere end den dobbelte luftmængde med riste, fordi luften kun må indblæses med en undertemperatur på 3-4°C.

Fortrængningsarmaturer
Fortrængningsarmaturer fås i flere forskellige udførelser, således at de kan tilpasses rummets geometri og indretning.



Fritstående armaturer
Disse armaturer har indblæsning 360° rundt og anvendes ved en placering midt i lokalet. Armaturet kan være både rundt og firkantet. Luften kan indblæses med en undertemperatur på 5-6°C i forhold til rumtemperaturen, men op til 20°C i forhold til udsugningstemperaturen.



Vægarmaturer
Disse armaturer placeres enten på væggen, ofte som en halvrund model, eller indfældet i væg som en flad model. Luften kan indblæses med en undertemperatur på 5-6°C i forhold til rumtemperaturen, men op til 20°C i forhold til udsugningstemperaturen.



Lavimpuls armaturer
Disse armaturer placeres 2 - 3 m over gulvet og har indblæsning ned mod arbejds-/opholdszonen. Luften kan indblæses med en undertemperatur på ca. 4°C, men op til 20°C i forhold til udsugningstemperaturen.

Armaturerne er opbygget af et luftkammer, et luftfordelingsarrangement og et frontpanel. Luftfordelingsarrangementets opgave er at fordele luften jævnt over hele frontpanelet, således at der opnås en indblæsning med ensartet hastighedsfordeling.

7.11 Udsugningskomponenter

Valget af udsugningskomponenter i et lokale skal ses i sammenhæng med de processer, der foregår i det.

Udsugningssystemer i industrien består som hovedregel af et antal procesudsug, hvis opgave er dels at fjerne de forureninger, der emitteres fra processerne, dels at virke som et alment udsugningsanlæg, der skal fjerne den varme og forurening, som procesudsugene ikke evner at opfange.

Procesudsug
Procesudsugene vil oftest være dimensioneret efter et af nedenstående principper:

- Omslutningsprincippet (indkapsling).
- Modtagerprincippet.
- Gribeprincippet.

Nedenfor følger en kort beskrivelse af de tre principper.

Omslutningsprincippet
Procesudsug omslutter processen med en lufthastighed i arbejdsåbningen, der sikrer, at forureningen bliver i procesudsuget.

Eksempler på anvendelse af dette princip:

- Malesprøjteboks
- Stinkskabe



Figur 7.11a. Stinkskab

Ved omslutning af varmeprocesser med emissioner er det vigtigt, at omslutningen er helt tæt i den øverste del, da der ellers er risiko for, at der på grund af det termiske drivtryk strømmer varm forurenet luft ud gennem utætheder i omslutningen.

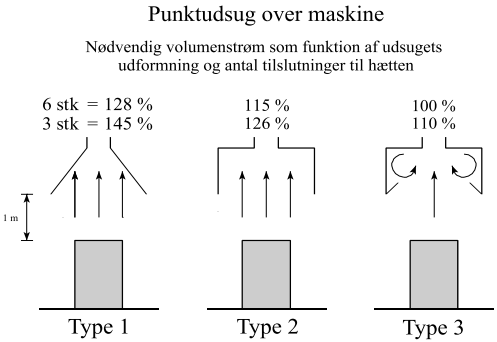
Modtagerprincippet
Procesudsug, hvor termiske kræfter eller dynamiske kræfter bestemmer forureningens bevægelsesmønster, uden mulighed for god indkapsling.

Eksempler på anvendelse af dette princip:

- Smelteprocesser
- Plasttrykstøbning

Undersøgelser har vist, at en korrekt placering (mindre end 1 m fra forureningskilden) og udformning af procesudsuget (med flanger) kan reducere den udsugede luftmængde betydeligt. Endvidere har antallet af tilslutninger til procesudsuget også væsentlig betydning for den udsugede luftmængde.

På figur 7.11b ses forskellige udformninger af hætter anvendt til punktudsugning over en maskine. I figuren er der endvidere foretaget en sammenligning af de forskellige punktudsug over varmekilden (relativ volumenstrøm i % i forhold til optimal løsning). I type 3 ses, at en hætte med reflektorer og seks tilslutninger er den optimale udformning (100%).



Figur 7.11b. Principskitse af punktudsug (hætter) over maskine

Gribeprincippet

Punktudsug er dimensioneret til at indfange og fjerne emissioner fra processer, før de slipper ud i opholdszonen. Punktudsugets primære funktion er at skabe et strømningsfelt, hvor forureningerne effektivt kan blive indfanget og transporteret ind i punktudsuget.

Eksempler på anvendelse af dette princip er bortventilering af:

- Træstøv
- Metalstøv
- Svejsestøv



Figur 7.11c. Svejseudsugning

Punktudsuget, som skal fungere efter gribeprincippet, kan udformes på mange måder, f.eks. som spalte eller fri åbning. Fælles for dem alle er, at sugeåbningen altid bør placeres så tæt på forureningskilden som muligt, idet afstanden mellem punktudsuget og forureningskilden er af stor betydning for den nødvendige udsugede volumenstrøm. Hvis en sugeåbning eksempelvis placeres i en afstand, der svarer til halvdelen af sugeåbningens diameter, vil man for opnåelse af en given effektivitet, kunne nøjes med at udsuge 1/4 af den volumenstrøm, der må anvendes ved en placering af sugeåbningen i en afstand fra forureningskilden, som svarer til sugeåbningens diameter.

Set fra et energiøkonomisk og arbejdsmiljømæssigt synspunkt bør et procesudsug i videst muligt omfang dimensioneres efter omslutnings- eller modtagerprincippet, da punktudsug efter gribeprincippet giver anledning til høje udsugede luftmængder, som igen resulterer i unødvendigt højt energiforbrug til lufttransport og opvarmning af erstatningsluft.

Ofte er det dog af pladshensyn ikke muligt at anvende punktudsug dimensioneret efter omslutnings- eller modtagerprincippet.

Alment udsugningsanlæg

Et energibevidst, alment udsugningsanlæg skal udføres med varmegenvinding til forvarmning af den erstatningsluft, som ifølge Arbejdstilsynets anvisninger skal indblæses i produktionslokalet uden trækgener i opholdsrum.
Genvinding af varme fra procesudsugningerne kan dog i nogle tilfælde være tilstrækkeligt til opvarmning af hele den indblæste friskluftmængde.
Anvendelse af fritsugende tagventilatorer giver ikke muligheder for varmegenvinding af den udsugede luft.

VEJLEDENDE NØGLETAL

8.1 Volumenstrøm - nøgletal

I tabel 8.1a er angivet vejledende volumenstrømme til ventilering af forskellige rumkategorier.

Vejledende udeluftvolumenstrømme (BR = bygnings-reglementet).

