

Mere energieffektiv ventilation?

– så læs denne håndbog med tips til energirigtig projektering og brug

Erhvervslivet bruger rigtig mange kilowatttimer og kroner på ventilation. Ikke alle pengene er givet godt ud. Denne håndbog påviser, at cirka en fjerdedel af elforbruget til ventilation kan spares med investeringer med en tilbagebetalingstid på maksimum fire år.

Med andre ord: Erhvervslivet kan mindske sit elforbrug med knap 800 GWh ud af de ca. 3.000 GWh, der bruges på ventilation.

Industrien tegner sig for 60 % af forbruget, landbrug og fiskeri for 21 % og den private handel & service for de resterende 19 %. Den lille blå om Ventilation adresserer alle brancher, og der er gode råd at hente for såvel projekterende og leverandører som for rådgivere og brugere.

Den lille blå om Ventilation giver værdifulde oplysninger om energirigtig projektering, ventilationsprincipper, komponenter og energirigtig sammensætning af disse. Håndbogen giver også en lang række eksempler, der bl.a. tager udgangspunkt i de nyeste forskningsresultater fra Dansk Energis ELFORSK-program.

Af Jørn Borup Jensen, Dorte Lindholm og
Ditte Mikkelsen

Dansk Energi, ELFORSK

Den lille blå om Ventilation



Den lille blå om Ventilation

Forfattere:

Claus M. Hvenegaard (Teknologisk Institut)
Christian Drivsholm (Teknologisk Institut)

Redaktionsgruppe:

Jørn Borup Jensen (Dansk Energi)
Dorte Lindholm (Dansk Energi)
Ditte Mikkelsen (Dansk Energi)

Udgiver: Dansk Energi

Tryk: Clausen Grafisk

Design: Nectar Kbh.

Oplag: 3.000, 3. udgave 2016

ISBN nummer: 87-988903-0-1



Forord

"Den lille blå om Ventilation" er tænkt som et hurtigt og lettilgængeligt opslagsværk for alle, der arbejder med ventilation – hvad enten du er energirådgiver, vs-installatør, rådgivende ingeniør, arkitekt eller teknisk ansvarlig i boligforeninger, i industrien eller i en offentlig virksomhed/institution.

God og rigtig ventilation er jo ikke alene et spørgsmål om komfort, indeklima og arbejdsmiljø. Det er i høj grad også et spørgsmål om energiøkonomi og klimateffekt. Der kan spares rigtigt meget på energiregningen og CO₂-udslippet ved at tænke og handle energirigtigt, når ventilationsanlægget skal projekteres eller trænger til en renovering/udskiftning.

Derfor er der også mange råd og tips at hente i denne lille håndbog – som i øvrigt er 3. udgave. Den første udgav vi i forbindelse med den 3-årige spareventilator-kampagne i 2002. Denne udgave er forbedret med de erfaringer, vi har gjort os siden da, og med de nye krav, der er kommet til undervejs. Der er udarbejdet nye afsnit for emhætter til husholdning og ventilationsaggregater. Der er tilføjet resultater for færdiggjorte ELFORSK-projekter og tilknyttet en lang række beregningseksempler hertil.

Dansk Energi håber, at "Den lille blå om Ventilation" kan være med til at give større viden på ventilationsområdet, kvalificere rådgivningen og blive et nyttigt værktøj og undervisningsmateriale.

God arbejds- og læselyst!
Dansk Energi, ELFORSK

Jørn Borup Jensen *Dorte Lindholm*
Jørn Borup Jensen Dorte Lindholm

Ditte Mikkelsen
Ditte Mikkelsen

Hvis du vil vide mere

Dansk Energi
Vodroffsvej 59
1900 Frederiksberg C
Telefon 35 300 400
Du kan også kontakte dit energiselskab.
Klik ind på: elforsk.dk eller danskenergi.dk

Indholdsfortegnelse

01	Forord	3	7.2.2	Mellemtryksanlæg	51
02	Den lille blå om Ventilation	8	7.2.3	Højtryksanlæg.....	52
2.1	Forbrugerpotentiale	8	7.3	Lyddæmpere	60
03	Energibevist projektering	10	7.4	Spjæld	60
3.1	Planlægning og projektering	10	7.5	Filtre	62
3.2	Stil krav til entreprenøren – dokumentation ved aflevering af nyanlæg og service.....	11	7.6	Ventilatorer	65
04	Hvorfor ventilation?	14	7.6.1	Ventilationsaggregater	71
4.1	Termisk indeklima	14	7.7	Remtræk	71
4.2	Atmosfærisk indeklima (luftkvalitet)	22	7.8	Motorer.....	72
05	Behovsanalyse	24	7.9	Varmegenvinding	78
06	Ventilationsprincipper	28	7.9.1	Varmevekslere	80
6.1	Procesventilation	28	7.10	Indblæsningsarmaturer	85
6.1.1	Omslutningsprincippet.....	28	08	Vejledende nøgletal	88
6.1.2	Modtagerprincippet	30	8.1	Volumenstrøm	88
6.1.3	Gribeprincippet (herunder push-pull)	31	8.2	Tryktab	91
6.1.4	Mekanisk opsamling	34	09	Energiforbrug	93
6.1.5	Simpel udsugning.....	34	9.1	Energiforbrug til ventilationsaggregat	93
6.1.6	Valg af procesventilationsprincip	35	9.2	Den specifikke ventilatoreffekt	93
6.1.7	Emhætter til husholdninger.....	37	9.3	Energiforbrug til opvarmning af luft	96
6.2	Komfortventilation	38	9.4	Energiforbrug til nedkøling af luft	98
6.2.1	Opblandingsprincippet (fortyndingsventilation).....	39	9.5	Befugtning	101
6.2.2	Fortrængningsprincippet	40	10	Målinger – lufthastighed, tryk, effekt og virkningsgrad	102
6.3	Ventilationssystemer.....	44	10.1	Lufthastighed	102
07	Ventilationsanlægget	49	10.2	Tryk	104
7.1	Luftindtag og -afkast	49	10.3	Effekt	106
7.2	Kanalsystem.....	50	10.4	Virkningsgrad	107
7.2.1	Lavtryksanlæg	51	11	Energioptimal drift	111
			11.1	Styring og regulering	111
			11.1.1	On/off-regulering	111
			11.1.2	VAV-regulering	112

11.1.3	Regulering af indblæsningstemperatur	114
11.1.4	Regulering af rumtemperatur.....	118
11.2	VENT-ordningen	123

12	Test og valg af ventilationsaggregater	130
----	--	-----

13	Tjekskema for ventilationsanlæg	134
----	---------------------------------------	-----

13.1	Tjekskema for indeklima og ventilation i enfamiliehus	136
13.2	Tjekskema for ventilationsanlæg med varmegenvinding i enfamiliehus	138
13.3	Tjekskema for central ventilation med varmegenvinding i flerfamiliehus	141
13.4	Tjekskema for decentral ventilation med varmegenvinding i flerfamiliehus.....	146

14	10 gode råd	150
----	-------------------	-----

15	Andre kilder	151
----	--------------------	-----



2 Den lille blå om Ventilation

Et korrekt valg af ventilationsprincip, hensigtsmæssig opbygning af indblæsnings- og udsugningssystemerne samt korrekt valg af komponenter (ventilator, motor og styring) er vigtige faktorer for at opnå et lavt energiforbrug og et tilfredsstillende indeklima, såvel termisk som atmosfærisk i de ventilerede lokaler.

2.1 Forbrugerpotentiale

Energiforbruget til eksisterende ventilationssystemer udgør en stor del af det samlede energiforbrug i Danmark. Ud af et samlet årligt energiforbrug i industriens syv største brancher på 6.340 GWh udgør ventilationsforbruget 1.364 GWh. Potentialet ved at optimere systemerne er 290 GWh om året. Dertil kommer de mange unødvendige driftstimer og dårlig vedligeholdelse. Derfor er der god grund til at have fokus på anlæggets kerne, selve ventilatorerne – og naturligvis også på de andre komponenter, både hver for sig men også i samspillet mellem dem.

Den typiske besparelse ved at gennemgå et ældre anlæg og skifte til nye enheder med energieffektive ventilatorer og motorer er erfaringsmæssigt omkring 30 %. Men hvis man ved samme lejlighed får dimensioneret og indstillet anlægget korrekt, kan der opnås en besparelse på op til 40 %. Måske endog mere, hvis man f.eks. også vælger at skifte fra spjældregulering til regulering med frekvensomformere og en styring efter behov.

Når en virksomhed, entreprenør eller installatør står overfor at skulle installere eller renovere et ventilationssystem, er der brug for rådgivning om hvilket anlæg, der skal vælges af praktiske og økonomiske hensyn. Her vil Den lille blå om Ventilation være et godt redskab. Det vil den også være, når energiselskaberne skal varetage deres energisparforpligtigelse ved rådgivning af forbrugere om fordelene ved at reducere energiforbruget.

Bogen er et nyttigt opslagsværk, hvor nøgletal og principløsninger vil bidrage til at styrke viden om:

- Regler, love og bekendtgørelser, der er relevante for ventilationssystemer
- Dimensioneringsmæssige forhold, når man står overfor at skulle installere eller renovere et ventilationssystem
- Energimæssige og totaløkonomiske konsekvenser ved installation af egnede ventilationssystemer



3 Energibevidst projektering

3.1 Planlægning og projektering

Planlægning og projektering af ventilationssystemer er hyppigt en af de sidste aktiviteter ved opførelse 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 energibesparelses-potentialet på dette område undervurderes.

Praktiske erfaringer har imidlertid vist, at der uden væsentlige merinvesteringer kan opnås store driftsbesparelser, såfremt man fra den tidlige projekteringsfase systematisk vurderer mulighederne for at reducere energiforbruget.

Man bør stille sig selv følgende spørgsmål:

- Kan ventilationsopgaven reduceres (behovsanalyse)?
- Kan ventilationssystemet sektioneres/opdeles?
- Hvilke hovedkomponenter og parametre har størst indflydelse på energiforbruget, og er de tilpasset hinanden?
- Hvilken reguleringsform passer bedst til ventilationsopgaven?
- Hvad skal der tages hensyn til under detailprojekteringen?
- Hvordan indreguleres ventilationssystemet?
- Hvordan skal ventilationssystemet 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 projektforsløbet 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.

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 3.1 kan anvendes i forbindelse med energibevidst indkøb og projektering.

Få for eksempel entreprenøren til både at udarbejde tilbud på et ventilationssystem med en energieffektiv ventilator og modstrømsvarmeveksler og alternativt en lidt billigere løsning med en mindre effektiv ventilator og f.eks. krydsvarmeveksler for derefter at sammenligne deres LCC – Life Cycle Cost.

I tabellen ses et eksempel på en LCC-beregning for et eksisterende ventilationssystem med ventilatorer med F-hjul (remtrukne) og krydsvarmeveksler samt et nyt energieffektivt ventilationssystem med ventilatorer med B-hjul (direkte drevne) og modstrømsvarmeveksler. Den årlige driftstid er sat til 6.000 timer. Det fremgår, at man ved investering i den nye løsning vil opnå en økonomisk gevinst på 126.528 kr. i anlæggets levetid (20 år).



Eksempel 1 – LCC-beregning for to ventilationssystemer

LCC-beregning (Life Cycle Cost)	LCC = C _e + C _g + C _m	
Udfyldes af tilbudsgiver	Alternativ 1 – Eksisterende anlæg	Alternativ 2 – Nyt energieffektivt anlæg
	Ventilationssystem med ventilatorer med F-hjul (remtrukkne), krydsvarmeveksler og spejldregulering	Ventilationssystem med ventilatorer med B-hjul (direkte drevne), modsvarmeveksler og omdrejningsstalsregulering
Anlægspris i henhold til tilbud C _e	-	300.000 kr.
Udstyrets levetid: 20 år	-	-
Elpris: 0,80 kr./kWh	-	-
Varmepris: 600 kr./MWh	-	-

Driftsudgifter	Timer/år	Effekt [kW]	Energi [kWh]	LCC [kr.]	Effekt [kW]	Energi [kWh]	LCC [kr.]
Eforbrug ved fuld ydelse (100 %)	1.200	3,64	4.368	69.888	2,90	3.480	55.680
Eforbrug ved 75 % ydelse	1.800	2,68	4.824	77.184	1,72	3.096	49.536
Eforbrug ved 50 % ydelse	3.000	1,72	5.160	82.560	0,83	2.490	39.840
Eforbrug ved 25 % ydelse	0	-	-	-	-	-	-
Varmeforbrug ved fuld ydelse (100 %)	1.200	-	12.736	152.832	-	4.840	58.080
Varmeforbrug ved 75 % ydelse	1.800	-	11.685	140.220	-	4.415	52.980
Varmeforbrug ved 50 % ydelse	3.000	-	16.620	199.440	-	3.290	39.480
Varmeforbrug ved 25 % ydelse	0	-	-	-	-	-	-
Energionkostninger C _g	-	-	-	722.124	-	-	295.596
Service og vedligehold							
Service og vedligehold C _m	-			40.000			40.000
LCC – Life Cycle Cost							
LCC = C _e + C _g + C _m	-			762.124			635.596

Tabel 3.1. Tabel som kan anvendes i forbindelse med energibevist indkøb og projektering.

4 Hvorfor ventilation?

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

Konsekvenserne af dårligt indeklima kan vise sig som nedsat velbefindende og arbejdsevne. I værste fald kan et dårligt indeklima give svære lidelser.

Personer reagerer ofte forskelligt på de samme påvirkninger. Nogle er f.eks. mere følsomme over for kulde og træk, og andre påvirkes lettere af støv.

Typiske symptomer på dårligt indeklima er:

- Kulde og træk
- Overophedning
- Dårlig lugt
- Hovedpine og træthed
- Irritation i øjne, næse og hals
- Kvalme og svimmelhed
- Udslæt, rødme og kløe i huden

Indeklimaet kan opdeles i:

- Termisk indeklima
- Atmosfærisk indeklima

4.1 Termisk indeklima

Personers termiske opfattelse af omgivelserne er afhængig af følgende faktorer:

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

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

- Vertikal temperaturgradient
- Kolde eller varme gulve
- Asymmetrisk temperaturstråling

I tabel 4.1 ses eksempler på aktivitetsformer og dertil hørende aktivitetsniveauer i met.

Aktivitetsformer	[met]
Hvilende	0,8
Stillesiddende aktivitet (kontor, beboelse, skole, laboratorium)	1,2
Stående, middel aktivitet (butiksassistent, husligt arbejde, maskinelt arbejde)	2,0

Tabel 4.1. Metværdien ved forskellige aktivitetsformer:

DS/CEN/CR 1752 "Ventilation i bygninger – Projekteringskriterier for indeklimaet", specificerer tre forskellige kategorier af kvalitet af det termiske indeklima, som kan vælges opfyldt, når et lokale skal ventileres. Kategori A imødekommer et højt forventet niveau, kategori B et middel forventet niveau og kategori C et moderat forventet niveau. Hver kategori foreskriver en maksimal forventet procentdel af utilfredse for kroppen som helhed og for fire typer af lokalt ubehag.