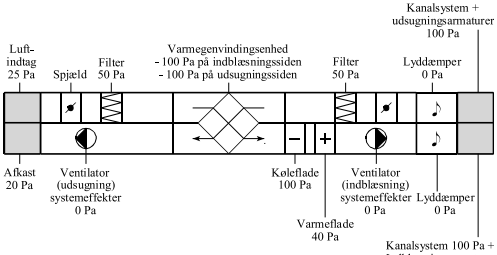
Lokale	Volumenstrøm [l/(s × m² gulvareal)]	Volumenstrøm [l/s]
Apotek		
Sterilrum	15	
Laboratorium	15	
Analyserum	4	
Indpakning	4	
Lager	1	
Bageri		
Bagerum	8	
Dejrum	6	
Bank		
Betjeningslokale	2–3	
Arkiv	1	
Personalerum	2–3	
Beboelse		
Køkken > 7 m²		20 (BR)
Køkken < 7 m²		15 (BR)
Kogeniche		15 (BR)
Bade- og wc-rum		15 (BR)
Wc-rum		10 (BR)
Fritidslokale		10/person
Trapperum		10/lejl. (BR)
Affaldsskakter		80 (BR)
Skarnkasserum		15 (BR)
Datacentral		
Edb-rum	2–3	
Maskinrum	15–20	

Lokale	Volumenstrøm [l/(s × m² gulvareal)]	Volumenstrøm [l/s]
Dyr		
Får og geder		3/dyr
Heste		40/dyr
Høns		3/dyr
Køer og kalve		100/dyr
Kyllinger		2/dyr
Søer		60/dyr
Smågrise		15/dyr
Forsamlings-lokaler		
Teatre/biografer		7–15/person
Foyer		3–15/person
Danselokaler	2	15–30/person
Kirker	10-20	
Udstillingshal		
Garage	> 0,9	
Hotel		
Hotelværelse		15–20/person
Reception	3	
Industrikøkken		
Køkken (alm.)	25–30	
Gastilberedt mad		550/m² komfur-plade
Eltilberedt mad		300/m² komfur-plade
Grillbord		400/m² komfur-plade
Friturегryde		300/stk.
Kogegryde (100 l)		100/stk.
Kogegryde (200 l)		200/stk.
Kaffemaskine (30 kopper)		60/stk.
Køleskranke	7-10	
Renseri	15	
Køle-/fryserum	0,3-0,5	
Forråd	2-4	

Lokale	Volumenstrøm [l/(s × m² gulvareal)]	Volumenstrøm [l/s]
Kontor		
Modulkontor		15–20/person
Kontorlandskab		20/person
Konferencerum		15–30/person
Bestyrelsesrum		15/person
Auditorium		10–15/person
Personalekantine		15–20/person
Personalerum		
Omklædningsrum	8–12	
Spiserum	8–10	
Hvilerum		15/person
Restaurant	10	
Cafeteria	4	
Skoler		
Klasseværelse	0,4	5/person
Sportshaller	3–4	
Bowlinghal	3–4	
Billardsalon	8–10	
Sygehus		
Behandlings- og modtagelsesrum for inficerede patienter	9	
Dialyserum	42	
Intensivrum	28	
Lavementrum	28	
Obduktionsrum	9	
Operationsstue	14	
Opvågningsrum	28	
Træindustri		
Grovsnedkeri	2–5	
Finsnedkeri	2–5	

Lokale	Volumenstrøm [l/(s × m² gulvareal)]	Volumenstrøm [l/s]
Værksted		
Bilværksted	4	
Udsugning af udstødning		60–80/bil
Mekanisk værksted	3–4	
Finmekanik	3–20	
Svejsearbejde	12–15	
Montagehal	4–5	
Smedeværksted	6–7	

Tabel 8.1a. Vejledende volumenstrømme til ventilering af forskellige rumkategorier.



Figur 8.2a. Optimale tryktab i ventilationsanlæg

8.2 Tryktab - nøgletal

I nedenstående tabel ses optimale tryktab i komfortanlæg (volumenstrøm 1 m³/s).

Komponent	Optimale tryktab i komfortanlæg [Pa]
Indblæsning	
Kanalsystem	100
Lyddæmper	0
Varmeflade	40
Køleflade	100
Varmeveksler	100
Filter	50
Armatur	30
Luftindtag	25
Systemeffekter	0
Udsugning	
Kanalsystem, inkl. udsug	100
Lyddæmper	0
Varmeveksler	100
Filter	50
Afkasthætte	20
Systemeffekter	30
Trykfald i alt	**745**

Tabel 8.2a. Optimale tryktab i ventilationsanlæg

ENERGIFORBRUG -SEL-KOEFFICIENT, M.M.

Energiforbruget i ventilationsanlæg vil enten være knyttet til lufttransporten, herunder transport af partikler (ventilatordriften), eller til konditionering af luften (opvarmning, køling og fugtregulering) i de enkelte anlægskomponenter.
Ved beregning af energiforbrug til opvarmning, køling og befugtning se: afsnit 9.3, 9.4 og 9.5.
Effektbehovet til lufttransport afhænger primært af luftmængderne og tryktabet i anlægget; sekundært af virkningsgraden for ventilatorer, remme, motorer og evt. frekvensomformere.
Effektbehov til luftkonditioneringen afhænger hovedsageligt af friskluftmængden, funktionskrav til temperaturer og relativ fugtighed samt varmebelastningen i rummet.

9.1 Energiforbrug til ventilationsaggregat

Ventilatorens effektforbrug P defineres således:

$$P = \frac{q_v \cdot \Delta p_t}{\eta_v \cdot \eta_r \cdot \eta_m \cdot \eta_f} \quad [W]$$

hvor
q_v er volumenstrømmen [m³/s]
Δp_t er totaltrykstigningen over ventilatoren [Pa]
η_v er ventilatorens virkningsgrad
η_r er remvirkningsgraden
η_m er motorvirkningsgraden
η_f er frekvensomformerens virkningsgrad

$(\eta_v \times \eta_r \times \eta_m \times \eta_f)$ er totalvirkningsgraden, kaldet η_t

Se endvidere afsnit 10.4.

9.2 Det specifikke elforbrug, SEL, defineres således:

$$SEL = \frac{P_{ind} + P_{ud}}{q_v} \quad [W/(m^3/s) \text{ eller } J/m^3]$$

hvor
P_{ind} er indblæsningsventilatorens effektoptag [W]

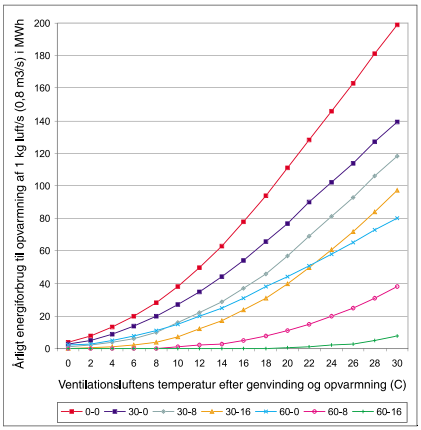
P_{ud} er udsugningsventilatorens effektoptag [W]
q_v er den største værdi af den indblæste eller udsugede volumenstrøm [m^3/s]

I bygningsreglementet (1995) kap. 12.3 stk. 9 står der:

"For ventilationsanlæg med konstant luftydelse må elforbruget til lufttransport ikke overstige 2500 Joule/m^3 udeluft. For anlæg med varierende luftydelse må elforbruget til lufttransport ikke overstige 3200 Joule/m^3 udeluft ved maksimal luftydelse."
Bestemmelsen gælder ikke for ventilationsanlæg uden mekanisk udelufttilførsel, for anlæg knyttet til industriprocesser og lignende samt anlæg, hvor det årlige elforbrug til lufttransport er mindre end 2,5 GJ (700 kWh)."

9.3 Energiforbrug til opvarmning af luft

I figur 9.3a er energiforbruget til opvarmning af ventilationsluft opgjort for samtlige årets timer. På figuren ses betydningen af varmegenvinding og maksimal udsugningstemperatur. Det sidste kan opnås ved at anvende effektive punktudsug ved processerne (varmeprocesser).



Figur 9.3a. Årligt energiforbrug til opvarmning af ventilationsluft

Kurvebetegnelse 30-8:

- 30 betyder 30% virkningsgrad for varmegenvindingen (temperaturvirkningsgrad).
- 8 betyder 8°C højere temperatur af afkastningsluft end den ønskede opvarmningstilstand.
- 0-0 er forbruget uden varmegenvinding.

Eksempel:
Et anlæg arbejder med 18°C indblæsningstemperatur, og det behandler (indblæser og udsuger) 7 kg luft pr. sekund hele året døgnet rundt.

Forbruget til opvarmning til 18°C pr. kg/s aflæses via den øverste kurve 0-0 (uden varmegenvinding) ud for 18°C til 90 MWh/år pr. kg/s.
*For 7 kg/s er forbruget til opvarmning hermed (7 × 90) **630 MWh/år**.*

Varmegenvindes fra afkastningsluften, der er 26°C varm, dvs. 8°C varmere end det niveau, hvortil varmegenvindingen ønskes, med en temperaturvirkningsgrad på 60%. Nu kan energiforbruget aflæses på kurve 60-8 til 8 MWh/år pr. kg/s.
*For 7 kg/s er forbruget til opvarmning hermed (7 × 8) **56 MWh/år**.*

9.4 Energiforbrug til nedkøling af luft

Årsenergiforbruget til afkøling og affugtning af ventilationsluft kan bestemmes ud fra tabel 9.4a. Bemærk, at det årlige energiforbrug er opgivet i Wh/m^3 pr. time. Der er samtidig tale om den energi, der skal tilføres selve luften.
For at bestemme det elforbrug, der skal tilføres køleanlægget, skal man dividere med køleanlæggets gennemsnitlige effektfaktor (mellem 2 og 4).

Energiforbruget til afkøling og affugtning af luften findes ud fra tabel 9.4a. Tallene i skemaet baserer

sig på en dugpunktsstyring, dvs. nedkøling og affugtning af luften til et vandindhold svarende til det ønskede vandindhold i indblæsningsluften.

Årligt energiforbrug Wh/år/m³ friskluft pr. time, nedkølet og affugtet til:

Indblæsn.temp.	Relativ fugtighed % RH		
8	-	-	-
10	-	-	-
12	-	-	(103)
14	-	(102)	82
16	100	83	65
18	82	67	51
20	67	53	40
* 22	54	42	31
Driftstid fra kl. 0:0 til kl.	–	–	–
1:00	5	16	44
2:00	8	29	76
3:00	12	43	120
4:00	14	49	129
5:00	17	59	171
6:00	20	67	217
* 7:00	26	91	250
8:00	31	114	349
9:00	49	160	459
10:00	80	267	715
11:00	107	360	940
12:00	169	580	1430
13:00	221	705	1745
14:00	302	930	2370
15:00	366	1105	2905
16:00	430	1330	3370
17:00	477	1465	3780
18:00	535	1545	4040
* 19:00	545	1780	4245
20:00	570	1845	4360
21:00	585	1860	4535
22:00	595	1895	4650
23:00	595	1925	4710
24:00	600	1950	4765

** Se efterfølgende eksempel.*

Tabel 9.4a. Afkøling og affugtning af ventilationsluft.

Efterfølgende skal luften opvarmes fra dugpunktstemperaturen til den ønskede temperatur og relative fugtighed.
Energiforbrugene i skemaet inkluderer ikke energiforbruget til eftervarme af luften.

Eksempel:
Et lokale ventileres med 5.000 m³ pr. time. Indblæsningstemperaturen er maks. 22°C, og den relative fugtighed må maks. være 40%. Driftstiden er mellem kl. 7.00 og kl. 19.00, 6 dage om ugen.

Ud fra 22°C findes den relative fugtighed 40%. Da 40% ikke findes i tabellen, må der interpoleres mellem 31 og 42%.

Interpolationsforholdet bliver (42-40)/(42-31) = 2/11.

Det årlige energiforbrug mellem kl. 0.00 og kl. 19.00 bliver 1780 + (4245-1780) x 2/11 = 2228 Wh/m³ friskluft pr time.

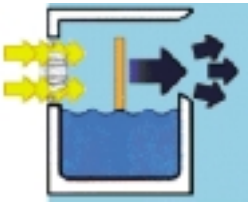
Det årlige energiforbrug mellem kl. 0.00 og kl. 7.00 bliver 91 + (250-91) x 2/11 = 120 Wh/m³ friskluft pr time.

Energiforbruget til afkøling og affugtning i den pågældende periode vil da være 5.000 x (2228 - 120) x 6/7 = 9.034 kWh pr. år.

9.5 Befugtning

De mest almindelige metoder til befugtning af luften i produktions- og kontorlokaler.

Vandbefugtere

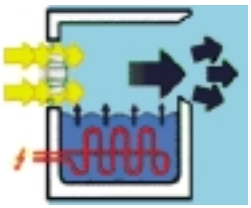


Figur 9.5a.Vandbefugter

- Befugter med fordamperindsats.
  Fordampningsvarmen tages fra ventilationsluften.

- Befugter med dyser (luftvasker).
  Vandet forstøves med trykluft, eller der anvendes højt vandtryk.
  Elforbruget er 0,01-0,1 kWh pr. kg vand.
  Fordampningsvarmen tages fra ventilationsluften.

Dampbefugtere



Figur 9.5b. Dampbefugter

- Befugter med damptilførsel.
  Dampen produceres eksempelvis i en dampkedel og indblæses i kanalen.
  Energiforbruget er ca. 0,8 kWh pr. kg damp.

9 Energiforbrug - SEL-faktor, mm.

- Befugter med egen dampproduktion.
  Fordampningsvarmen tilføres i dampgenerator. Normalt er dampgeneratoren elopvarmet.
  Elforbruget er 0,7 kWh pr. kg damp.

Energiforbruget til befugtning af udeluft afhænger både af den ønskede relative fugtighed og den ønskede indblæsningstemperatur.

Den eldrevne dampbefugter er dyr i drift, fordi der anvendes el. Dysebefugtningen er også ret dyr i drift som følge af de høje rumvarmeafgifter, idet fordampningsvarmen skal tilføres via opvarmning af ventilationsluften. Er ventilationsluften varmere end nødvendigt, f.eks. som følge af stor varmeafgivelse fra maskiner, eller er der ligefrem behov for nedkøling af ventilationsluften, er disse befugtningsmetoder dog billige i drift.

MÅLINGER - LUFTHASTIGHED, TRYK, EL

10.1 Lufthastighed

Nedenfor ses en oversigt over og karakteristika af det mest almindelige udstyr til lufthastighedsmålinger.

Måle-metode	Måle-område	Måleusik-kerhed	Bemærkninger
Pitotrør	2-50 m/s	1-5%	• Der skal korrigeres for luftens temperatur og barometerstanden. • Skal ikke kalibreres. (Husk at kalibrere trykmåleren)
Varme-trådsane-mometer	0,05-30 m/s	1-20%	• Retningsfølsomt. • Det er usikkert at anvende instrumentet ved temperaturer, der afviger væsentligt fra 20°C. • Kræver periodisk kalibrering.
Vingehjuls-anemo-meter	0,3-15 m/s	5-20%	• Kræver periodisk kalibrering.