Kvaliteten af det termiske indeklima afhænger af følgende fem faktorer:

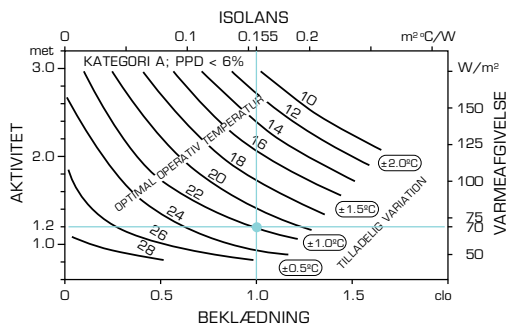
1. Den operative temperatur, som er middelværdien af luft- og middelstrålingstemperaturen. Middelstrålingstemperaturen defineres som en vægtet gennemsnitstemperatur af de tilstødende overfladers temperatur. Vægtningen foretages som vinkelforholdet mellem person og overflade. For mange typer af bygninger eller lokaler med moderate opvarmnings- eller kølebehov vil lufttemperaturen tilnærmelsesvis være lig med den operative temperatur.
2. Den vertikale lufttemperaturgradient, som er forskellen i lufttemperaturen mellem 0,1 og 1,1 meter over gulv.
3. Gulvets overfladetemperatur.

4. Luftens middelhastighed i opholdszonen.
5. Strålingsasymmetri, forårsaget af varmt loft eller kolde vægge (vinduer). Strålingsasymmetri defineres som forskellen mellem den plane strålingstemperatur på de to modsatte sider af et plan gennem personens tyngdepunkt.

I tabel 4.2 ses et eksempel fra DS/CEN/CR 1752. Kriterierne for den operative temperatur er baseret på et aktivitetsniveau på 1,2 (stillesiddende aktivitet) for en sommerbeklædning på 0,5 clo (underbukser, skjorte med korte ærmer, lette bukser, tynde strømper og sko) og en vinterbeklædning på 1,0 clo (underbukser, skjorte, bukser, jakke, sokker og sko).

Kriterierne for middellufthastigheden gælder for en turbulensintensitet på cirka 40 % (opblandingsventilation).

I figur 4.1 ses optimale operative temperaturer som funktion af aktivitet og beklædning for kategori A. I DS/CEN/CR 1752 ses tilsvarende figurer for kategori B og C.



Figur 4.1. Optimal operative temperaturer som funktion af aktivitet og beklædning for kategori A.

Bygning/ lokale	Kategori	Operativ temperatur [°C]		Maksimal Middellufthastighed [m/s]	Vertikal lufttempera- tur- gradient [°C]	Gulvets overflade- temperatur [°C]
		Sommer (kølesæson)	Vinter (fyringssæson)			
Storrumss- kontor	A	24,5 ± 1,0	22,0 ± 1,0	0,15	< 2	19 - 29
	B	24,5 ± 1,5	22,0 ± 2,0	0,18	< 3	19 - 29
	C	24,5 ± 2,5	22,0 ± 3,0	0,21	< 4	17 - 31

Bygning/ lokale	Kategori	Strålingsasymmetri [°C]		
		Kold væg	Koldt loft	Varm væg
Storrumss- kontor	A	< 10	< 14	< 23
	B	< 10	< 14	< 23
	C	< 13	< 18	< 35

Tabel 4.2. Tre forskellige kategorier af kvalitet af indeklimaet for et storrumskontor.

Eksempel 1 – Optimalt operativ temperatur

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, i figur 4.1, at den optimale operative temperatur er ca. 22 °C.

Endvidere ses, at den menneskelige varmeafgivelse kan aflæses til 70 W/m², og at isolansen for beklædningen er 0,155 m² °C/W.

Reduktion af tryktab på HVAC anlæg ved renovering og nyanlæg – ELFORSK-projekt nr. 340-033

I ELFORSK-projektet er der udviklet flere excel-værktøjer til ingeniører/rådgivere, hvor det ene beskriver, hvor meget døgnmiddeltemperaturen kan reduceres på de varmeste dage om året ved ændring af de termiske belastninger. Dette kan være ændringer af solindfald, reduktion af varme-tilskud fra belysningsanlæg og edb-udstyr samt antallet af personer i et lokale. Endvidere kan størrelsen af den ventilerede luftstrøm (udeluftmængden) ændres.

Værktøjet er baseret på den simple metode til beregning af døgnmiddeltemperaturen beskrevet i Indeklimahåndbogen (SBI-anvisning 196).

Eksempel 2 – Indetemperatur ud fra en varmebalance

Der foretages en beregning af døgnmiddeltemperaturen i juli måned i et kontorlokale på 19 m². Se figur 4.2. Ydervægsarealet er 14 m² og U-værdien for ydervæggen er 0,4 W/m²/°C.

Vinduesarealet er 3,4 m² og U-værdien for vinduerne er 2,9 W/m²/°C. Glasarealet udgør 2,9 m². Vinduernes orientering er øst/vest.

Solindfaldet er fundet til 3.650 Wh/m². Se tabel 4.3, som svarer til tabel 9.1 i værktøjet.

Afskærmningsfaktoren for vinduerne er 0,13. Døgnmiddelværdien af udetemperaturen er i samme tabel fundet til 21 °C. Variationen af udetemperaturen er fundet til 12 °C i samme tabel.

Døgnmiddelberegning		Copyright Christian Christensen, Teknologisk Institut, Jan. 2008	
Kum. A208	Beregningens område:	JUL	INPUT OUTPUT
Generelt	18 [m ²]		(se tekst vinduesareal)
Ydervægsareal	14 [m ²]		
U _{yv}	0,4 [W/m ² °C]		
Vinduesareal	3,4 [m ²]		
U _{vin}	2,9 [W/m ² °C]		
Glasareal	2,9 [m ²]		
Solindfald	3650 [Wh/m ²]		(fra tabel 9.1)
Afskærmningsfaktor	0,13 [-]		(1,12 - 0), værdien 0 svarer til 100% afskærmning
Udetemperatur, t _u	21 [°C]		(fra tabel 9.1 (døgnmiddelværdien af udelufttemperatur))
Typisk variation, Δt _u	12 [°C]		(fra tabel 9.1)
Indetemperatur, t _i	20,0 [°C]		(døgnmiddelværdien af ventilationstemperaturen)
Typisk variation, Δt _i	10,0 [°C]		(forskellen mellem maksimal og minimal indetemperatur)
Maksimalt anlægsbelastning	560 [W/m ²]		(fra tabel 9.3)
Rummet's akkumuleringskapacitet	12 [MJ/m ² °C]		(fra tabel 9.4)
Δt _u	3400 [Wh/m ²]		(automatisk fra formlen "Varmebelastning")
Udeluftmængde	170 [m ³ /h]		(ved t _u = 21 °C)
Lufthastighed	3,7 [m/s]		(ved t _u = 21 °C)
H ₁	15,5 [W/m ²]		(specifik varmeflue ved transmission)
H ₂	59,5 [W/m ²]		(specifik varmeflue ved ventilation)
G _{tot}	1370 [Wh/m ²]		(solindfald)
t _u	21 [°C]		(døgnmiddeltemperatur)
Q _{tot}	425 [W]		(se formlen "Varmebelastning")
Q _{tot}	211 [W]		(maksimal solindfald)
Q _{tot}	0 [W]		(se formlen "Varmebelastning")
Δt _u	424 [W]		(forskellen mellem største og mindste varme)
H _{tot} = H ₁	89,4 [W/m ²]		(specifik varmeflue ved ventilation og vinduer)
Δt _u	713 [W]		(døgnmiddeltemperatur i rummet)
H _{tot} + H ₂	15,0 [W/m ²]		(summet varme i rummet)
H _{tot}	228 [W/m ²]		(summet varme i rummet)
Δt _i	3,8 [°C]		(forskellen mellem den højeste og laveste indetemperatur)
t _i	21 [°C]		
t _i	21 [°C]		

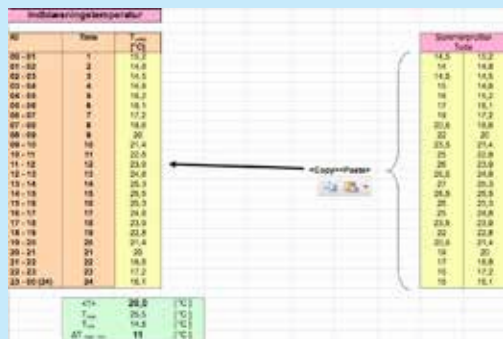
Figur 4.2. Døgnmiddel samt højeste og laveste rumtemperatur beregnet for et 19 m² lokale med øst/vest-orienterede vinduer.

Måned	Solindfald på en klar dag [Wh/m ²]				Udetemperatur [°C]	
	Døgnsum for vindue med orientering:				Maks. døgnmiddel	Typisk variation
	Syd	Øst/vest	Nord	Vandret		
Januar	2880	410	180	430	3,8	5,0
Februar	4150	1390	510	1420	4,2	6,0
Marts	4320	1990	710	2590	6,3	7,5
April	3840	3430	1210	4800	11,2	9,0
Maj	3140	3720	1530	5450	15,9	11,5
Juni	3520	3560	1730	5780	20,0	12,0
Juli	2760	3650	1610	5540	21,0	12,0
August	3500	2780	1110	3790	20,5	11,0
September	3410	1990	770	2930	16,9	9,0
Oktober	3740	1340	520	1610	13,7	7,0
November	3050	700	260	700	10,0	6,0
December	2160	280	130	310	6,0	5,0

Maksimalt værdier af døgnsum for solindfald gennem normal 2 - lags rude beregnet med edb - programmet tsb3 ud fra Referencerets vejrdata samt værdier for maksimal døgnmiddel og typiske døgnvariationer af udetemperaturen på klare dage i de enkelte måneder ud fra 15 års vejrdata.

Tabel 4.3. Varmebelastninger i Wh/m² forårsaget af solindfald samt maksimal døgnmiddeltemperatur i °C.

Døgnmiddelværdien af ventilationsluftens indblæsningstemperatur er beregnet til 20 °C. Se figur 4.3, som svarer til tabel 9.5 i værktøjet. Variationen af ventilationsluftens indblæsningstemperatur er fundet til 11 °C i samme figur.



Figur 4.3. Beregnet gennemsnitlig indblæsningstemperatur over døgnet samt min. og maks indblæsningstemperaturer.

Den maksimale solbelastning er fundet til 560 W/m². Se tabel 4.4, som svarer til tabel 9.3 i værktøjet.

Måned	Syd		Vest/vest		Nord		Vandret		Temperatur Maks. [°C]
	Maks. [W/m²]		Maks. [W/m²]		Maks. [W/m²]		Maks. [W/m²]		
Januar	750	170	40	100	5,5				
Februar	740	450	60	270	8,5				
Marts	650	500	100	400	9,5				
April	610	620	120	590	20,6				
Maj	510	610	150	690	24,8				
Juni	440	580	170	690	25,2				
Juli	460	580	180	640	27,4				
August	540	510	140	570	28,8				
September	560	410	110	440	21,4				
Oktober	680	400	70	320	18,0				
November	600	280	50	190	10,2				
December	620	120	30	70	7,5				

Maksimalt timemiddelværdier af solindfald gennem normal 2 - lejs rude og maksimal udeførelse. Beregnet med edb - programmet tab3 fra Referencelæres vejrdato. Ved benyttelse af talværdierne er det vigtigt at tage hensyn til eventuelle skyggeforhold samt solafvikning i det aktuelle tidsfelt.

Tabel 4.4. Varmbelastninger fra sol i W/m² på forskelligt orienterede vinduesflader.

Rummets akkumuleringsevne er fundet til 12 W/°C/m². Se tabel 4.5, som svarer til tabel 9.4 i værktøjet.

Rumbetegnelse	Beskrivelse	Akkumuleringsevne [W/°C] pr. m² gulv
Ekstra let	Rum med lette skillevægge, fx skolest med beklædningsplader og helt uden tunge konstruktionsdele	5 - 6
Middel let	Rum med indvendige vægge af letbeton og kun uvæsentlige tunge konstruktionsdele	7 - 9
Middel tungt	Rum med én tung, dominerende konstruktion, fx beton loft eller 2 - 3 konstruktioner af tegl	10 - 12
Ekstra tungt	Rum med flere frie, tunge konstruktioner, fx betondek og -loft samt skillevægge af tegl eller letbeton	13 - 15

Overlagsmæssige værdier for et rumms varmeakkumuleringsevne udtrykt i W/°C pr. m² gulvareal. Forudsætning: maksimalt 12 timers belastning pr. døgn.

Tabel 4.5. Akkumuleringsevne for lette og tunge bygninger.

Udeluftmængden er angivet til 175 m³/h. Se figur 4.2.

Den største samlede interne varmebelastning over døgnet er beregnet til 425 W i fanebladet "Varmebelastning" i værktøjet. Se figur 4.4.

Den mindste samlede interne varmebelastning over døgnet er beregnet til 0 W i fanebladet "Varmebelastning" i værktøjet. Se figur 4.4.

Timeværdier for interne varmebelastninger						INPUT	OUTPUT
Kl	Time	Udstyr [W]	Personer [W]	Lys [W]	Maks [W]		
00-01	1	0	0	0	0		
01-02	2	0	0	0	0		
02-03	3	0	0	0	0		
03-04	4	0	0	0	0		
04-05	5	0	0	0	0		
05-06	6	0	0	0	0		
06-07	7	0	0	0	0		
07-08	8	200	200	25	425		
08-09	9	200	200	25	425		
09-10	10	200	200	25	425		
10-11	11	200	200	25	425		
11-12	12	200	200	25	425		
12-13	13	200	200	25	425		
13-14	14	200	200	25	425		
14-15	15	200	200	25	425		
15-16	16	0	0	0	0		
16-17	17	0	0	0	0		
17-18	18	0	0	0	0		
18-19	19	0	0	0	0		
19-20	20	0	0	0	0		
20-21	21	0	0	0	0		
21-22	22	0	0	0	0		
22-23	23	0	0	0	0		
23-00 (24)	24	0	0	0	0		
						1800	1600 200 425
						BQ:	3405 [Wh/døgn]
						Inventar:	
						Udstyr:	2 stk. PC
						Personer:	2 personer
						Lys:	Kun særbelysning tændt

Figur 4.4. Varmebelastninger fra udstyr, personer og belysningsanlæg.

Døgnmiddeltemperaturen er beregnet til 22,9 °C. Se figur 4.2, og variationen ligger fra en minimumsværdi på 21,0 °C til en maksimumsværdi på 24,7 °C. Se figur 4.2.

Ifølge DS 1752 må variationen på en varm sommerdag (i et enkeltmandskontor, kategori A) ligge mellem 23,5 °C og 25,5 °C. I dette eksempel ligger døgnmiddeltemperaturen altså tæt på dette. Afvigelsen i dette eksempel er således kun ca. 0,6 °C (23,5 °C – 22,9 °C).

Værktøjet til beregning af varmebalancen findes her:

<http://www.miljorigtigtindeklima.dk/ingenioer/vaerktoej/varmebalancen.aspx>

4.2 Atmosfærisk indeklima (luftkvalitet)

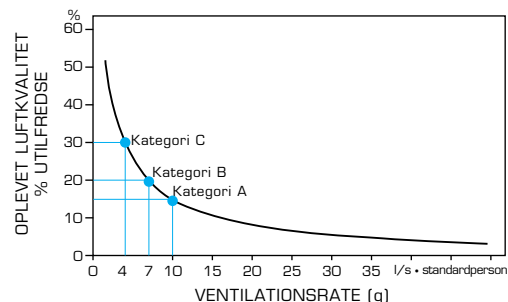
Personers opfattelse af det atmosfæriske indeklima afhænger af følgende faktorer:

- 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 DS/CEN/CR 1752".