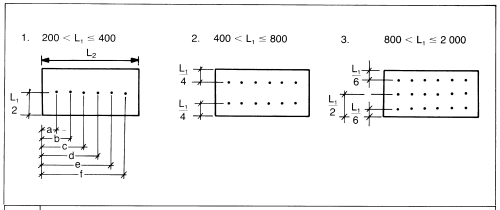
Tabel 10.1a



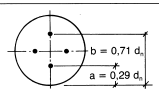
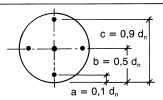
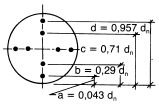
I figur 10.1a ses en hastighedsmåling i en kanal med et varmetrådsanemometer.

Figur 10.1a

I tabel 10.1b ses, hvorledes målinger af lufthastigheder skal foretages i et rekommanderet måleplan under forudsætning af en tilløbslængde på 10 gange den hydrauliske diameter. For yderligere vejledning til målinger henvises til Nordiska Ventilationsgruppen (se kilder /8/)



L_2 [mm]	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
a	16	20	25	25	30	35	50	60	70	85	95	110	120
b	85	110	130	95	120	140	190	235	280	330	375	420	470
c	115	140	170	170	215	260	345	430	515	600	690	775	860
d	184	230	275	230	285	340	455	570	685	800	910	1025	1140
e	–	–	–	305	380	460	610	765	920	1070	1225	1380	1530
f	–	–	–	380	470	565	750	940	1130	1315	1505	1690	1880

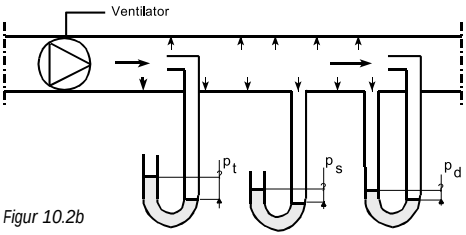
Nominel diam d_n [mm]	Måleplan	Målepunkternes placering [mm]			
		a	*b*	*c*	*d*
100 125 160		29 36 46	71 89 114		
200 250 315 400		20 25 32 40	100 125 160 200	180 225 283 360	
500 630 800 1000 1250		22 27 34 43 54	145 185 230 290 360	355 445 570 710 890	478 603 766 957 1196

Tabel 10.1b. Målepunkter i rekommanderet måleplan (se: andre kilder 3)

10.2 Tryk

Man taler om tre slags tryk i forbindelse med trykmålinger på ventilationsanlæg:

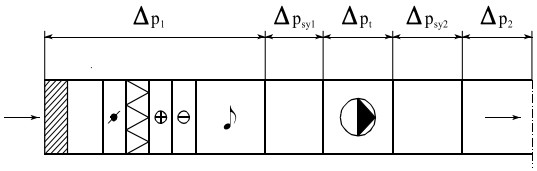
- Statisk tryk p_s måles i forhold til atmosfæretrykket. Det kan være positivt, nul eller negativt, og det virker ens i alle retninger.
- Dynamisk tryk p_d eller hastighedstrykket er altid positivt og virker i luftbevægelsens retning. Det dynamiske tryk kan beregnes af:
  $p_d = ½ \cdot \rho \cdot v^2$
  hvor
  ρ er luftens densitet
  v er luftens middelhastighed
- Total tryk p_t (statisk tryk + dynamisk tryk)



Figur 10.2b

På ventilationsanlæg er det relevant at måle følgende forhold:

Trykstigning over ventilatoren



Forklaring til figuren:

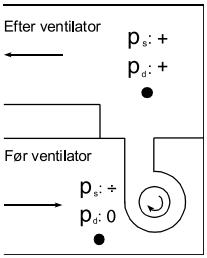
- Δp_t er den samlede anlægsmodstand.
- Δp_1 og Δp_2 er tryktabene i anlægget.
- Δp_{sy1} og Δp_{sy2} er systemtab på henholdsvis ventilatorens ind- og udløbsside

Måling af trykstigningen over ventilatoren Δp_t sker ved at måle differensen i det statiske tryk Δp_s på hver side af ventilatoren og beregne differensen i det dynamiske tryk Δp_d på hver side af ventilatoren.

Der gælder følgende:

$$\Delta p_t = (p_{s,\,efter} + p_{d,\,efter}) - (p_{s,\,før} + p_{d,\,før}) = \Delta p_s + \Delta p_d$$

Trykmålingerne udføres ved hjælp af et pitotrør og et manometer.
Ved måling af de statiske tryk før og efter ventilatoren er det vigtigt at bemærke, at trykket er negativt før ventilatoren og positivt efter.



Figur 10.2c

I praksis er det ikke muligt at måle det statiske tryk umiddelbart efter ventilatoren. Dette skyldes, at hastighedsprofilet i ventilatorens udløb er meget ujævnt. Derved bliver det statiske tryk i udløbets tværsnitsareal også ujævnt.
Det statiske tryk skal derfor måles et stykke fra ventilatoren hvor hastighedesprofilet er udjævnet. Dette medfører, at systemtabet ikke indgår i den totale trykstigning, hvilket medfører at der en mindre usikkerhed ved målingen.

Trykdifferensen over anlæggets komponenter

Måling af trykdifferensen over anlæggets komponenter sker ved at måle differensen i det statiske tryk P_s på hver side af komponenten. Trykmålingerne udføres ved hjælp af pitotrør og manometer.



Måling med et pitotrør og et manometer.

Figur 10.2d

10.3 Effekt

Ved måling af effekt anvendes et wattmeter.



Måling af effektoptaget på et ventilationsanlæg. Målingen blev foretaget i anlæggets styreskab med et wattmeter.

Figur 10.3a

10.4 Vejledende metode til bestemmelse af ventilationsanlæggets totalvirkningsgrad η_t og ventilatorens virkningsgrad η_v

Målinger af lufthastighed, total trykstigning over ventilator samt effektoptag for motoren kan benyttes til bestemmelse af ventilationsanlæggets totalvirkningsgrad η_t.

Eksempel:
Et ventilationsaggregat er forsynet med F-hjuls ventilatorer. På aggregatets indblæsningsside er tilsluttet to stk. ø 400 mm kanaler.
Hastighederne i kanalerne er målt til henholdsvis 14 m/s og 13 m/s.
Ved hjælp af disse data kan den indblæste volumenstrøm q_v beregnes til:

$q_v = (v_1 \times A_{kanal1}) + (v_2 \times A_{kanal2}) =$
$(14\ m/s \times 0{,}126\ m^2) + (13\ m/s \times 0{,}126\ m^2)$
$= 3{,}4\ m^3/s$

$$A_{kanal} = \frac{\pi}{4} x\ d^2$$

	Statisk tryk P_s [Pa]	Dynamisk tryk P_d [Pa]
Før ventilatoren	-507	0
Efter ventilatoren	369	75

Tabel 10.4a. Statiske og dynamiske tryk før og efter ventilatoren

- De statiske tryk før og efter ventilatoren er målt med pitotrør og mikromanometer.
- Det dynamiske tryk efter ventilatoren er bestemt således:

$p_{d,efter} = 0{,}5 \times \rho_{luft} \times (q_v : A_{udløb})^2$

Ventilatorens udløbsareal er (0,55 m × 0,55 m) 0,303 m^2.

$p_{d,efter} = 0{,}5 \times 1{,}2 \times (3{,}4\ m^3/s : 0{,}303\ m^2)^2 = 75\ Pa$

- Det dynamiske tryk før ventilatoren i et aggregat er ca. 0 Pa på grund af den lave lufthastighed i selve aggregatet.

Den totale trykstigning over ventilatoren er da:

$\Delta p_{total} = (p_{s\ efter} + p_{d\ efter}) - (p_{s\ før} + p_{d\ før}) =$
(369 Pa + 75 Pa)-(-507 Pa) = 951 Pa

Effektoptaget for motoren er målt til:

$P_{motor} = 7.240\ W$

Ventilationsaggregatets totale virkningsgrad kan herefter beregnes, idet der gælder:

$\eta_{total} = (\Delta p_{total} \times q_v) : P_{motor} =$
(951 Pa × 3,4 m^3/s) : 7.240 W = 45%

Ventilatoren er forsynet med en 7,5 kW motor. Ved hjælp af figur 7.8b kan belastnings- og virkningsgraden for motoren bestemmes til

henholdsvis 84% og 87% som nedenstående beregning viser:

P_{motor} = (0,84 × 7.500 W) : 0,87 = 7.240 W

Remtrækket er med en almindelig kilerem, og det virker korrekt opspændt. Remtrækkets virkningsgrad kan derfor bestemmes til ca. 95%.

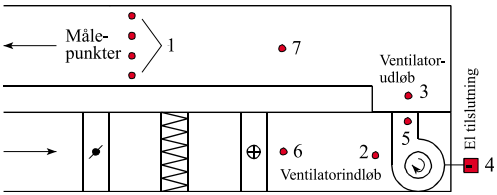
Ventilatorens virkningsgrad kan herefter beregnes:

$\eta_{total} = \eta_{ventilator} \times \eta_{motor} \times \eta_{remtræk} \Rightarrow$

$\eta_{ventilator} = \eta_{total} : (\eta_{motor} \times \eta_{remtræk}) =$
0,45 : (0,87 × 0,95) = 0,54.

Virkningsgraden for ventilatoren er således væsentligt under den maksimale virkningsgrad på 65%, der kan opnås med en ventilator med F-hjul.

I det efterfølgende ses, hvor på ventilationsanlægget målingerne skal foretages til bestemmelse af totalvirkningsgraden (se også kassen side 75).







Målepunkt 1: Lufthastighed



Målepunkt 2 og 3:
Statiske tryk



Målepunkt 4: Effektoptag

Tabel 10.4b. Målepunkter

Fem vigtige ting vedrørende målinger

1. Lufthastighed
2 og 3. Statisk tryk
4. Effektoptag for motor
5. Tværsnitsareal for beregning af dynamisk tryk ud
6 og 7. Kanaldimensioner

Det er vigtigt at få alle data med hjem, ellers kan beregning af total- og ventilatorvirkningsgrad ikke foretages.

DRIFT

11.1 Styring og regulering

Regulering af luftmængder

Behovet for ventilation er sjældent konstant, men varierer over døgnet og året. Som eksempler kan nævnes behovet for (central) udsugning af spåner fra træbearbejdningsmaskiner eller udsugning af røg fra svejseprocesser, der begge afhænger af arbejdsprocessernes aktivitet.

Behovet er også varierende, når det gælder komfortventilation. Ventilationsanlæg til komfort er projekteret ud fra en stor person- og varmebelastning i rummet. I mange situationer er belastningen langt mindre, og det er vigtigt at tilpasse anlæggets ydelse til behovet på en energimæssigt effektiv måde. Behovet for ventilation kan f.eks. reguleres efter:

1. Urstyring (efter tid)
2. Procesudstyrets driftstilstand (f.eks. via styresignal fra maskine)
3. Tilstedeværelsesstyring (kan tilpasses om der er personer eller ej)
4. Rum- eller udsugningstemperaturen.
5. CO_2-regulering (efter CO_2-føler)
6. Luftkvalitetsregulering (efter „luftkvalitetsføler")

Reguleringen af luftmængder kan i princippet ske ved on/off eller variabel (VAV) regulering:

On/off-regulering

Den mest simple form for regulering af luftmængden er on/off-regulering. On/off reguleringen kan ske ved helt at starte og stoppe ventilatoren eller via afspærringsspjæld at åbne/lukke for ventilationen i dele af betjeningsområdet.
Ved f.eks. tilstedeværelsesstyring kan on/off-reguleringen tilpasses ventilationsbehovet ved anvendelse af tidsforsinkelser.

Når der afspærres for dele af betjeningsområdet, opnås langt den største energibesparelse ved samtidig at nedregulere ventilatorens omdrejningstal.

VAV-regulering

Nedenfor beskrives en række almindeligt anvendte metoder til VAV-regulering.

- **Spjældregulering ved F-hjul**
  Når volumenstrømmen reduceres, ændres motorens effektoptag betydeligt. Det skyldes, at den totale trykstigning over ventilatoren samtidig falder (dog kun en smule). Denne reguleringsmetode er derfor mere effektiv end for B-hjul. Den bør dog kun anvendes ved luftmængder under ca. 10.000 m^3/h.

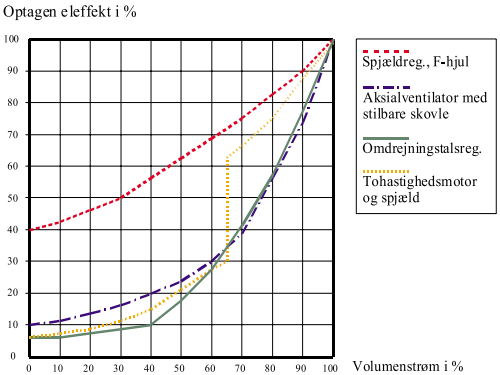
- **Brug af flerhastighedsmotorer**
  Ved denne reguleringsform kan motoren køre med to omdrejningstal. Volumenstrømmen reduceres ved at reducere motorens omdrejningstal. Herved sker der en væsentlig ændring af motorens effektoptag. Reguleringsformen er velegnet til skift mellem fuld volumenstrøm og halv eller to trediedel volumenstrøm.

- **Hastighedsregulering**
  Ved denne reguleringsform kan motorens omdrejningstal reguleres trinløst. Herved kan volumenstrømmen også reduceres trinløst. Som ved anvendelse af en tohastighedsmotor sker der en væsentlig ændring af motorens effektoptag, når motorens omdrejningstal reduceres. Reguleringsformen er velegnet ved behov for varierende volumenstrømme.

- **Aksialventilator med stilbare skovle**
  Denne metode, der kun anvendes ved aksialventilatorer, er karakteriseret ved, at ventilatorens ydelse ændres, når skovlvinklen

ændres.Ventilatoren har en høj virkningsgrad over et meget stort område, fordi kurverne for virkningsgraden har deres største udstrækning i samme retning som reguleringsområdet (anlægskarakteristikken).

I figur 11.1a ses den optagne eleffekt ved varierende luftmængde for de forskellige reguleringsmetoder. Eleffekten er angivet i procent af effekten ved 100% luftydelse.



Figur 11.1a

Af figuren kan følgende uddrages:

- Den mest energieffektive regulering opnås med omdrejningstalsregulering samt med aksialventilator med stilbare skovle.
- Tohastighedsmotorer er velegnede, når der kun er behov for to niveauer af luftydelse (100% og 50% eller 100% og 66%).

Ovenstående kan betragtes som gode råd i forbindelse med regulering af ventilatorer.

VAV-armaturer
I ventilationsanlæg med varierende volumenstrøm anvendes indblæsningsarmaturer, der kan variere indblæsningsspalten, således at hastigheden på den indblæste luft altid er konstant uanset variationer i volumenstrømmen. Anvendes der ikke specielle indblæsningsarmaturer i VAV-anlæg vil der opstå trækgener ved minimum volumenstrøm.