DS/CEN/CR 1752 specificerer tre forskellige kategorier af kvalitet af det atmosfæriske indeklima, som kan vælges opfyldt, når et lokale med menneskelig forurening (bioeffluenter), f.eks. CO₂, vanddamp og lugte med udåndingsluften, skal ventileres. Den ønskede oplevede luftkvalitet i et lokale kan vælges blandt de tre kategorier A, B og C vist i figur 4.5.



Figur 4.5. Procent utilfredse standardpersoner (en alf) ved forskellige ventilationsrater.

Atmosfærisk indeklima omhandler indeluftens renhed, oftest udtrykt ved koncentrationen af luftens forurenende komponenter. Koncentrationen kan være konstant (stationære forhold) eller den kan variere med tiden fordi forureningen opstår og forsvinder i forskellig takt.

Eksempel 3 – Luftmængde for godt indeklima

Anlægget er et kategori A anlæg. Ved hjælp af figur 4.5 kan udeluftmængden bestemmes til 10 l/s pr. person. Den samlede udeluftmængde bliver da:

$$6 \text{ personer} \cdot 10 \text{ l/s pr. person} = 60 \text{ l/s.}$$

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

5 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 ekstra.

En behovsanalyse bør udføres så tidligt som muligt i projektføreløbet, 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.

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 driftssikkerhed, kvalitet m.v., og som totalt set er mere økonomiske.

En ventilationsopgave kan helt undgås, hvor:

- Anvendelse af et sundhedsskadeligt opløsningsmiddel skal erstattes med et ikke-sundhedsskadeligt produkt til samme opgave.
- Naturlig ventilation erstatter mekanisk ventilation (husk at modregne den manglende varmegenvinding ved naturlig ventilation).

- Kilder til forurening eller varmebelastning kan fjernes fra rummet.
- Fjernelse af støv, partikler eller materialer o.lign. kan ske på anden vis.
- En eksisterende ventilationsløsning kan dække flere behov.

Man reducerer den givne ventilationsopgave ved:

- At etablere et samlet overblik over ventilationsopgavens omfang og få skønnet energiforbruget.
- 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 sektionsopele 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 leverandører 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 punktsugninger
 - Anvende sugemundstykker med flanger
 - Foretage sektionsopele
 - 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 brug af flygtige opløsningsmidler

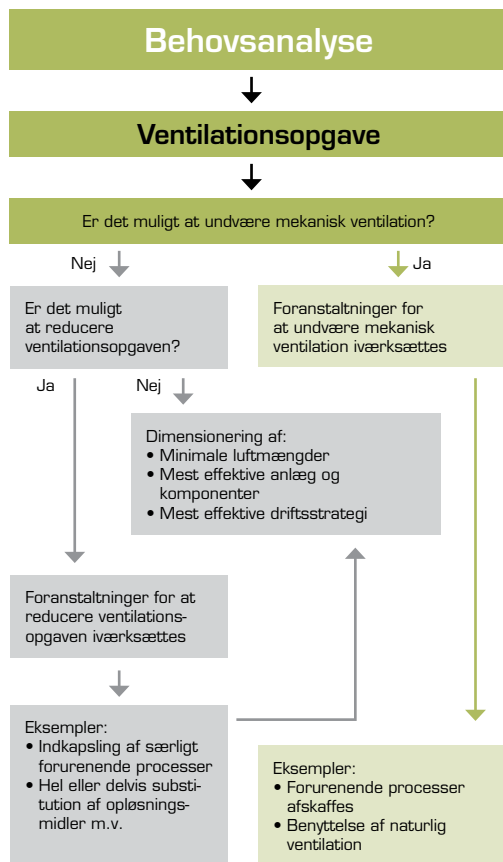
Er det nødvendigt at opvarme ventilationsluften, bør det i størst muligt omfang ske ved at genvinde varme fra udsugningsluft, kondensatorvarmen fra køleanlæg, tryklufthanlæg eller procesudstyr.

Behovsanalysen bør godtgøre, hvorledes procesens 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.

I figur 5.1 vises forløbet ved en behovsanalyse, som kan anvendes ved energirigtig projektering og analyse af eksisterende anlæg.



Figur 5.1. Forløbet ved behovsanalyse.

6 Ventilationsprincipper

Ventilationsprincipperne kan opdeles i to hovedgrupper:

1. Procesventilation omhandler lokal ventilation (udsugning) fra processen/madlavningen. Procesventilationen skal hindre forureninger og varme i at trænge ud i selve arbejdslokalet, så komfortventilationen må øges betydeligt.
2. Komfortventilation omhandler ventilation (indblæsning) til arbejds- og opholdszonen. Komfortventilationen skal opretholde et indeklima, som er tilfredsstillende for personer, og samtidig opfylde processens og personens krav til temperatur og eventuelt relativ fugtighed.

Renrumsventilation foregår i 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 fem metoder eller principper, som kan anvendes ved procesventilation:

- Omslutningsprincippet
- Modtagerprincippet
- Gribeprincippet
- Mekanisk opsamling
- Simpel udsugning

6.1.1 Omslutningsprincippet

Ved omslutningsprincippet er processen helt eller delvist indkapslet, og der suges fra indkapslingen, så forureningen ikke kommer ud i det omgivende lokale. Ofte vil det kun være nødvendigt at udsuge små luftmængder for at opretholde et lille undertryk i indkapslingen.

Omslutningsprincippet anvendes primært i forbindelse med udsugning fra processer, hvor der udvikles dampe/gasser, der kan være sundhedsskadelige, og hvor det derfor er vigtigt at udsug-

ningen er meget effektiv, f.eks. i forbindelse med maleprocesser. Derudover anvendes omslutningsprincippet ved varmeafgivende processer som f.eks. smeltning. Ved omslutningsprincippet kan der være tale om:

- Total indkapslet proces
- Delvist indkapslet proces

Total indkapslet proces

Set i forhold til udsugningseffektivitet og energiforbrug er det bedst at indkapsle den forurenende proces. Der skal kun opretholdes et svagt undertryk i indkapslingen for at fjerne forureningen effektivt, og den udsugede luftmængde kan derved være meget lille. I visse tilfælde vil det være hensynet til varmeafgivelse, eksplosionsfare og minimum bærehastighed i kanalsystemet, som vil være dimensionerende for den udsugede luftmængde. Som eksempel kan nævnes drejebænke og plaststøbemaskiner. Se figur 6.1.



Figur 6.1. Total indkapslet proces (lukkede kabinetter).

Delvis indkapslet proces

Når det ikke er muligt at foretage en total indkapsling, kan processen indkapsles delvist, dvs. at den ene af de seks sider i indkapslingen er helt eller delvist åben. Eksempler på delvis indkapsling er en malekabin og et stinkskab, hvor kun den side, der har front mod operatøren, er åben. I åbningen opretholdes tilstrækkelig hastighed til, at forureningen ikke undslipper udsugningen. Det er vigtigt, at udsugningen fra indkapslingen udformes, så der skabes en ensartet lufthastighed over hele det åbne areal. Indløbsforholdene (kanterne i indkapslingen) udformes, så forureningen holdes i indkapslingen, og hastigheden i det åbne areal holdes så lav som mulig. Se figur 6.2. Delvis indkapsling af processen er den mest benyttede metode.



Figur 6.2. Delvis indkapslet proces (stinkskab).

6.1.2 Modtagerprincippet

Modtagerprincippet er bedst egnet til varme forureningskilder. Ved modtagerprincippet vil emitterede gasser, varme eller fine partikler bringes fra forureningsstedet og til udsugningen ved egen kraft, hvorfra de udsuges. Gasser og varme bringes til udsugningsstedet enten ved opdrift som følge af vægtfyldeforskel i forhold til den omgivende luft eller ved termisk opdrift, mens partikler bringes til udsugningen, hvis de er i bevægelse mod udsugningen. Der kan være tale om processer som f.eks. støbemaskiner, smelteovne/-kar, bade, svejseprocesser og stege-/kogeprocesser.

Hvis der emitteres gasser/dampe eller partikler under isoterme forhold og med små hastigheder er placeringen af udsugningen ikke kritisk. Hvis der derimod er en betydelig termisk belastning vil den varme forurening (også kaldet termisk plumen) hurtigt stige til vejrs som følge af den termiske opdrift, og det kan være svært at indfange (gribe) forureningen. Det er forbundet med betydeligt energiforbrug, da der skal arbejdes mod de termiske kræfter. Derfor er udsugningen fra varme forureningskilder stort set altid placeret over kilden, idet den termiske opdrift selv bringer forureningen ind i udsugningen. Se figur 6.3.



Figur 6.3. Modtagerprincippet (smelteproces).

6.1.3 Gribeprikkippet (herunder push-pull)

Gribeprikkippet er bedst egnet ved uopvarmede forureningskilder. Ved gribeprikkippet indfanges og fjernes forureningen fra en proces ved at skabe en så kraftig luftbevægelse ved forureningen at den ledes til udsugningen. Princippet bruges bl.a. til at fjerne træ- og metalstøv samt dampe fra processer. I nogle tilfælde er det på grund af pladsforhold nødvendigt at anvende gribeprikkippet ved varme

forureningskilder. Ved svejseprocesser er der tale om en kombination af gribe- og modtagerprincippet, da svejserøgen er varm og stiger til vejrs. Se figur 6.4.

Uanset hvilken type forurening der er tale om, er det altid vigtigt, at punktudsug så vidt muligt er placeret, således at forureningens eventuelle bevægelse er rettet mod udsugningen. Desuden skal punktudsug placeres så tæt på kilden som muligt, selvfølgelig under hensyntagen til udførelsen af arbejdsprocessen. Udsug efter gribeprincippet kan give anledning til høje udsugede luftmængder. Ud fra et energioekonomisk – og også arbejdsmiljømæssigt – synspunkt bør udsugninger derfor udformes efter omslutnings- eller modtagerprincippet.

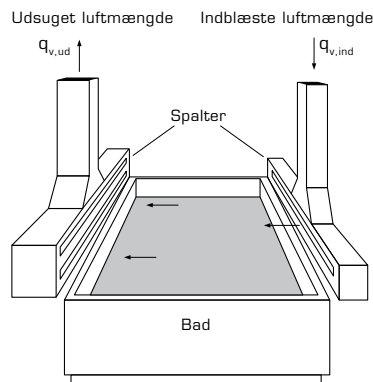


Figur 6.4. Billedet viser gribeprincippet (svejning).

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. Se figur 6.5.



Figur 6.5. Push-pull system.

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 strømmingen mod udsugningsåbningen, og volumenstrømmen i strålen ved udsugningen vil derfor være større end den indblæste volumenstrøm.

Fordelen ved et push-pull system er, at indblæsningsstrålen kan opretholde høje lufthastigheder 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.

En af ulemperne ved push-pull er, at store objekter vil afbryde strålen, når de sænkes i eller løftes op af badet og dermed ødelægge systemets funktion. Luftstrålen vil også forøge hastigheds- og turbulensniveauet ved væskeoverfladen og dermed fordamningen og varmetabet fra varme bade.

6.1.4 Mekanisk opsamling

Mekanisk opsamling er bedst egnet ved dynamiske forureningskilder og anvendes ved processer, hvor der afgives store partikler ($d_p \geq 10 \mu\text{m}$), som spredes ved at de kastes eller blæses væk fra bearbejdningspunktet. Et eksempel på dette ses i figur 6.6, som viser en båndsliber.

Punktudsugtet er placeret og udformet således at partiklerne kastes ned i et gnistfang, hvor de samles i bunden. Mindre (respirable) partikler og dampe kastes også ned i gnistfanget og suges ud.



Figur 6.6. Mekanisk opsamling fra en båndsliber.

6.1.5 Simpel udsugning

Simpel udsugning anvendes ved processer, hvor der afgives dampe og gasser samt små partikler ($d_p \leq 10 \mu\text{m}$). Udsugningsprincippet anvendes i forbindelse med fortyndingsventilation. Forurening søges fortyndet med den indblæste ventilationsluft, og den forurenede luft suges ud med et simpelt udsugningssystem. Princippet benyttes ved både varme og uopvarmede forureningskilder, men er energimæssigt uegnet, da der udsuges meget store luftmængder sammenlignet med modta-

ger- og gribeprincippet. Simpel udsugning kan ikke benyttes i forbindelse med dynamiske forureningskilder. Eksempelvis kan simpel udsugning ske fra tagventilatorer i et lokale med en smelteovn. Se figur 6.7.



Figur 6.7. Simpel udsugning (tagventilatorer) fra en smelteovn markeret med pile.

6.1.6 Valg af procesventilationsprincip

Energimæssigt har det stor betydning hvilket procesventilationsprincip, der benyttes. Eksempelvis ses det i tabel 6.1, at det vil være u hensigtsmæssigt at benytte gribeprincippet i forbindelse med store varmekilder og dynamiske kilder (røde felter).

For uopvarmede (kolde) kilder samt både små og store varmekilder kan det ikke anbefales at anvende simpel udsugning (mørkerøde felter). Det skyldes, at der skal bruges meget store udsugede luftmængder for at fjerne forureningerne. Dette medfører store elforbrug til drift af ventilatorerne.

De hvide felter indikerer, at ventilationsprincippet er uegnet til kildetypen.

VENTILATIONSPRINCIPPER					
Kildetype	Omslutnings-princip	Modtager-princip	Gribe-princip	Mekanisk opsamlng	Simple udsugning
Uopvarmede (kolde) kilder	Grøn		Gul		Rød
Små (punkt) varmekilder	Grøn	Gul	Orange		Rød
Store varmekilder	Grøn	Gul	Rød		Rød
Dynamiske kilder	Grøn		Rød	Rød	
Lille Energiforbrug Stort					

Tabel 6.1. Sammenhængen mellem forureningskilde, ventilationsprincip og energiforbrug. De hvide felter indikerer, at princippet er uegnet til kildetypen.

6.1.7 Emhætter til husholdninger

Der er ECO-design- og energimærkningskrav til emhætter til husholdninger, som der er gjort nærmere rede for på Energistyrelsens hjemmeside. Nedenfor er tidsplanen for indførelse af de forskellige krav nævnt.

ECO-designkrav

Siden den 20. februar 2015 har der været ECO-designkrav til emhætter til husholdninger. Kravene omfatter energieffektivitet, hydraulisk effektivitet og lysstyrke på kogepladen, hvis emhætten har indbygget lys. For emhætter med en luftstrøm på over 650 m³/h er der yderligere krav om automatisk reduktion af luftstrømmen.

Der er grænser for forbrug i standby og slukket tilstand og krav om energistyring.

Endelig er der krav om angivelse af en række oplysninger i brugsvejledningen og på leverandørens hjemmeside, herunder krav om oplysning af årligt energiforbrug, energieffektivitetsindeks, hydraulisk effektivitet, lysstyrke og standby forbrug. På en del af leverandørens hjemmeside målrettet professionelle skal der desuden være informationer relevante for vedligeholdelse, genanvendelse og bortskaffelse.

Reglerne betyder, at produkter, der ikke opfylder kravene til energieffektivitet mv., ikke må markedsføres inden for EU/EØS. Læs mere om producenter og importører under kravene.

Kravene indføres i flere trin. Kravene til energieffektivitet og hydraulisk effektivitet har været gældende siden den 20. februar 2015 og skærpes i 2017 og 2019.

Energimærkning

Siden den 1. januar 2015 har emhætter til husholdning skullet have et trykt energimærke med en skala fra A – G, hvor A er mest energieffektiv. Skalaen er revideret i 2016 og revideres igen i 2018 og 2020, så der kommer mere og mere ambitiøse

energiklasser i toppen af skalaen. Fra den 1. januar 2020 skal mærket have en skala med A+++ som den bedste energiklasse.