Regulering af temperaturer

Regulering af indblæsningstemperatur
Indblæsningstemperaturen reguleres efter sætpunkt for ønsket indblæsningstemperatur. Sætpunktet holdes normalt konstant, uanset varmebehovet i rummene. For at reducere energiudgifterne til opvarmning bør sætpunktet varieres, således at der indblæses med en lavere temperatur om sommeren (se nedenstående afsnit om "udekompensering"). Energiudgifterne kan yderligere reduceres ved at variere sætpunktet efter rumtemperaturen (se også "kaskaderegulering" side 81).

Regulering af rumtemperatur
Rumtemperaturen reguleres efter sætpunkt for ønsket rumtemperatur. For at reducere energiudgifterne til opvarmning og køling bør sætpunktet varieres, således at det er lavere om vinteren (f.eks. 21°C) og højere om sommeren (f.eks. 25°C) (se også "udekompen-sering" side 80).

Seriestyring
Tidligere var et væsentligt problem ved regulering af mange ventilationsanlæg, at hver enkelt varmeflade, køleflade eller befugter blev reguleret hver for sig uden hensyn til de andre komponenter. Det kan medføre et forøget energiforbrug og et dårligere indeklima. I dag reguleres alle komponenter normalt i serie, dvs. at reguleringen sker fra samme regulator og samme føler (følere).

Eksempel på VAV-regulering efter varme- og kølebehov:
På figur 11.1b ses et reguleringsdiagram for et anlæg med varme- og køleflade, varmegenvinding og omdrejningstalsregulerbar ventilator. Figuren viser, at der ved aftagende varmebehov lukkes helt for varmefladen, inden ydelsen på varmegenvindingsanlægget reduceres. Først når varmegenvindingsanlæggets ydelse også er afbrudt, ændres ventilatorens omdrejningstal, så udelufttilførslen øges.
Figuren viser også, at først, når ventilatoren kører med maks. omdrejningstal, vil kølefladen blive koblet ind.

På figuren er endvidere vist et reguleringsområde, neutralzonen, der er indført som en yderligere sikkerhed for at:

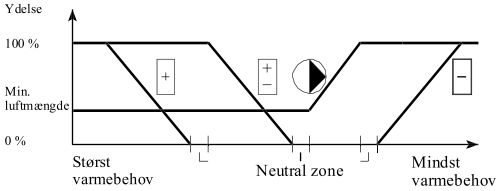
- varmefladen skal være afbrudt, før ydelsen på varmegenvindingsaggregatet reduceres
- ventilatorens omdrejningstal ikke ændres til forøget udeluftmængde, så længe varmegenvindingsaggregatet er i drift
- først når ventilatoren kører med maks. omdrejningstal, vil kølefladen blive koblet ind.

På reguleringsdiagrammerne er aftagende varmebehov (fra størst varmebehov mod mindst) for anlæg med regulering af indblæsningstemperaturen et udtryk for:

- at udetemperaturen er stigende.

For anlæg med regulering af rumtemperaturen et udtryk for:

- at varmetilførslen fra andre varmekilder i rummet, dvs. personer, el, sol og eventuelle radiatorer, er stigende, eller at rummets varmetab er faldende.



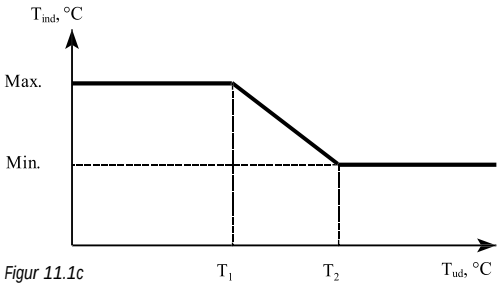
Figur 11.1b

Udekompensering

Som tidligere omtalt reguleres ventilationsanlæggenes varmeflader enten efter indblæsningstemperaturen eller rumtemperaturen.

Regulering efter indblæsningstemperatur:
Traditionelt søger man ved regulering af indblæsningstemperaturen at holde denne konstant, uanset varmebehovet i rummene.

For ventilationsanlæg, hvor en direkte regulering af rumtemperaturen ikke er mulig (f.eks. hvis der ikke findes et repræsentativt rum at regulere efter), kan indblæsningstemperaturen med fordel kompenseres efter udetemperaturen. Princippet for kompensering efter udetemperaturen er vist på figur 11.1c.

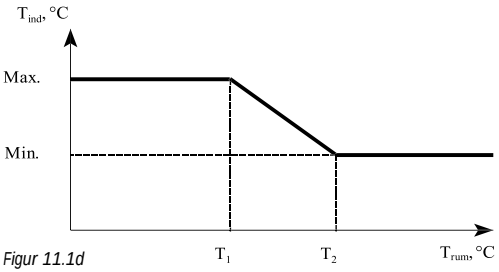


Figur 11.1c

Ved lave udetemperaturer, hvor varmebehovet er størst, indblæses med maksimumtemperaturen. Ved stigende udetemperaturer indblæses med lavere temperaturer, indtil en vis minimum-temperatur nås.

Regulering af rumtemperaturen:
Også i ventilationsanlæg med en regulering af rumtemperaturen kan man med fordel bruge en kompensering efter udetemperaturen. Dette anvendes, hvis anlægget er forsynet med køleflade. Her bruges kompenseringen til at hæve sætpunktet (indstillingsværdien) for den ønskede rumtemperatur, når udetemperaturen kommer over en vis grænse. Under denne grænse holdes rumtemperaturen konstant. Kompenseringen giver både indeklimafordele og sparer energi.

Kaskaderegulering
Kaskaderegulering anvendes i forbindelse med regulering af indblæsningstemperaturen til rum, hvor gratisvarmen varierer meget, men hvor en egentlig rumtemperaturregulering ikke kan bruges. Grundprincippet i reguleringen er, at varmefladens ydelse ændres efter en føler i indblæsningskanalen. Desuden er der en føler i rummet, som kan forskyde sætpunktet for indblæsnings-temperaturen, afhængig af rumtemperaturen.



Figur 11.1d

Kaskaderegulering anvendes som tillægsfunktion til reguleringen af ventilationsanlæg, der betjener rum med flere varmekilder (f.eks. flere ventilationsanlæg eller termostatstyret radiatoranlæg).

Kaskadereguleringer kaldes også „styret indblæsningstemperatur“ og „belastningskompensering“.

Kaskadereguleringen kan kombineres med kompensation efter udetemperaturen.

Kuldegenvinding
Hvis varmegenvindingen placeres før kølefladen i ventilationsaggregatets indblæsningsdel, kan der om sommeren udføres kølegenvinding. Indtagsluften forkøles, hvis udsugningstemperaturen fra rummet er lavere end indtagsluften.

Natkøling
I varme perioder kan det især i ”tunge” bygninger, hvor der ikke opholder sig personer om natten, være en fordel at lade ventilationen indblæse uopvarmet luft, således at bygningsmassen nedkøles i løbet af natten. Derved kan behovet for mekanisk køling om dagen reduceres.

Regulering af relativ fugtighed
Regulering af den relative fugtighed i et lokale foregår ved hjælp af en fugtighedsføler. Denne føler styrer via en regulator befugterventilen, således at den ønskede luftfugtighed opnås ved at variere tilførelsen af vand eller damp til luften. En fugtighedsføler i indblæsningskanalen sikrer, at den relative luftfugtighed i indblæsningsluften ikke kommer over en forudindstillet maksimumværdi ved at overtage styringen af befugterventilen.

Ændringer af lufttemperatur- og fugtighed har stor betydning for energiforbruget
Det drejer sig derfor først og fremmest om ikke

at stille strengere specifikationer for rumluftens temperatur og fugtighed end højst nødvendigt. Jo større toleranceområder for temperatur og luftfugtighed, der kan accepteres, jo mindre energi skal ventilationsanlægget fjerne eller tilføre.

Regulering af zonedelte anlæg
Zonedelte anlæg er karakteriseret ved, at en bygning eller et bygningsafsnit har et fælles centralt ventilationsaggregat, og desuden at der er en opdeling af anlægget i zoner, således at hver zone har individuel regulering ved egen varmeflade.

Forbehandling
Den centrale (fælles) del af ventilationsanlægget forbehandler luften for alle zonerne. Forbehandlingen kan f.eks. omfatte varmegenvinding og opvarmning af luften til en vis temperatur, eventuelt kombineret med køling eller befugtning. Ved temperaturregulering af forbehandlingen udføres denne som regulering af indblæsningstemperaturen.
En eventuel befugtning kan reguleres såvel efter forholdene i indblæsningskanalen som efter rumforholdene.

Efterbehandling
Efterbehandlingen af luften i de enkelte zoner omfatter normalt kun temperaturregulering, dvs. opvarmning (plus evt. køling).
Reguleringeringsprincipperne for efterbehandling er:

- regulering af indblæsningstemperatur eller
- regulering af rumtemperatur

For bygninger opdelt i zoner, grundet variable gratis varmetilskud forårsaget af bygningsorientering, kan alternativt og med fordel anven-

des VAV-anlæg, hvor reguleringen sker decentralt ved hjælp af trykfordelingsbokse.

Undgå energimord!
Ved individuel regulering af zoner med zonevarmeflader og evt. zonekøleflader er det vigtigt at undgå energimord. Det undgås ved at sikre, at forkonditioneringen af luften i hovedaggregatet reguleres efter den zone, som har mindst behov for opvarmning (ved kold udeluft) eller køling (ved varm udeluft). Især hvis der er en køleflade i hovedaggregatet, vil regulering af hovedluften efter et fast temperatursætpunkt i de fleste tilfælde medføre energimord.

11.2 Vedligeholdelse og optimering af anlæg

VENT-ordningen
VENT-ordningen (se endvidere www.vent.dk) er en effektiv og kontrolleret serviceordning for drift og vedligeholdelse af ventilationsanlæg. VENT-ordningen sikrer, at et ventilationsanlæg til stadighed lever op til de krav, virksomheden har til ventilation, samtidig med at energiforbruget altid er mindst muligt.

VENT-ordningen sikrer virksomheden:

- En effektiv udnyttelse af energien til ventilationsanlæg
- Et bedre indeklima
- Et bedre og sundere arbejdsmiljø

Sådan sikres kvaliteten i VENT-ordningen
I VENT-ordningen sikres kvaliteten af arbejdet og funktionen af ventilationsanlægget ved:

- Anvendelse af godkendte, veluddannede servicemontører og godkendt måleudstyr
- Anvendelse af godkendte, fælles retningslinier for service
- Registrering af serviceydelser i forhold til behovet for ventilation
- Registrering af det nødvendige energiforbrug
- Stikprøvekontrol af servicemontørens arbejde

VENT ORDNINGEN

TJEKSKEMA FOR VENTILATIONSANLÆG

I nedenstående tabel er angivet en række forhold, som har indflydelse på ventilationsanlæggets drift og energieffektivitet, og som bør undersøges.

	Tjek i forb. med besøg	Forhold, der bør undersøges nærmere
behovsanalyse	Dokumentation, herunder tegninger for anlægget	Undersøg, om der findes dokumentation, herunder tegninger, for anlægget: ■ Brug tegninger til at få et overblik over anlægget. ■ Lav en simpel skitse af anlægget, der kan hjælpe med at give et overblik.
	Anlæggets opgave	Undersøg, om anlægget passer til opgaven: ■ Undersøg, om det termiske og atmosfæriske indeklima er tilfredsstillende, og om der anvendes den optimale ventilationstype. Inddrag evt. en ventilationsekspert.
anlæggets driftstilstand	Trykfald i anlægget	Undersøg, om der er store trykfald i anlægget: ■ Aflæs eller mål trykfald over aggregat og komponenter.
	Volumenstrømme	Undersøg, om volumenstrømmene er korrekte: ■ Foretag målinger af volumenstrømmene.
	Virkningsgrad for motorer	Undersøg, om det er muligt og rentabelt at udskifte til Sparemotorer.

	Tjek i forb. med besøg	Forhold, der bør undersøges nærmere
anlæggets driftstilstand	Virkningsgrad for motorer	■ Foretag målinger af motorernes effektoptag til bestemmelse af virkningsgraderne.
	Virkningsgrad for ventilatorer	Undersøg, om det er muligt og rentabelt at udskifte ventilatorer til Spare-ventilatorer: ■ Foretag målinger af totale trykstigninger over ventilatorer, volumenstrømme og motorernes effektoptag til bestemmelse af virkningsgraderne.
	Virkningsgrad for transmissioner	Undersøg, om remskiver og remme er slidte. Tjek om opspændingen af er korrekt.
	Systemets virkningsgrader.	Undersøg ventilatorernes indløbs- og udløbsforhold og vurder, om det er muligt og rentabelt med udskiftninger.
	Varmegenvinding på anlægget	Undersøg, om der er etableret varmegenvinding på anlægget: ■ Hvis der er etableret varmegenvinding, foretag da temperaturmålinger til bestemmelse af temperaturvirkningsgraden.

	Tjek i forb. med besøg	Forhold, der bør undersøges nærmere
eleffektivitet	Anlæggets eleffektivitet, SEL	Undersøg, om anlæggets eleffektivitet, SEL, er i orden: ■ Foretag målinger af volumenstrømme og effektoptag for motorer til bestemmelse af eleffektiviteter. ■ For CAV-anlæg bør SEL værdien være mindre end 2.500 J/m^3. ■ For VAV-anlæg bør SEL værdien være mindre end 3.200 J/m^3.
styring/regulering	Automatik på anlægget	Undersøg, om anlægget er forsynet med automatik: ■ Undersøg, om anlægget er forsynet med automatisk tænd/sluk-funktion, herunder om den er indstillet korrekt. ■ Undersøg, om anden automatik fungerer efter hensigten. Specielt frost- og brandautomatik.
service/vedligehold	Anlæggets service og vedligeholdelses tilstand	Undersøg, om der foretages regelmæssig service og vedligeholdelse på anlægget: ■ Undersøg, om kanalerne er tilsmudsede. ■ Undersøg, om filtrene er tilsmudsede. ■ Undersøg, om varme- og kølefladerne er tilsmudsede.

10 GODE RÅD

1. Reduktion af driftstid.
2. Reduktion af luftmængder.
3. Optimering af ventilatorvirkningsgrad.
4. Optimering af remvirkningsgrad.
5. Optimering af motorvirkningsgrad.
6. Reduktion af tryktab i kanalsystem og komponenter.
7. Reduktion af tab i ventilatorindløb og -udløb.
8. Optimering af energiforbrug til opvarmning og køling.
9. Regulering af luftmængder efter behov.
10. Optimal styring og regulering af temperaturer.