Leverandøren kan, hvis det ønskes, anvende energimærket for den efterfølgende periode. Det vil sige, at leverandøren siden den 1. januar 2015 har kunnet anvende et energimærke med skalaen for A+ – F og siden den 1. januar 2016 har kunnet anvende et energimærke med en skala fra A++ – E.

I tabel 6.2 er tidsplanen for introduktion af kommende energieffektiviseringsklasser for mærket angivet.

Tidspunkt	Energieffektivitetsklasser på mærket
Siden 1. januar 2015	A – G eller A+ – F
Siden 1. januar 2016	A+ – F eller A++ – E
Fra 1. januar 2018	A++ – E eller A+++ – D
Fra 1. januar 2020	A+++ – D

Tabel 6.2. Tidsplan for introduktion af energieffektivitetsklasser på mærket.

Oplysninger på energimærket er energieffektivitetsklassen, årligt energiforbrug og støjniveau. Endvidere er der angivelse af hydraulisk effektivitet, belysningseffektivitet og fedtrenings effektivitet på en skala fra A – G.

Siden den 1. april 2015 har leverandørerne skullet stille yderligere et elektronisk energimærke og datablad til rådighed for forhandlere. Forhandlere skal sørge for at synliggøre det elektroniske energimærke og datablad, når emhættterne udbydes til salg på internettet.

6.2 Komfortventilation

Dette afsnit adskiller sig fra procesventilation, da komfortventilation omhandler ventiler for at skabe passende klimatiske forhold for de personer, som arbejder med de industrielle processer eller i kontorlokaler. For at forbedre komfortventilationen skal det termiske og atmosfæriske indeklima

forbedres med hensyn til luftens temperatur, fugtighed og luftens indhold af fremmede/skadelige stoffer og partikler.

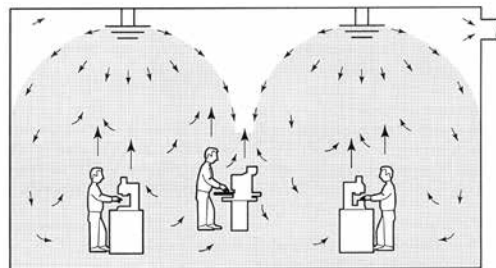
Ved komfortventilation er der to indblæsningsprincipper, som kan anvendes:

- Opblandningsprincippet
- Fortrængningsprincippet

6.2.1 Opblandningsprincippet (fortyndingsventilation)

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

Opblandningsprincippet er anvendeligt på virksomheder med moderate forureningsemissioner og konvektionsstrømme fra processer og apparater. Opblandningsventilation kaldes også fortyndingsventilation, da forureningen søges fortyndet med den indblæste ventilationsluft. Se figur 6.8.



Figur 6.8. Opblandningsprincippet.

Ved kraftige forureningsemissioner og store konvektionsstrømme er opblandningsprincippet ikke anvendeligt, da der skal indblæses betydelige mængder udeluft for at opnå en tilfredsstillende fortynding. Kraftige og store konvektionsstrømme vil ødelægge strømningsbilledet i lokalet. Hvis der afgives megen varme fra processer, apparater eller store forsamlinger af personer, skal der bruges store luftmængder for at reducere temperaturen i opholdszonen, og opblanding er derfor ikke velegnet.

Opblandingsprincippet er særdeles påvirkeligt overfor tværstrømme i bygningen. Tværstrømmene kan forårsage, at den indblæste luftmængde går direkte over i udsugene, dvs. der opstår kortslutning. Ved anvendelse af opblandingsprincippet kan der maks. fjernes en varmebelastning på 100 W/m^2 . Opblandingsprincippet vil derfor med fordel kunne anvendes ved processer og i kontorlokaler uden væsentlige varmeafgivere og emissioner.

Dyse indblæsning

Visse bearbejdningsprocesser f.eks. maling af vindmøletårne kræver ensartet ventilering i hele længderetningen ofte med relativ store luftmængder.

Opgaven kan løses ved at indblæse luft med dyser. Følgende fordele kan nævnes:

- En enklere, mere fleksibel og billigere installation i loftet, idet der kun skal føres én hovedkanal op til indblæsningskanalen i modsætning til armaturindblæsning, som både kræver en hovedkanal og mange fordelingskanaler foruden selve armaturerne. Indblæsningskanalen er i mange tilfælde placeret tæt på loftet.
- Der kan skabes en retningsbestemt indblæsning ned mod eksempelvis vindmøletårnet.
- Indblæsningen sker med lav bevægelsesmængdeimpuls og uden stor turbulens.
- Mulighed for efterfølgende at finjustere på luftretningen ved at dreje indblæsningsdyserne.

Udsugningen vil altid være ved gulvniveau eller i opholdszonen.

6.2.2 Fortrængningsprincippet

Hvis der er et stort varmeoverskud samt termiske forureninger i lokalet vil ventilering efter fortrængningsprincippet være at foretrække.

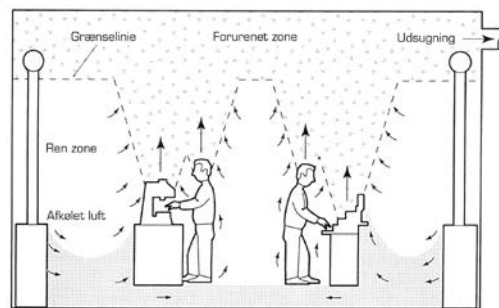
Ved fortrængningsprincippet tilstræbes en "skæv" fordeling af varme og forurening i rummet, så luften i opholdszonen bliver renere og køligere end højere

oppe i lokalet.

Konvektionsstrømmene fra de termiske kilder i lokalet udnyttes. Det sker ved, at indblæsningsluften flyder hen over gulvet og ved opvarmning fra 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 anvendeligt på virksomheder med kraftige forureningsemissioner eller konvektionsstrømme fra processer eller apparater. Se figur 6.9. En ulempe er, at princippet er pladskrævende, da indblæsningsarmaturerne skal placeres på gulvet. For at opnå den ønskede virkning, skal luften kunne flyde hen over gulvet uden forhindringer i retning mod varme- eller forureningskilderne. Det kan på mange virksomheder være et problem. Der kan maks. fjernes en varmebelastning på 100 W/m^2 .



Figur 6.9. Fortrængningsprincippet.

Lokal lavimpuls indblæsning

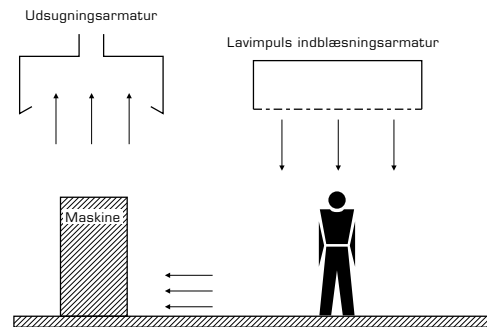
I de senere år er der foretaget en række vellykkede undersøgelser af mulighederne for at anvende lokal lavimpuls indblæsning ved industrielle processer med kraftige forureningsemissioner og store konvektionsstrømme. Lokal lavimpuls indblæsning udnytter den klassiske fortrængningsventilations fordele og kompenserer for dens ulemper med hensyn til optagelse af plads. Se figur 6.10.

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.

Lokal lavimpuls indblæsning kan anvendes ved termisk varme- og ved termisk neutrale processer.

Vælger man at benytte lokal lavimpuls indblæsning, skal man 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 er 400 W/m^2 .



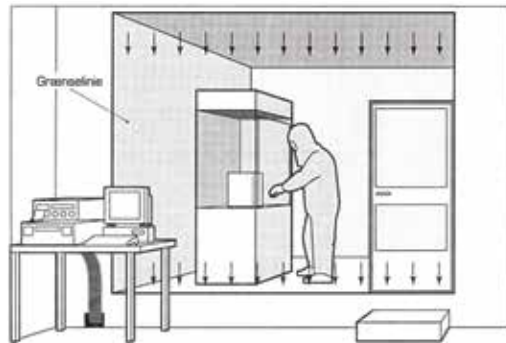
Figur 6.10. Princippet i lokal lavimpuls indblæsning.

Renrumsventilation

Renrumsventilation designes typisk med høje luftmængder, som sikrer, at partikelemissioner i renrummet minimeres. Dermed er energiforbruget til ventilation stort især til drift af ventilatorer, men også til opvarmning, køling, affugtning og befugtning. Der er et stort potentiale for energibesparelser ved energibevidst projektering.

Der anvendes typisk opblandingsventilation til at sikre renheden i de mest belastede renrumsklasser.

Hvis rumadskillelse mellem renrumsklasser ikke er mulig, kan en lokal enhed med stempelfortrængning anvendes med energimæssig fordel til at sikre en ren zone i et lokale, frem for at etablere renrum i hele lokalet. Se figur 6.11.



Figur 6.11. Stempelfortrængning.

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 farmaceutisk produktion, at lufthastigheden omkring produktet er ca. 0,45 m/s.

Anvendelse af stempelprikket ved lavere hastigheder på f.eks. 0,2 m/s vil imidlertid ofte kunne sikre en meget høj renhed omkring produktet.

6.3 Ventilationssystemer

Der eksisterer to grundlæggende ventilationssystemer nemlig CAV (Constant Air Volume) anlæg og VAV (Variable Air Volume) anlæg. Dertil kommer MAV (Modular Air Volume) anlæg, som er optimerede CAV-anlæg.

1. CAV-anlæg er ventilationssystemer med konstant volumenstrøm. Systemet kan vælges, hvis den parameter (f.eks. emissioner til rumluften eller varmebelastning) som er dimensionsgivende for den nødvendige luftmængde, ikke varierer mere end 10 % inden for ventilationsanlæggets driftstid over døgnet eller året.
2. VAV-anlæg er ventilationssystemer med variabel luftstrøm. Anlæggene regulerer luftmængden efter det aktuelle behov. Dette kan ske ved variationer i varme- og forureningsbelastninger fra industriens processer eller i kontorer med variabel belastning fra apparater og solindfald.

Med et VAV-anlæg er det muligt at opnå meget store energibesparelser i forhold til et CAV-anlæg. Hvis luftmængden halveres ved omdrejningsregulering af ventilatoren, vil elforbruget til driften kunne reduceres med op til 82 %. Se figur 11.1.

Effektbehovet afhænger i praksis af luftmængden i ca. 2,5 potens i almindelige ventilationsanlæg med filtre og varmeblæser. Hertil kommer energibesparelserne ved reduceret behov for opvarmning og eventuel køling, befugtning og affugtning af luften.

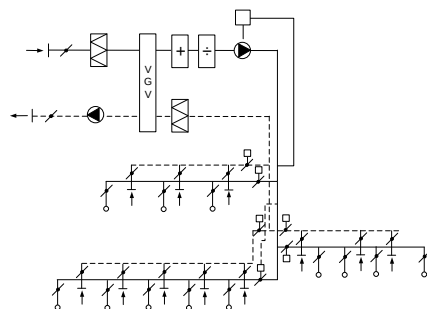
Modulerende ventilation – ELFORSK-projekt nr. 341-013

Mange eksisterende kontorbygninger er forsynet med komfortventilation, der kun kan reguleres i begrænset omfang (CAV), og som derfor medfører et højt energiforbrug, når der skal sikres et acceptabelt indeklima.

Mere moderne bygninger benytter generelt et VAV-anlæg med flere reguleringsparametre, der giver betydelige energibesparelser. På grund af den nødvendige investering kan det ikke betale sig at erstatte CAV-anlæg med et fuldt VAV-anlæg.

I ELFORSK-projektet "Modulerende ventilation – low cost VAV – til kontorbygninger" var målet derfor at kortlægge potentialet i at optimere eksisterende CAV-anlæg til et modulerende VAV-anlæg (MAV-anlæg) med forbedret design af armaturer og kanalopbygning. Et sådant anlæg ville med en hensigtsmæssig reguleringsstrategi kunne forbedre komfortniveauet med et væsentligt lavere energiforbrug.

Projektet resulterede i et koncept for ombygning af eksisterende CAV-anlæg til et modulerende low-cost VAV-anlæg (MAV-anlæg). Konceptet bygger på, at hele det ventilerede område kan inddeles i passende indeklimazoner, der hver har nogenlunde samme indeklimabehov. Se figur 6.12.



Figur 6.12. MAV-anlæg med tre indeklimazoner.

Konceptet består af følgende elementer:

- Et billigt lavtryks indblæsningsarmatur, der kan håndtere modulerende ventilation med en høj effektivitet.
- Et renoveringskit til eksisterende statisk indblæsningsarmatur.
- En overordnet reguleringsalgoritme til styring af det atmosfæriske og termiske klima baseret på en såkaldt "MIMO-styring".

MIMO-styringen indeholder Multiple Input (rumtemperatur, udsugningstemperatur, CO₂-koncentration, solindfald, infrarøde følere) og Multiple Output (styring af indblæsningstemperatur, volumenstrøm, evt. solafskærmning, udnyttelse af naturlig ventilation).

Styringsstrategien for spjældene til de enkelte zoner er således, at der altid er mindst et spjæld, der står 80-85 % åbent. Denne styringsstrategi har vist sig at være mere energioptimal end en konstant trykstyring.

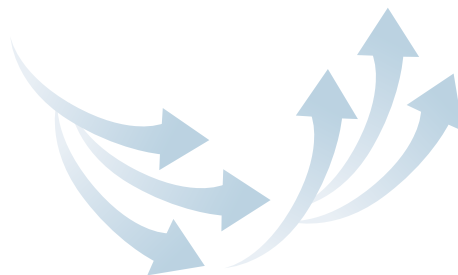
Som supplement til MAV-konceptet blev der udviklet en prototype for et særligt avanceret armatur, der kan bruges til individuelt at regulere indeklimaet i et enkelt lokale som supplement til den modulerende ventilation.

Armaturet, der betegnes som Termisk Modulerende Armatur med Coanda bundplade (TMAC), benytter en termohydraulisk cylinder, der reguleres simpelt ved hjælp af en temperaturfølsom voks i cylinderen.

Det nyudviklede modulerende TMAC-armatur og de forbedrede statiske armaturer er således sat i produktion hos Halton, bl.a. til brug i ventilationsløsninger i industrikøkkener.

Det vurderes, at besparelspotentialet ved en ændring af eksisterende CAV-anlæg til modulerende low-cost VAV-anlæg (MAV-anlæg) samt an-

vendelse af de nyudviklede ventilationsarmaturer (TMAC) vil udgøre ca. 85 GWh el og knap 400 GWh varme. Derfor er det et oplagt indsatsområde for energirådgivere og ventilationsentreprenører. En sidegevinst vil være et bedre indeklima.



Eksempel 4 – Modulerende ventilation som erstatning for konstant ventilation

Følgende er målt på et CAV-anlæg hos Velux:

Konstant luftmængde: $q = 16.900 \text{ m}^3/\text{h}$
Virkningsgrad på roterende varmeveksler: $\eta = 0,70$
Årlig driftstid: $\tau = 3.120 \text{ timer}$

Energipriser:

Varme: 0,80 kr./kWh

El: 2,00 kr./kWh

Årlige udgifter i før-situationen:

Varmeflade: 58.000 kWh/år
svarende til 46.400 kr.

Ventilatorer: 42.000 kWh/år
svarende til 84.000 kr.

Kølekompressor: 7.500 kWh/år
svarende til 15.000 kr.

Totale energjudgifter: 145.400 kr./år

CAV-anlægget erstattes med et MAV-anlæg, som kan regulere luftmængdeintervallet indenfor $5.600 \text{ m}^3/\text{h}$ til $16.900 \text{ m}^3/\text{h}$

Årlige udgifter i efter-situationen:

Varmeflade: 24.000 kWh/år
svarende til 19.200 kr.