Andre kilder
Andre hjælpeværktøjer - links - kilder

Håndbøger

/1/ Håndbog i industri ventilation. Teknisk Forlag A/S 1998, Henning Hørup Sørensen. ISBN 87-571-2171-0

/2/ Dansk Ingeniørforenings norm for ventilationsanlæg. Dansk Standard DS 447. Dansk Ingeniørforening. København 1981. ISBN 87-571-0674-6

/3/ Ventilation Ståbi, Teknisk Forlag A/S 1988, Henning Hørup Sørensen. ISBN 87-571-1107-3

/4/ Varme- og klimateknik, danvak, grundbog, H. E. Hansen, P. Kjerulf-Jensen & Ole B. Stampe. ISBN: 87-982652-1-0.

/5/ Ventilation i industrien, SBI-anvisning 106, Statens Byggeforskningsinstitut 1983. ISBN 87-563-0471-4.

/6/ Varme- og klimateknik, Danvak, Ventilationsteknik, Ole B. Stampe. ISBN: 87-987995-0-9.

/7/ Håndbog i energirådgivning. Danske Elværkers Forening. ISBN 87-87071-06-1 (komplet)

/8/ Metoder för mätning av luftflöden i ventilations-installationer. Meyers 1995. ISBN: 91-7111-052-6.

Rapporter

/9/ Temadage om energibevidst projektering af erhvervslivets ventilationsanlæg, Glenco A/S & Dansk Energi Analyse A/S, 30. oktober 1998.

/10/ Seminar om Energibevidst Projektering, Foreningen af Rådgivende Ingeniører & Energistyrelsen, København den 18. september 1997.

/11/ Ventilation, Teknisk Energirådgivning, Københavns Belysningsvæsen, NESA & DEF, november 1990.

/12/ Ventilationsanlæg. Regulering, energibesparelse og energiforbrug. SBI-rapport 155, Statens Byggeforskningsinstitut 1984. ISBN 87-563-0545-1.

/13/ TR 391. Ventilation i industrielle processer. DEFU og Teknologisk Institut.

Brochurer

/14/ Energibevidst indkøb: Ventilationsanlæg, Projekt Værktøjskassen, 2. oplag, september 1999.
/15/ Energibevidst indkøb, Elmotorer, Projekt Værktøjskassen, 4. udgave, september 1999.
/16/ Energibevidst projektering – for bedre og mere effektive industrianlæg, Industri-Energiudvalget, august 1997.
/17/ Retningslinier for VENT-ordningen,VENT-ordningen 1998

Hjemmesider

Dit elselskab
www.ditelselskab.dk

Spareventilatorer
www.spareventilator.dk

Sparemotorer
www.sparemotor.com

VENT-ordningen
www.vent.dk

Energibevidst projektering
www.energibevidst.dk

Teknologisk Institut
www.teknologisk.dk

Energistyrelsen
www.ens.dk

ELFOR
www.elfor.dk

STIKORDSREGISTER	SIDE		
Afgreninger	36		A
Aksialventilator med stilbare skovle	78		
Aksialventilatorer	8	43	
Alment udsugningsanlæg	55		
Atmosfærisk indeklima	17		
Befugtning	66-67		B
Behovsanalyse	19-22		
Bøjninger	36		
CAV	31-32		C
Delvis indkapsling	24		D
Drift	76-86	10	
Energiforbrug	61-67		E
Energiforbrug til nedkøling af luft	63-65		
Energiforbrug til opvarmning af luft	62-63		
Energiforbrug til ventilationsaggregat	61		
Filtre	40		F
Finfilter	40		
Flerhastighedsmotorer	77		
Fortrængningsarmaturer	50		
Fortrængningsprincippet	28-30		
Fritstående armaturer	50		
Gribeprincippet	54-55		G
Grundfilter	40		
Hvirveldiffusorer	50		H
Højtryksanlæg	34	36	
Indblæsningsarmaturer	49-51		I
Kammerventilatorer	8	43	K
Kanalsystem	34-38		
Kaskaderegulering	82-83		
Komfortkrav	15		
Komfortventilation	23	27 - 30	
Krydsvarmeveksler	47		
Kuldegenvinding	83		
Kulfilter	40		
Lavimpuls armaturer	51		L
Lavtryksanlæg	34-35		
Lokal lavimpuls indblæsning	29-30		
Luftafkast	33-34		
Luftindtag	33-34		
Lyddæmpere	38		

STIKORDSREGISTER	SIDE	
Mellemtryksanlæg	34	35-36
Mikrofilter	40	41
Modtagerprincippet	53	
Motorer	45-46	
Målinger - lufthastighed	68-69	
Målinger - effektoptag	72	
Målinger - tryk	70-72	
Natkøling	83	
Nøgletal	56-60	
Omdrejningstalregulering	78	
Omslutningsprincippet	52	
On/off-regulering	76-77	
Opblandingsarmaturer	49	
Opblandingsprincippet	27-28	
Optimering af anlæg	85-86	
Perforerede armaturer	49-50	
Procesventilation	23-27	
Proceudsug	52	
Punktudsug	25-26	
Push-pull system	26-27	
Radialventilatorer med F-hjul	42	
Radialventilatorer med T-hjul	43	
Radialventilatorer med B-hjul	8	42
Radialventilatorer med P-hjul	42	
Regulering af indblæsningstemperatur	79	
Regulering af luftmængder	76	
Regulering af relativ fugtighed	83	
Regulering af rumtemperatur	79	
Regulering af temperaturer	79-85	
Regulering af zonedelte anlæg	84	
Remtræk	44	
Renrumsventilation	23	30-31
Riste	49	
Roterende varmeveksler	48	
Seriestyring	79-81	
Spaltearmaturer	49	
Spaltediffusorer	50	
Sparemotorer	45	
Spareventilatorer	6-7	8
Spareventilatorkampagnen	6-7	

STIKORDSREGISTER	SIDE
Spareventilatorlisten	6
Specifikt elforbrug - SEL	61-62
Spjæld	39
Spjældregulering med F-hjul	77
Standardmotorer	45
Styring og regulering	76-85
Temperaturvirkningsgrad	46
Termisk indeklima	14
Ti gode råd	90
Tjekskema for ventilationsanlæg	87-89
Tohastighedsmotor	77-78
Total indkapsling	23-24
Totalvirkningsgrad	72-75
Transportventilatorer	9
Trykdiff. over anlæggets komponenter	71-72
Trykstigning over ventilator	70-71
Tryktab - nøgletal	60
Udekompensering	81-82
Udeluftbehov	17
Udsugningskomponenter	51-55
Vandret lufttæppe (Push-pull)	26-27
Varmegenvinding	46-48
VAV	32
VAV-regulering	77-78
Vedligeholdelse af anlæg	86
Ventilationsanlægget	33-55
Ventilationsbehov	17
Ventilationsprincipper	23-32
Ventilationssystem	31-32
Ventilatorer	41-43
Ventilatorindløb	37-38
Ventilatorudløb	37-38
Ventilatorvirkningsgrad	72-75
VENT-ordningen	86
Volumenstrøm vejledende nøgletal	56-59
Vægarmaturer	51
Væskekoblede vekslere	48
Ændring af kanaltværsnit	36

Mekaniske ventilationsanlæg er elskede for deres komfortgevinster og hadede for deres energiforbrug. Med denne lille „grønspættebog“ får de projekterende et godt værktøj i det daglige arbejde med at energioptimere ventilationsanlæg - og bogen inspirerer samtidig til videre fordybelse i faglitteraturen.

Formand for Danvak's Ventilationsgruppe Jørn Treldal

Den lille blå om ventilation er et godt og brugbart værktøj, der altid vil være med i tasken, når jeg går i gang med en ventilationsopgave.

Energirådgiver Morten Vagner, TRE-FOR