Ventilatorer: 14.800 kWh/år
svarende til 29.600 kr.

Totale energjudgifter: 48.800 kr./år

Årlig energibesparelse ved udskiftning til MAV-anlæg: 96.600 kr.

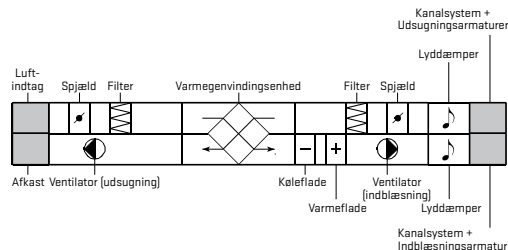
Investering i MAV-anlæg: 119.000 kr.

Simpel tilbagebetalingstid: 1,2 år

7 Ventilationsanlægget



Figur 7.1. Ventilationsaggregat.



Figur 7.2. 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 7.3. Indtags- og afkasthætter.

7.2 Kanalsystem

Kanalsystemets udformning har indflydelse på anlæggets energiforbrug. Af hensyn til friktionsmodstanden bør der anvendes cirkulære kanaler med et minimum af bøjninger. Modstanden i enkeltkomponenterne bør også minimeres. Endvidere bør man også være opmærksom på valg af tæthedsklasse for minimering af lækagetab.

Kanalsystemet kan opdeles i tre typer:

1. Lavtryksanlæg
2. Mellemtryksanlæg
3. Højtryksanlæg

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

Tabel 7.1. Anlægstype og målt lufthastighed i hovedkanalen.



Figur 7.4. Kanalsystem.

7.2.1 Lavtryksanlæg

Lavtryksanlæg omfatter både indblæsnings- og udsugningsanlæg til komfortventilation.

Kanalsystemet kan opbygges af standardkomponenter som spiralfaldede rør med tilhørende bøjninger, afgreningsstykker, T-stykker og lignende. Ved retningsændringer benyttes bløde afrundinger.

De energimæssigt acceptable kanalmønstre er vist i tabel 7.2.

Driftstid [h/døgn]	Maksimal lufthastigheder [m/s]	Acceptable kanalmønstre [Pa/m kanal]
8 – 16	4 (ø125 mm) 9 (ø500 mm)	1,5 – 2,0
16 – 24	3 (ø125 mm) 7 (ø500 mm)	1,0

Tabel 7.2. Acceptable kanalmønstre i lavtryksanlæg.

7.2.2 Mellemtryksanlæg

Mellemtryksanlæg er typisk udsugningsanlæg for støv- og spåntransport.

Tryktabet i sådanne anlæg er betydelige. F.eks. er tryktabet i en ø63 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° skråstilte 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. Energibesparelsen ved denne afspærring bliver størst, når anlægget er forsynet med en hastighedsregulering efter konstant kanallundertryk, så anlæggets ventilator indstilles til korrekt ydelse.

7.2.3 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 minimum 2.

Ændring af kanaltværsnit

Ved ændring af kanaltværsnit sker der et tryktab, som 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 undgås, 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 radialventilatorer 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 på det lige kanalstykke før indløbet.

Udløb

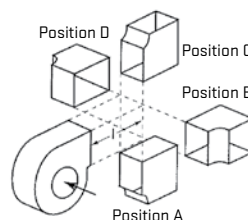
Udløbet fra radialventilatorer er ofte u hensigtsmæssigt udformet. Det er vigtigt, at kanaltilslutningen i udløbet følger luftens rotationsretning for at få mindst muligt tab. En u hensigtsmæssig udformning af udløbet kan i værste fald medføre en forringelse af ventilatorens virkningsgrad på 10 %.

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 D_h .

For runde kanaler er den hydrauliske diameter lig med kanalens diameter. For rektangulære kanaler med siderne a og b er den hydrauliske diameter:

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

I figur 7.5. ses fire forskellige positioner af en udløbstilslutning fra en ventilator.



Figur 7.5. Forskellige positioner af udløb fra en ventilator.

Position A:

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

Position B:

Denne position af udløbet fører ikke til forringelse af ventilatorens virkningsgrad.

Position C:

Denne position af udløbet fører til forringelse af ventilatorens virkningsgrad på ca. 10 %.

Position D:

Denne position af udløbet fører til forringelse af ventilatorens virkningsgrad på ca. 5 %.

Reduktion af tryktab – ELFORSK-projekt nr. 340-033

I ELFORSK-projektet "Reduktion af tryktab på HVAC-anlæg ved renovering og nyanlæg" blev der udviklet en vejledning til bygherre, arkitekt og rådgiver, der kan anvendes til at projektere og implementere langt bedre ventilationsanlæg med høj komfort og lavt tryktab – med lavt energiforbrug og lave driftsomkostninger til følge.

Det indledende arbejde, som dannede grundlaget for projektet, var analyser om fejl på ventilationskanaler og en kortlægning af montørernes muligheder for at ændre dette. Der blev endvidere gennemført kvantitative og kvalitative analyser af viden, commitment og adfærd i forhold til reduktion af tryktab blandt ansatte i ventilationsbranchen.

De gennemførte analyser viste, at der er meget stærke branchenormer i udførelse og valg af komponenter. Skal der ske ændringer, skal branchenormen være tryktabsreducerende. Der skal være et pres udefra enten gennem lovgivning, skærpede krav eller nye strømninger, som indirekte kan virke nedbrydende på branchenormen vedrørende tryktab i kanaler.

Det er derfor ikke en vejledning til montører, der er behov for. I stedet skal hele spørgsmålet om ventilation henlægges tidligere i processen. Bygherre skal stille krav. Det er bygherre, arkitekt og rådgiver, der skal medtage kravene i udbudsmaterialet. Bygherrekrav kan påvirke branchenormen, men sådanne krav stilles kun, hvis det skaber merværdi for bygherren selv. Merværdi for den virksomhed, som skal anvende bygningen, kan opnås i form af min-

dre energiforbrug, mindre CO₂-udslip, mindre træk, mindre støj fra ventilationsanlæg, bedre indeklima og bedre medarbejdertrivsel. Det er disse værdier, der skal fokuseres på.

Projektet satte sig derfor på at sætte miljørigtigt indeklima på dagsordenen hos bygherrer, arkitekter og ingeniører – tidligt i projekteringsfasen. Der blev udviklet værktøjer, som gør det enkelt at stille krav og foretage beregninger i udbudsfasen.

Konkret blev der udviklet et website – www.miljorigtigtindeklima.dk – som fortæller om miljørigtigt indeklima, og som indeholder to beregningsprogrammer for henholdsvis tryktab og varmebalance. Desuden udbyggede projektet den eksisterende mærkningsordning af indeklima til også at omfatte energiforbrug på ventilationsanlæg. Mærkningsordningen gør, at bygherrekrav kan beskrives nemt og præcist.

I projektet blev der udviklet et excel-værktøj "Kritisk vej" til ingeniører/rådgivere, der kan anvendes til at projektere kanalsystemer med så lavt tryktab som muligt og dermed så lavt energiforbrug og så lave driftsomkostninger som muligt til følge.

Med værktøjet kan der foretages beregninger af tryktabet i ventilationssystemets kritiske indblæsnings- og udsugningskanalstrækninger. Den kritiske kanalstrækning er den strækning, som er bestemmende for hvor stor total trykstigning (Δp_t) en ventilator skal kunne yde ved en given luftmængde (q_v).

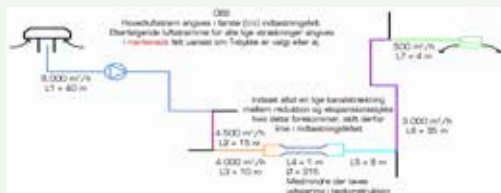
For kanalstrækningerne kan der indtastes data for lige cirkulære kanaler, bøjninger, T- eller X-stykker, reduktioner og ekspansioner og lyddæmpere. For indblæsningskanalstrækningen kan der yderligere indtastes data for indtag og indblæsningsarmaturer, mens der for udsugningskanalstrækningen yderligere kan indtastes data for afkast og udsugningsarmaturer. Der kan for hver kanalstrækning indtastes data for elleve del-kanalstrækninger.

Eksempel 5 – Reduktion af tryktab

Der foretages en beregning af tryktabet i en indblæsningskanalstrækning som vist i figur 7.6. Indblæsningskanalstrækningen består af en indtagshætte, 112 meter kanal i forskellige dimensioner, 6 bøjninger, 4 T-stykker, 1 reduktion, 1 ekspansion, 1 lyddæmper og 1 indblæsningsarmatur.

Hovedluftmængden er 8.000 m³/h, som fordeles til forskellige kanalstrækninger. Den indblæste luftmængde er 500 m³/h.

Det specielle for denne indblæsningskanalstrækning er indsnævringen af kanalen i skunkrummet (L4 i figur 7.6).



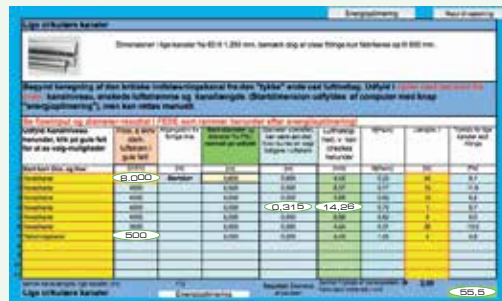
Figur 7.6. Indblæsningskanalstrækning.

I figur 7.7 ses indtastningsbilledet for de lige cirkulære kanaler. I dette indtastningsbillede er hovedluftmængden på 8.000 m³/h indtastet. Den indblæste luftmængde på 500 m³/h ses i række 7. Tryktabet i samtlige lige cirkulære kanaler er beregnet til 55,5 Pa.

Det bemærkelsesværdige er den beregnede hastighed på 14,26 m/s i hovedkanal 4, som skyldes en indsnævring af kanalen i et skunkrum med en diameter på 0,315 m.

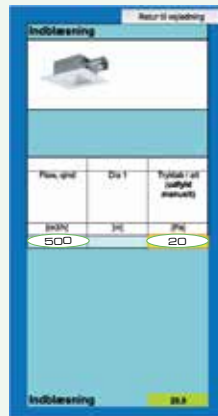
Man vælger et kanalniveau. Der kan vælges mellem hovedkanaler, fordelingskanaler og tilslutningskanaler. Alle kanalstrækninger hen til et lokale er hovedkanaler, mens fordelings- og tilslutningskanaler typisk befinder sig over lokalet. Valg af kanalniveau har betydning for, hvilken kanalhastighed

værktøjet forsøger at opnå. I hovedkanaler forsøger værktøjet at opretholde en lufthastighed så tæt på 6 m/s som muligt. For fordelingskanaler og tilslutningskanaler forsøger værktøjet at opretholde en lufthastighed så tæt på henholdsvis 4 m/s og 3 m/s som muligt.



Figur 7.7. Beregning af tryktabet for lige cirkulære kanaler – her med indsnævring af kanalen i et skunkrum.

I figur 7.8 ses indtastningsbilledet for indblæsningsarmaturet. Her er luftmængden på de 500 m³/h angivet. Tryktabet over indblæsningsarmaturet skal indtastes, her 20 Pa.



Figur 7.8. Indblæsningsarmatur, angivelse af luftmængde og tryktab.

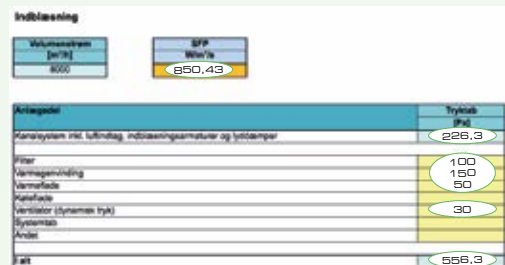
I figur 7.9 ses beregninger af tryktab for indblæsningskanalstrækningen. Det samlede tryktab over samtlige komponenter er beregnet til 226 Pa.

SFP er beregnet til 850 W/m³/s, hvilket med en luftmængde på 8.000 m³/h giver en effekt på 1.890 W.



Figur 7.9. Beregninger af tryktab, SFP og effektoptag på indblæsningsystem

I figur 7.10 ses indtastningsbilledet "Energiberegn". I dette indtastningsbillede er det muligt at indtaste tryktab for de øvrige komponenter i ventilationssystemet. Der kan eksempelvis indtastes tryktab over filter og varmegenvindingsenhed samt ventilatorens dynamiske trykstigning. Det samlede tryktab over samtlige komponenter er på baggrund af de yderligere indtastninger beregnet til 556,3 Pa.



Figur 7.10. Beregnet SFP på baggrund af beregnet tryktab i kanalsystemet og angivne tryktab for ventilationsaggregatets komponenter.

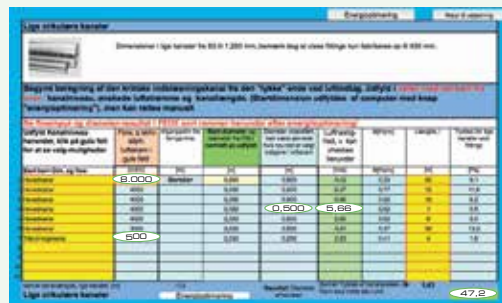
q _v	8000	m ³ /h
Δp _t	556,29	Pa
P _{tot}	1,24	kW
P _{max}	1,56	kW
P _{motor}	1,89	kW

Figur 7.11. Beregning af hydraulisk effekt, akseffekt og effektoptag for motor.

I figur 7.11 ses beregningen af motorens effektoptag. Dette effektoptag findes på baggrund af data for ventilator- og motorvirkningsgrader. I dette tilfælde er effektoptaget for motoren beregnet til

1,89 kW. Dette medfører at SFP for indblæsnings-systemet kan beregnes til 850,43 W/m³/s. Se figur 7.10.

I figur 7.12 ses en beregning hvor der er foretaget en energioptimering af indblæsningskanalstrækningen. Energoptimeringen er i dette tilfælde, at indsnævringen af den fjerde hovedkanal med en diameter på 0,500 m. er fjernet. Herved ændres lufthastigheden til 5,66 m/s. Tryktabet nedbringes nu i samtlige lige cirkulære kanaler til 47,2 Pa.



Figur 7.12. Beregning af tryktabet for lige cirkulære kanaler; ier inden indsnævring af kanaler i et skunkrum.



Figur 7.13. Beregninger på indblæsningsystem.

I figur 7.13 ses, at energioptimeringen har resulteret i at det samlede tryktab er reduceret fra 226 Pa til 159 Pa. SFP er reduceret fra 850 W/m³/s til 748 W/m³/s og effektoptaget for motoren er reduceret fra 1.890 W til 1.662 W.

Værktøjet til beregning af tryktab findes her:

<http://www.miljorigtigtindeklina.dk/ingenioer/vaerktoejr/tryktabet.asp>

7.3 Lyddæmpere

Lyddæmpere bør dimensioneres med en maks. hastighed mellem baffler på 10 m/s eller maks. 6 m/s mellem baffler 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.



Figur 7.14. Lyddæmper.

7.4 Spjæld

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

Indreguleringsspjæld

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

Afspærringsspjæld

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

De mest anvendte afspærringsspjæld er:

- Driftsspjæld
- Røgspjæld
- Brandspjæld



Figur 7.15. Spjæld.

Reguleringsspjæld

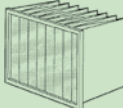
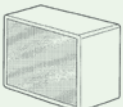
Trykfaldet over et helt åbent reguleringsspjæld skal udgøre ca. 10 % af trykfaldet over spjældet, plus trykfaldet over resten af anlægstrækningen.

Volumenstrømsregulatorer

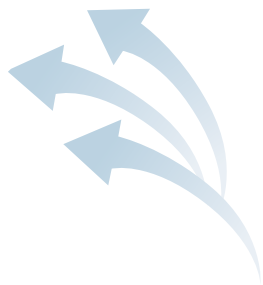
Volumenstrømsregulatorer skal have et trykfald på 50 – 100 Pa for at virke korrekt. De bør derfor kun anvendes, hvis der er et reelt behov for dem.

7.5 Filtre

I tabel 7.3 ses forskellige filtertyper, hvilke partikelstørrelser de kan filtrere, den maksimale luft-hastighed over frontarealet samt begyndelses- og sluttryktabet.

Filtertype	
Grundfilter (G1 – G4) 	• God filtrering af partikler større end 4 – 5 μm • Lufthastigheden over frontarealet bør højst være 2,5 m/s • Begyndelsestryktab: 30 Pa • Sluttryktab: 130 Pa
Finfilter (F5 – F9) 	• God filtrering af partikler større end 0,1 μm • Lufthastigheden over frontarealet bør højst være 2 – 3 m/s • Begyndelsestryktab: 50 – 100 Pa • Sluttryktab: 200 – 250 Pa
Mikrofilter (H10 – U17) 	• God filtrering af partikler større end 0,01 μm • Lufthastigheden over frontarealet bør højst være 0,5 – 1 m/s • Begyndelsestryktab: 250 – 350 Pa • Sluttryktab: 500 – 700 Pa
Kulfilter 	• Anvendes til filtrering af gasser • Lufthastigheden over frontarealet bør være omkring 1 – 1,5 m/s • Begyndelsestryktab: 50 – 60 Pa • Sluttryktab: 100 – 120 Pa

Tabel 7.3. Forskellige filtertypers egenskaber:



Luftsrensning ved køling

– ELFORSK-projekt nr. 341-010 og 342-016

Mennesker opholder sig en stor del af tiden inden-dørs og udsættes her for forureninger af indeluften. Forureninger, herunder gasser og partikler, tilføres både indeklimaet udefra og indefra. Forureninger genereres indendørs ved f.eks. madlavning, tændte stearinlys og emission fra inventar og byggematerialer. Partikler inddeles i grove, fine og ultrafine partikler (UFP) afhængig af størrelsen. Forskning har indikeret, at udsættelse for UFPs med diameter mindre end 100 nanometer kan indvirke sundhedsskadeligt på den menneskelige organisme.

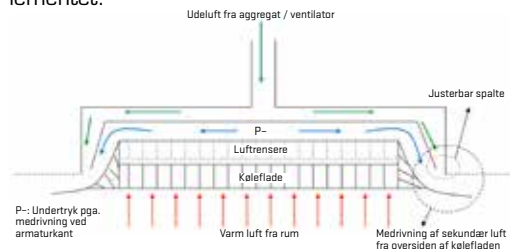
Forøget ventilation er en metode til at nedbringe koncentrationen af partikler i indeluften. Dette medfører imidlertid et øget energibehov til opvarmning af ventilationsluften og drift af ventilatorer. Derfor diskuterer man også muligheden for recirkulation af luft gennem transportable luftren-sere.

I ELFORSK-projekterne "Energibesparelspotentiale ved kombineret luftkøling og –rensning i kontorer" var fokusområdet for undersøgelsen en afdækning af muligheder, anvendelsesområder og begrænsninger for at bruge recirkulation i kombination med nye luftrensningsteknologier med henblik på forbedring af indeluftens kvalitet og dermed reducere koncentrationen af ultrafine partikler (UFP) i indeklimaet. Formålet med undersøgelsen var at bestemme effektiviteten af transportable luftren-sere og at undersøge løsningsmetoder for anvendelse af sådanne luftren-sere.

Undersøgelser af fem forskellige filterteknologier til anvendelse i luftren-sere viste, at et elektrostatiske fiberfilter (EFF) havde den højeste evne til at rense for de ultrafine partikler og det laveste trykfald. Derimod blev rensningseffekten for denne type filter svækket hurtigere end for de andre filterteknologier, hvilket medførte en kortere levetid. Denne levetid kunne dog forbedres ved at kombinere EFF med en ionisator før filteret. På den baggrund blev

denne teknologi valgt i det kombinerede køle- og luftrensningssystem, og efterfølgende udviklet og testet i projekt 342-016. Systemet bestod ud over filtret af en køleaffel til montering i loftet i et kontorlokale.

Laboratorieundersøgelser viste, at køleafflens energibehov var betydeligt lavere med filter end uden filter. De energibesparelser, der kan opnås med den type rensningsteknologi, kan gøre det lettere for bygherrer af kontorbyggeri at leve op til de stadig mere skærpede energikrav i Bygningsreglementet.



Figur 7.16. Tværsnit af kombineret luftkøling og -rensning.

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.



Figur 7.17. Remtrukket ventilator.

Eksempel 6 – Energibesparelse ved filteranvendelse

En undersøgelse af køleafflens energibehov med og uden luftrensning blev gennemført i Lindabs laboratorium i et rum på 51 m³. Der blev målt effektbehov ved tre forskellige luftstrømme i tilluftskanalen. Måleresultaterne er vist i tabel 7.4. Der blev målt et 38 % lavere effektbehov i køleafflen med filter ved en luftstrøm på 15 l/s end køleafflen uden filter.

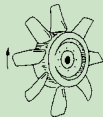
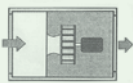
Luftstrøm [l/s]	Køling med filter [W]	Køling uden filter [W]	Energibesparelse [%]
15	242	390	38
25	310	435	29
45	410	525	22

Tabel 7.4. Energibesparelse ved køling med filter ved forskellige luftstrømme.



I ventilationsanlæg kan der vælges blandt seks typer ventilatorer. Egenskaber og anvendelser af disse seks typer er vist i tabel 7.5.

Ventilatortype	Egenskaber og anvendelse
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)

Ventilatortype	Egenskaber og anvendelse
Radialventilator med T-hjul (lige skovle) 	• Virkningsgrad på ca. 40 – 50 % • Høj trykstigning • Højt temperaturområde • Robust konstruktion • Høj selvrensningssgrad • 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 med B-hjul uden spiralhus) (0 – 3 kW) 	• Virkningsgrad på ca. 65 – 75 % • Billig ventilator, idet spiralhuset kan undværes • Pladsbesparende • Benyttes i ventilationsaggregater (komfortanlæg)

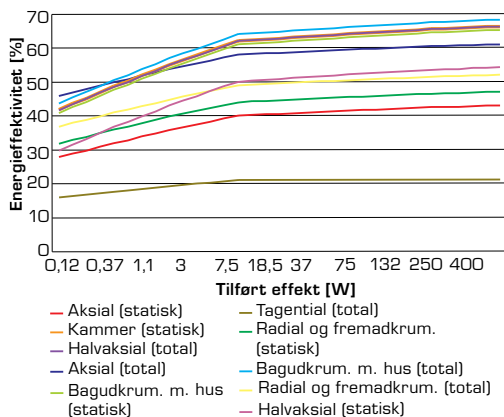
Tabel 7.5. Forskellige typer af ventilatorer, deres egenskaber og anvendelse.

Den 1. januar 2013 trådte nye krav til miljøvenligt design af elmotordrevne ventilatorer i kraft. Kravene, som er minimumskrav, vedrører ventilatorer, som er udformet til brug med eller udstyret med en motor med en effekt fra 125 kW til 500 kW designet for driftspunktet med optimal energieffektivitet.

Kravene betyder, at energieffektiviteten ikke måles og beregnes, som branchen tidligere var vant til, hvor effektiviteten blev beregnet ud fra den statiske eller dynamiske trykstigning samt volumenstrøm og tilført effekt til ventilatoren. Energieffektiviteten måles og beregnes nu som en totalvirkningsgrad for hele ventilationssystemet, dvs. for ventilator, motor og styring. Målingerne foretages i henhold til målestandarden for ventilatorer ISO 5801.

Den 1. januar 2015 blev kravene til energieffektiviteten strammet og udvidet til flere typer af ventilatorer.

I figur 7.18 ses krav til ventilatorers energieffektivitet gældende siden 1. januar 2015.



Figur 7.18. Krav til ventilatorers energieffektivitet siden 1. januar 2015.

Nærmere information vedr. de nye krav kan findes i Energistyrelsens skrivelse omhandlende de nye

ECO-design krav (www.ens.dk/energikrav) eller i kommissionens forordning (EF) Nr. 327/2011.

Der findes ikke energimærkning af ventilatorer, men tidligere kunne radialventilatorer med B-hjul, der levede op til de danske energiselskabers krav om høj energieffektivitet, opnå betegnelsen Spare-ventilatorer®.

I tabel 7.6 ses, hvilke krav til virkningsgraden i sit bedste driftspunkt, der blev stillet for, at en radialventilator med B-hjul kunne betegnes som en Spareventilator®.

Sammenlignet med de nye krav til energieffektivitet og produktinformation for ventilatorer (ECO-design) var kravene fra de danske energiselskaber højere. Det skal dog bemærkes, at en direkte sammenligning mellem kravene er en smule kompliceret og tidskrævende.



Akseeffekt [kW]	Minimumsværdi for maksimal virkningsgrad	[0-0,5]	[0,5-1,0]	[1,0-3,0]	[3,0-10]	[10-20]	[20-50]	[50-100]	>100
		76 %	78 %	79 %	80 %	81 %	82 %	83 %	84 %

Tabel 7.6. Tidligere krav til virkningsgrader for spareventilatorer:

7.6.1 Ventilationsaggregator

Fra den 1. januar 2016 stilledes der i EU-forordning nr. 1253/2014 yderligere krav om minimum ventilatorvirkningsgrad for aggregater ($\eta_{v,ag}$):

$\eta_{v,ag} \geq 6,2 \% \cdot \ln(P) + 35,0 \%$
hvis $P \leq 30 \text{ kW}$

$\eta_{v,ag} \geq 56,1 \%$
hvis $P > 30 \text{ kW}$

- hvor:
- P er ventilatorens nominelle effektoptag inkl. reguleringsudstyr ved nominal volumenstrøm og tryk.

7.7 Remtræk

Virkningsgraden for remtræk afhænger af en række faktorer, såsom remtype, belastning, opspænding, skævvridning, remskivens diameter m.m.

Tabel 7.7 viser typiske virkningsgrader for de almindeligt forekommende typer remtræk.

Typer af 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 7.7. 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. Der ved bliver korrekt opspænding ikke mulig.

Gode råd om remtræk:

- Brug en kilerem med høj virkningsgrad
- Anvend så få kileremme som muligt og helst kun én
- Anvend remskivediameter på minimum 180 mm både for motor og ventilator
- Afpas remtrækkets kapacitet til ventilatorens akseeffekt (ikke til motorens nominelle effekt)
- Remtrækket skal oplines med en retskinne og opspændes korrekt
- Ny rem efterspændes efter 24 timer

7.8 Motorer Asynkronmotorer



Figur 7.19. Asynkronmotor.

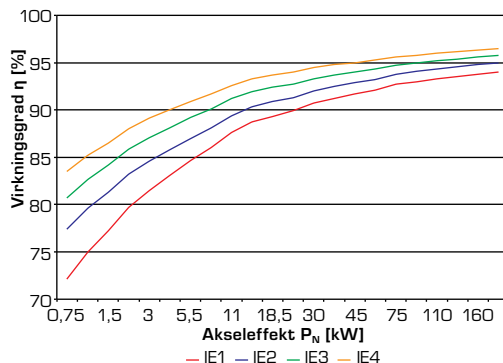
I 2008 blev der med vedtagelsen af den internationale standard IEC 60034-30:2008 indført nye effektivitetsklasser IE1, IE2 og IE3. Se tabel 7.8.

I IEC 60034-31-1:2012 "Technical specification" defineres effektivitetsklassen IE4 "Super premium efficiency", gældende for asynkron- og synkronmotorer.

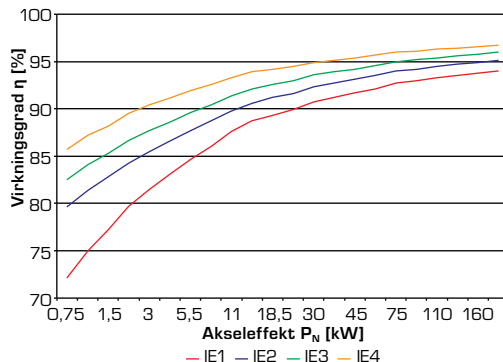
Klasse	Beskrivelse af motorens effektivitet	Betegnelse
1	Super premium efficiency	IE4
2	Premium efficiency	IE3
3	High efficiency	IE2
4	Standard efficiency	IE1

Tabel 7.8. Inddeling af motorer i effektivitetsklasser.

Figur 7.20 og 7.21 viser, at der ved projektering af motordrevne maskinsystemer altid bør vælges IE3 eller IE4 motorer.



Figur 7.20. Virkningsgrader for 2-polede motorer i henhold til IEC 60034-30:2008 og IEC 60034-31:2010.



Figur 7.21. Virkningsgrader for 4-polede motorer i henhold til IEC 60034-30:2008 og IEC 60034-31:2010.

I juni 2011 blev der i EU indført krav om miljøvenligt design (ECO-design) af elmotorer. ECO-design er krav om produktudformning, der tilgodeser eksempelvis energieffektivitet. Kravene gælder almindelige trefasede elmotorer med én hastighed i størrelsen 0,75 kW til 375 kW. Kravene gælder også,

hvis motoren er indbygget i et produkt, så længe det er muligt uden større besvær at måle motorens energieffektivitet særskilt.

Effektivitetskravene træder i kraft i tre trin:

1. Fra 16. juni 2011 skal elmotorer være i energieffektivitetsklasse IE2.
2. Fra 1. januar 2015 er kravene strammet for motorer på 7,5 kW og derover. De skal være i energi-effektivitetsklasse IE3 eller være i IE2 og være tilsluttet en frekvensomformer.
3. Fra 1. januar 2017 skal alle motorer på over 0,75 kW være i energieffektivitetsklasse IE3 eller være i IE2 og være tilsluttet en frekvensomformer.

Fra den 1. januar 2016 skal alle ventilationsaggregater i henhold til EU-forordning nr. 1253/2014", med undtagelse af aggregater til dobbelt anvendelse (brand mv.), være udstyret med et flerhastighedsdrev eller variabel hastighedsregulering.

Effektiviteten eller virkningsgraden for en elmotor afhænger udover størrelsen P_m også af belastningsgraden. Belastningsgraden for elmotoren defineres således:

$$\text{Belastningsgrad} = \frac{P_m}{P_{m,N}}$$

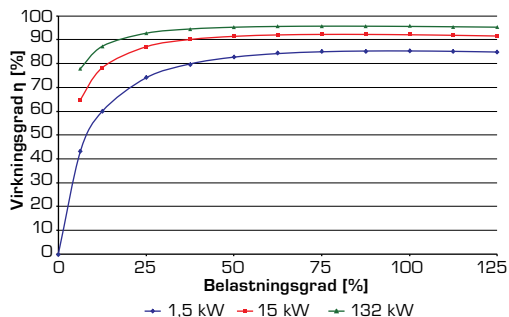
hvor:

- P_m er den aktuelle akseleffekt [kW]
- $P_{m,N}$ er den nominelle akseleffekt [kW]

I figur 7.22 ses virkningsgrader for tre 4-polede IE3 asynkronmotorer som funktion af belastningsgraden. For alle tre motorer ses, at virkningsgraden er nogenlunde konstant ved belastningsgrader mellem 75 % og 125 %.

Når belastningsgraden går fra 50 % til 25 %, sker der betydelige reduktioner i virkningsgraderne for de tre motorer. Den største reduktion ses for den lille motor.

Når belastningsgraden kommer under 25 % sker der markante fald i virkningsgraderne for alle tre motorer.



Figur 7.22. Virkningsgrader for tre 4-polede standard IE3 asynkronmotorer som funktion af belastningsgraden ($P_m/P_{m,N}$).

Figur 7.22 viser, at motorstørrelsen bør vælges således, at belastningsgraden ligger mellem 75 % og 100 %. Herved opnås altid den højest mulige virkningsgrad.

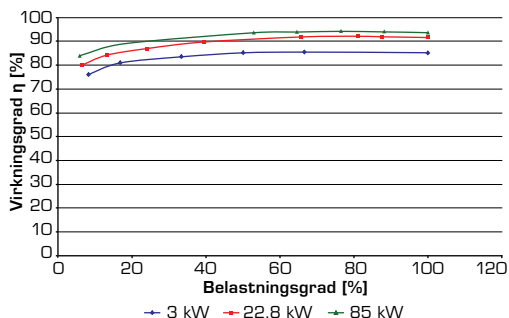
PM-motorer (Permanent magnet motorer)



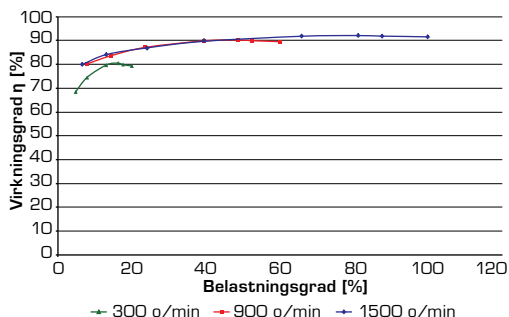
Figur 17.23. PM motor.

I figur 7.24 ses virkningsgrader for tre 4-polede PM-motorer inkl. frekvensomformerne som funktion af belastningsgraden. For alle tre drev (motor og frekvensomformer) er virkningsgraden nogenlunde konstant ved belastningsgrader mellem 50 % og 125 %.

Selv ved belastningsgrader ned til 20 %, sker der beskedne reduktioner i virkningsgraderne for de tre drev. Belastningsgraden skal under 10 %, før der for alvor sker fald i virkningsgraderne.

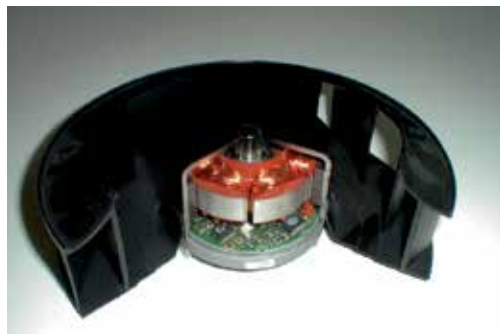


Figur 7.24. Virkningsgrad for tre 4-polede PM-motorer inkl. frekvensomformere som funktion af belastningsgraden ($P_m/P_{m,N}$).



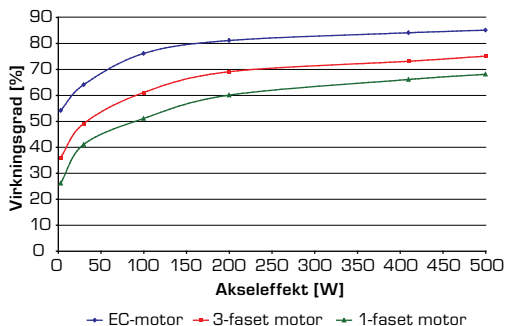
Figur 7.25. Virkningsgrad for 22,8 kW PM-motorer inkl. frekvensomformere ved tre forskellige hastigheder som funktion af belastningsgraden ($P_m/P_{m,N}$).

PM-motoren benyttes ofte i mindre pumpe- og ventilatorapplikationer. Denne PM-motor betegnes også EC-motor (Elektronisk kommuteret motor). EC-motorerne er normalt designet således, at de er en del af pumpe- eller ventilatorapplikationen. Et eksempel på det er vist i figur 7.26, hvor EC-motoren er indbygget i ventilatorhjulet.



Figur 7.26. EC-motor indbygget i ventilatorhjulet. Billedet er leveret af den tyske motorfabrikant ebmpapst.

Figur 7.27 viser virkningsgrader for tre motortyper ved 1.300 o/min. Som det bemærkes, er virkningsgraden for EC-motoren væsentlig højere end for både de 3-fasede og 1-fasede motorer for alle motorstørrelser.



Figur 7.27. Virkningsgrader for EC-motorer samt 1- og 3-fasede asynkronmotorer. Omdrejningstallet for de tre motorer er 1.300 o/min.

7.9 Varmegenvinding



Figur 7.28. 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 varmeafledning afbrudt. Varmen fra ventilator og motor indgår således i beregningen af varmegenvindingsenhedens temperaturvirkningsgrad. Denne varmeafgivelse giver normalt anledning til en temperaturstigning af luften på 0,5 – 1 °C.

Eksempel 7 – Temperaturvirkningsgrad

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:

$$\eta_t = \frac{(12 \text{ °C} - 0 \text{ °C})}{(20 \text{ °C} - 0 \text{ °C})} = 0,6 = 60 \%$$

I Bygningsreglement 2015 kap. 8.3 stk. 6 står der:

"Ventilationsanlæg med indblæsning og udsugning skal opfylde kravene til varmegenvinding i EU-forordning nr. 1253/2014". I forordningen ses blandt andet følgende:

- Alle aggregater skal have en varmegenvindingsenhed, som skal have et termisk by-pass
- Temperaturvirkningsgraden for varmegenvindingsenheden undtaget væskeboblede vekslere skal minimum være 67 %
- Temperaturvirkningsgraden for væskeboblede vekslere skal minimum være 63 %

"Der kan kun benyttes væskeboblede batterier, hvis adskillelse af luftstrømmene er afgørende for opretholdelse af rummenes funktion".

"Kravet til varmegenvinding kan dog fraviges, når afkastningsluftens overskud af varme ikke på rimelig måde kan udnyttes".

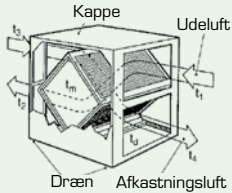
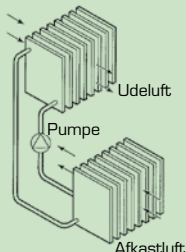
Ovenstående krav gælder også for ventilationsanlæg i industrien.

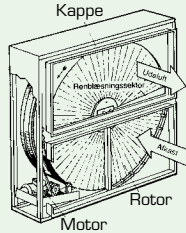
I Bygningsreglement 2010 kap. 8.3 stk. 7 står der:

"Ventilationsanlæg med indblæsning og udsugning til forsyning af én bolig skal udføres med varmegenvinding med en tør temperaturvirkningsgrad på mindst 80 %". Bestemmelsen gælder også ved installation af et anlæg i hver boligenhed i en etageejendom".

7.9.1 Varmevekslere

I ventilationsanlæg anvendes primært tre typer varmevekslere, der alle skal kunne kapacitetsreguleres. I tabel 7.9 er de tre typer beskrevet:

Varmevekslere	Egenskaber, fordele og ulemper
Krydsvarmeveksler 	Følgende egenskaber kan fremhæves ved krydsvarmevekslere: • Lille lækage mellem luftstrømmene • Ingen bevægelige dele • Minimum temperaturvirkningsgrad på 67 %
Væskeskoblede 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 • Minimum temperaturvirkningsgrad på 63 % • Elforbrug til drift af væskepumpe

Varmevekslere	Egenskaber, fordele og ulemper
Roterende varmeveksler 	Fordele: • Høj temperaturvirkningsgrad • Høj fugtvirkningsgrad (hygroskopisk rotor) • Begrænset pladsbehov, moderat tryktab og frostsikring • Virkningsgraden kan let reguleres ved omdrejningsregulering • Minimum temperaturvirkningsgrad på 80 % • Fugtvirkningsgraden for hygroskopiske veksler er typisk på 70 – 85 % Ulemper: • Lækage i systemet, som dog kan styres i ønsket retning ved rigtig placering af ventilatorerne • Risiko for overføring af gasser

Tabel 7.9. Egenskaber, fordele og ulemper for forskellige typer af varmevekslere.

Man bør undersøge mulighederne for at anvende luft/luft pladevarmevekslere, som bruger modstrømsprincippet fremfor krydsstrømsprincippet. Denne type veksler har en temperaturvirkningsgrad på 80 % eller derover.

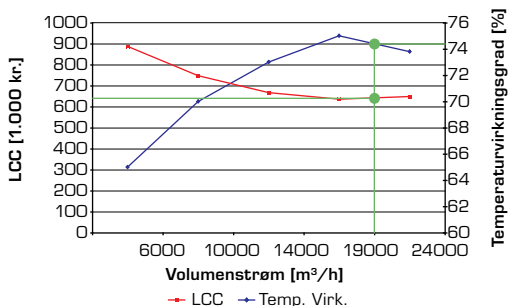
Den optimale temperaturvirkningsgrad afhænger af vekslerens varmeoverførselsareal. Større varmeoverførselsareal medfører højere temperaturvirkningsgrad men også større investering. For at finde den optimale størrelse på en varmegenvindingsenhed er det nødvendigt at foretage en LCC-beregning der inddrager investering, omkostninger til varme- og elforbrug samt vedligeholdelsesomkostninger og levetid.

I figur 7.29 og 7.30 ses eksempler på LCC-beregninger for en krydsvarmeveksler og en roterende varmeveksler.

Den indblæste og udsugede volumenstrøm er sat til 5.000 m³/h og driftstiden er sat til 8.760 timer pr. år. Temperaturvirkningsgraderne stammer fra Dantherms DanX katalog.

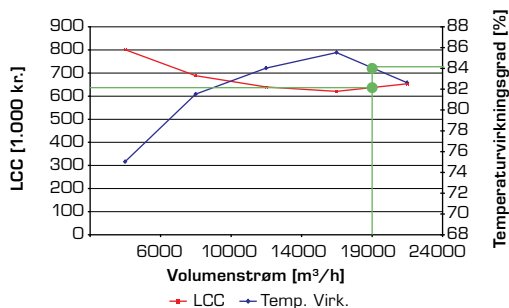
Investeringerne stammer fra V&S prisbogen, Husbygning Brutto.

I figur 7.29 ses, at den optimale virkningsgrad for krydsvarmeveksleren er 75 % (større end normalt). Denne virkningsgrad kan opnås med en varmeveksler, der er beregnet til et ventilationsaggregat med en maksimal volumenstrøm på 19.000 m³/h. Den beregnede LCC er her ca. 630.000 kr.



Figur 7.29. LCC-beregninger og temperaturvirkningsgrader for krydsvarmevekslere. Den indblæste og udsugede volumenstrøm er sat til 19.000 m³/h.

I figur 7.30 ses, at den optimale virkningsgrad for den roterende veksler er 85,5 %. Denne virkningsgrad kan opnås med en varmeveksler, der er beregnet til et ventilationsaggregat med en maksimal volumenstrøm på 19.000 m³/h. Den beregnede LCC er ca. 610.000 kr. her.



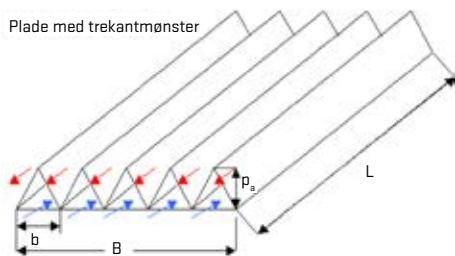
Figur 7.30. LCC-beregninger og temperaturvirkningsgrader for roterende veksler. Den indblæste og udsugede volumenstrøm er sat til 19.000 m³/h.

Varmegenvinding – ELFORSK-projekt nr. 335-026

I ELFORSK-projektet "Udvikling af energioekonomisk ventilationsløsning med varmegenvinding til boliger" blev der med afsæt i et EUDP-projekt videreudviklet et koncept for energioekonomisk ventilation til enfamiliehuse.

Projektet havde til formål at udvikle en energioekonomisk ventilationsløsning til enfamiliehuse gennem en kombination af en effektiv modstrømsvarmeveksler og en optimeret aksialventilator. Varmvekslerens virkningsgrad skulle øges til 90 %, og aksialventilatoren skulle optimeres gennem nyt design af vingeprofiler, ensretter og difusor. Ventilationsanlægget skulle frostsikres, og et forbedret by-pass spjæld skulle resultere i en lækagefri udførelse og indbygning i ventilationsaggregatet. Ventilationsløsningen ville passe til de skærpede energikrav i Bygningsreglement 2005, der byggede på en energiramme for bygningers samlede energimæssige ydeevne.

I projektet blev der designet og fremstillet en høj effektiv modstrømsveksler i aluminium, der lovligt kunne anvendes i ventilationsanlæg, der ventilerer flere brandceller. Varmeveksleren blev designet ud fra et ønske om en effektivitet på ca. 90 % ved en volumenstrøm på 160 m³/h. Pladerne i modstrømsveksleren var trekantformede som vist i figur 7.31.



Figur 7.31. Modstrømsveksler med trekantformede plader.

Målinger på varmeveksleren viste en effektivitet på 85 % ved en volumenstrøm på 155 m³ i timen. Det samlede tryktab blev målt til 75 Pa, fordelt med 57 Pa på veksleren, 12 Pa på filtre og 6 Pa på systemtab. Projektgruppen vurderede, at med en mindre lækage fra udsugning til indblæsningssiden og med en mere ensartet celleafstand kunne varmevekslerens virkningsgrad øges til 89 % – tæt på projektets målsætning om 90 %.

I en effektiv varmeveksler kan den udsugede luft blive afkølet under dens dugpunktstemperatur, hvorved vanddamp i luften kondenserer i veksleren. Er udeluften tilstrækkelig under frysepunktet, er der risiko for isdannelse i varmeveksleren, hvilket medfører frysnings af kondensvand og blokering af luftstrømmen i udsugningen.

Forhåbningerne om at udvikle en energieffektiv og robust metode til forebyggelse af kondens- og isdannelse (frostsikring) blev ikke indfriet, men der blev udviklet en model, der gennem videreudvikling kunne bruges til at vurdere strategier for afisning.

Firmaet Ecovent, som var en af deltagerne i projektet, valgte efter projektets afslutning at investere i udstyr til produktion af veksleren. Denne indgår i dag i flere af virksomhedens egne aggregater.

Det årlige energiforbrug til rumopvarmning i enfamiliehuse udgør iflg. Energistyrelsens energistatistik (2012) ca. 31.100 GWh, svarende til 18 % af Danmarks energiforbrug. En væsentlig del af dette energiforbrug går til at opvarme ventilationsluft.

Bygningsreglementets krav til luftskiftet (0,5 gange i timen) medfører i et gennemsnitsår et opvarmningsbehov på 11.550 GWh i enfamiliehuse, hvis der ikke genvindes varme fra ventilationsluften.

Et effektivt mekanisk ventilationssystem med en varmegenvindingseffektivitet på 85 % vil resultere i et besparelеспotientiale på 9.800 GWh, svarende til knap 6 % af det samlede danske energiforbrug.

7.10 Indblæsningsarmaturer

Ved indblæsning i lokaler skelnes mellem opblandningsarmaturer og fortrængningsarmaturer.

Opblandningsarmaturer

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

Tabel 7.10 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.

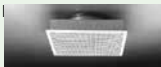
Armaturer	Egenskaber
Riste 	Induktionsgraden (opblanding af rumluft i indblæsningsstrålen) er meget lav. Muligheden for trækfrit at tilføre rummet undertempereret luft er derfor lille. Ved højloftede lokaler er der, når armaturet anvendes til opvarmning, risiko for, at luften ikke kommer ned i opholdszonen i opvarmningstilfældet, hvis indblæsningsstemperaturen er for høj. Når armaturet anvendes til køling, kan luften indblæses med en undertemperatur på 3 – 4 °C.
Spaltearmaturer 	Spaltearmaturer er konstrueret således, at luften tilføres gennem en (ensspaltede 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.

Tabel 7.10. Opblandingsarmaturers egenskaber.

Fortrængningsarmaturer

Tabel 7.11 viser, at fortrængningsarmaturer kan fås i flere forskellige udførelser, således at de kan tilpasses rummets geometri og indretning.

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.

Armaturer	Egenskaber
Fritstående armaturer 	Disse armaturer placeres på gulvet og 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.
	Disse armaturer placeres på gulvet enten ved 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.
	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.

Tabel 7.11. Fortrængningsarmaturers egenskaber.

8 Vejledende nøgletal

8.1 Volumenstrøm

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

Lokale	Volumenstrøm [l/(s · m² gulvareal)]	Volumenstrøm [l/s]
Apotek		
Sterilrum/renrum	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		20 (BR)
Bryggers/ opbevaringsrum		10 (BR)
Bade- og wc-rum		15 (BR)
Wc-rum		10 (BR)
Datacentral		
Edb-rum	12 – 3	
Maskinrum	15 – 20	
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

Lokale	Volumenstrøm [l/(s · m² gulvareal)]	Volumenstrøm [l/s]
Forsamlingslokaler		
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 komfurplade
Eltilberedt mad		300/m² komfurplade
Grillbord		400/m² komfurplade
Frituregryde		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	
Kontor		
Modulkontor		15 – 20/person
Kontorlandskab		20/person
Konferencerum		15 – 30/person
Bestyrelsesrum		15/person
Auditorium		10 – 15/person
Personalekantine		15 – 20/person

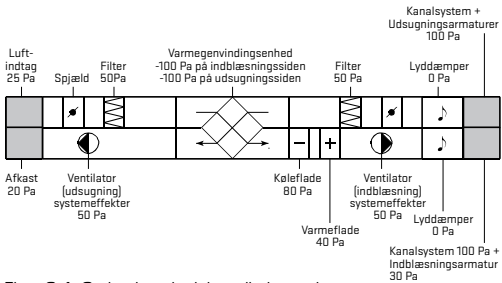
Tabel 8.1. Vejledende volumenstrømme til ventilering af forskellige rumkategorier. BR står for Bygningsreglementet – fortsættes næste side.

Lokale	Volumenstrøm [l/(s · m ² gulvareal)]	Volumenstrøm [l/s]
Personalerum		
Omkleddingsrum	8 – 12	
Spiserum	8 – 10	
Hvilerum		15/person
Restaurant	10	
Cafeteria	4	
Skoler		
Klasseværelse	0,4	5/person
Sportshaller		
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	
Værksted		
Bilværksted	4	
Udsugning af udstødning		60 – 80/bil
Mekanisk værksted	3 – 4	
Finmekanik	3 – 20	
Svejsarbejde	12 – 15	
Montagehal	4 – 5	
Smedeværksted	6 – 7	

Tabel 8.1. Vejledende volumenstrømme til ventilering af forskellige rumkategorier – fortsat.

8.2 Tryktab

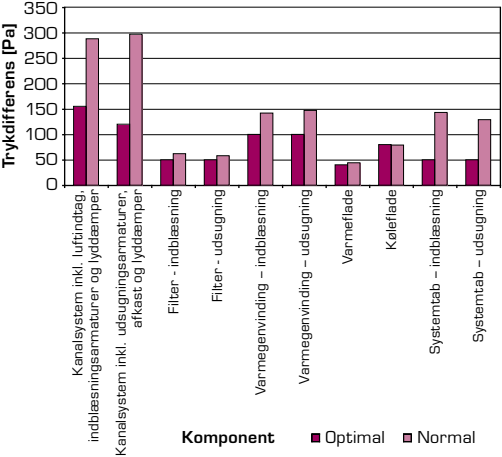
I figur 8.1 ses optimale forekommende trykdifferenser over komponenterne i et ventilationsanlæg.



Figur 8.1. Optimale tryktab i ventilationsanlæg.

I figur 8.2 er de optimale tryktab sammenlignet med de normalt forekommende trykdifferencer. Sidstnævnte er baseret på data i 110 aftaler og service rapporter fra VENT-ordningen samt 110 ventilationsanlæg.

Middelvolumenstrømmen (indblæsning og udsugning) for de 110 ventilationsanlæg er ca. 8.000 m³/h.



Figur 8.2. Optimale og normalt forekommende tryktab i ventilationsanlæg.

Som det fremgår, er de normalt forekommende trykdifferenser i kanalsystemerne inkl. indblæsnings- og udsugningsarmaturer betydeligt højere end de optimale. Dette indikerer, at kanalsystemerne ikke er opbygget strømningsmæssigt korrekt og er underdimensionerede, dvs. at der er anvendt for små kanaldimensioner.

De normalt forekommende systemtab i anlæggene er også betydeligt højere end de optimale. Dette indikerer, at tilslutningerne og afgangene fra ventilatorerne ikke er opbygget strømningsmæssigt korrekt.

Trykdifferenserne over varmegenvindingsenhederne er også noget højere end de optimale. Dette indikerer, at varmegenvindingsenhederne er underdimensionerede (varmeoverførselsarealet er for lille).

Figur 8.2 viser med al tydelighed, hvor vigtigt det er at dimensionere et ventilationsanlæg korrekt. En underdimensionering af anlægget medfører et billigere anlæg, men et anlæg med betydeligt højere driftsudgifter end nødvendigt.



9 Energiforbrug

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. 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, behovet til temperaturer og relativ fugtighed samt varmebelastningen i rummet.

9.1 Energiforbrug til ventilationsaggregat

Ventilatormotorens effektoptag P defineres således:

$$P = \frac{q_v \cdot \Delta p_t}{(\eta_v \cdot \eta_r \cdot \eta_m \cdot \eta_f)} = \frac{q_v \cdot \Delta p_t}{\eta_t}$$

hvor:

- q_v er volumenstrømmen i m^3/s
- Δp_t er totaltrykstigningen i Pa
- η_v er ventilatorens virkningsgrad
- η_r er remvirkningsgraden
- η_m er motorvirkningsgraden
- η_f er frekvensomformerens virkningsgrad
- $(\eta_v \cdot \eta_r \cdot \eta_m \cdot \eta_f)$ er totalvirkningsgraden η_t

9.2 Den specifikke ventilatoreffekt

SFP defineres således:

$$\text{SFP} = \frac{P_{\text{ind}} + P_{\text{ud}}}{q_v}$$

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 Bygningsreglement 2015 kap. 8.3 stk. 9 står der:

"For ventilationsanlæg med konstant luftydelse må det specifikke elforbrug til lufttransport ikke overstige 1.800 J/m³ udeluft. For anlæg med variabel luftydelse må det specifikke elforbrug til lufttransport ikke overstige 2.100 J/m³ udeluft ved maksimalt tryktab".

"For ventilationsanlæg til etageboliger må det specifikke elforbrug til lufttransport ikke overstige 1.500 J/m³ udeluft ved grundluftsskiftet".

"For udsugningsanlæg uden mekanisk udelufttilførsel må det specifikke elforbrug til lufttransport ikke overstige 800 J/m³ ved maksimalt tryktab.

Bestemmelsen gælder ikke for anlæg knyttet til industrielle processer samt anlæg, hvor det årlige elforbrug til lufttransport er mindre end 400 kWh".

"Ved elforbruget til lufttransport forstås her det samlede elforbrug pr. m³ flyttet luft regnet fra luftindtag til luftafkast. Luften kan hermed flyttes af flere ventilatorer. Ved anlæg med variabel luftydelse forstås anlæg, hvor luftydelsen, når anlægget er i drift, kan reguleres manuelt eller automatisk på en sådan måde, at forbruget reduceres væsentligt. Elforbruget til lufttransport kan beregnes for det enkelte anlæg for sig eller samlet for flere anlæg i en bygning. Elforbruget til lufttransport opgøres som angivet i DS 447 Ventilation i bygninger – Mekaniske, naturlige og hybride ventilationssystemer".

I Bygningsreglement 2015 kap. 8.3 stk. 10 står der:

"For ventilationsanlæg med konstant eller variabel luftydelse og varmegenvinding, der forsyner en bolig, må det specifikke elforbrug til lufttransport ikke overstige 1.000 J/m³ for driftsformen med maksimalt tryktab".

Ventilationsaggregater

Fra den 1. januar 2016 er der i EU-forordning nr. 1253/2014 stillet yderligere krav om maksimal intern specifik ventilatoreffekt af ventilationskomponenter (SFP) i W/(m³/s):

For et aggregat med væskekoblede vekslere:

$$\text{SPF} \leq 1.700 + E - \frac{300 \cdot q_{\text{nom}}}{2} - F$$

hvis $q_{\text{nom}} < 2 \text{ m}^3/\text{s}$

$$\text{SPF} \leq 1.400 + E - F$$

hvis $q_{\text{nom}} \geq 2 \text{ m}^3/\text{s}$

For et aggregat med andre varmegenvindingsenheder:

$$\text{SPF} \leq 1.200 + E - \frac{300 \cdot q_{\text{nom}}}{2} - F$$

hvis $q_{\text{nom}} < 2 \text{ m}^3/\text{s}$

$$\text{SPF} \leq 900 + E - F$$

hvis $q_{\text{nom}} \geq 2 \text{ m}^3/\text{s}$

hvor:

- q_{nom} er den nominelle eller dimensionerende luftmængde i m³/s
- E er en effektivitetsbonus

For alle varmegenvindingsenheder (undtaget væskekoblede vekslere) kan der opnås en effektivitetsbonus (reduktion af SFP) på:

$$E = (\eta_t - 0,67) \cdot 3.000$$

hvis temperaturvirkningsgraden er over 67 %.

For væskekoblede vekslere kan der opnås en effektivitetsbonus (reduktion af SFP) på:

$$E = (\eta_t - 0,63) \cdot 3.000$$

hvis temperaturvirkningsgraden er over 63 %.

F er en filterkorrektionsfaktor og er en reduktionsfaktor i SFP, der kræves, hvis de i forordningen tabellerede filtre mangler. Der gælder følgende:

- F = 0 – med filter
- F = 160 – medium filter mangler
- F = 200 – finfilter mangler
- F = 360 – begge filtre mangler

Kravene skærpes yderligere i 2018.

I samme EU-forordning findes et afsnit om boligventilation og energiforbrugskrav pr. m² kaldet SEC-faktoren. Denne SEC-faktor sammenfatter både el- og varmekonsum samt forhold for opbygning og styring af anlægget.

9.3 Energiforbrug til opvarmning af luft

I Bygningsreglementet 2010 kap. 8.3 stk. 6 står:

"Ventilationsanlæg skal forsynes med varmegenvinding med en temperaturvirkningsgrad på mindst 70 %. Kravet kan dog fraviges, når afkastluftens overskud af varme ikke på rimelig måde kan udnyttes".

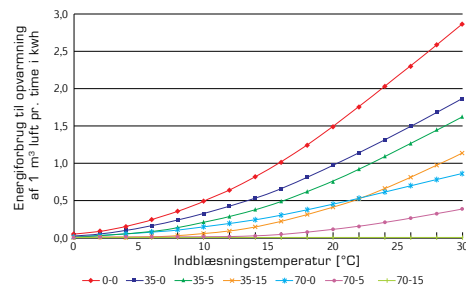
Ovenstående krav gælder også procesventilationsanlæg.

I At-vejledning om ventilation på faste arbejdssteder (Arbejdsstedets indretning – A.1.1) står der: "Ved varmegenvinding i forbindelse med procesventilation skal det sikres, at den friske indblæsningsluft ikke bliver forurenet af udsugningsluften/afkastluften i varmeveksleren. Det betyder f.eks., at roterende varmevekslere ikke bør bruges ved procesventilation".

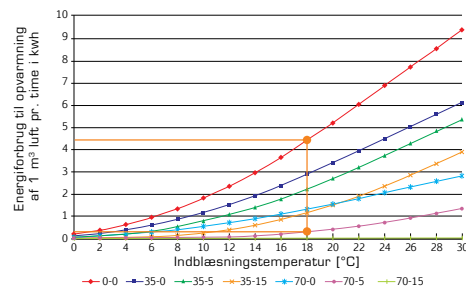
I figur 9.1 og 9.2 er energiforbruget til opvarmning af ventilationsluft opgjort for henholdsvis tidsrummene kl. 8.00 til 16.00 og kl. 0.00 til 24.00 (samtlige af årets timer). På figurerne ses betydningen af varmegenvinding og maksimal udsugningstemperatur. Det sidste kan opnås ved at anvende effektive punktudsug ved varmeprocesser.

Kurvebetegnelse 70 – 5 (violet kurve):

- 70 betyder 70 % virkningsgrad for varmegenvindingen (temperaturvirkningsgrad).
- 5 betyder 5 °C højere temperatur af afkastluft end den ønskede opvarmningstilstand.
- 0 – 0 er forbruget uden varmegenvinding (rød kurve).



Figur 9.1. Årligt energiforbrug i kWh pr. én ugedag til opvarmning af 1 m³ luft pr. time i tidsrummet fra kl. 8.00 til kl. 16.00.



Figur 9.2. Årligt energiforbrug i kWh pr. én ugedag til opvarmning af 1 m³ luft pr. time i tidsrummet fra kl. 0.00 til kl. 24.00.

Eksempel 8 – Energiforbrug til opvarmning af luft

Et anlæg arbejder med 18 °C indblæsningstemperatur, og det indblæser og udsuger 20.000 m³ luft pr. time hele året, døgnet rundt alle ugens 7 dage.

Forbruget til opvarmning til 18 °C pr. m³/h aflæses i figur 9.2 via den røde kurve O–O (uden varmegenvinding) ud for 18 °C til 4,4 kWh/år pr. m³/h pr. ugedag.

For 20.000 m³ luft pr. time er forbruget til opvarmning hermed:

$$4,4 \text{ kWh}/(\text{m}^3/\text{h})/\text{ugedag} \cdot 20.000 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 7 \text{ ugedage} = 616.000 \text{ kWh}.$$

Afkastluften kan varmegenvindes fra 23 °C, dvs. 5 °C varmere end det niveau, hvortil varmegenvindingen ønskes, med en temperaturvirkningsgrad på 70 %. Nu kan energiforbruget aflæses på den violette kurve 70 – 5 til 0,3 kWh/år pr. m³/h pr. ugedag.

For 20.000 m³/h er forbruget til opvarmning hermed:

$$0,3 \text{ kWh}/(\text{m}^3/\text{h})/\text{ugedag} \cdot 20.000 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 7 \text{ ugedage} = 42.000 \text{ kWh}.$$

9.4 Energiforbrug til nedkøling af luft

I tabel 9.1 og 9.2 er energiforbruget til køling af ventilationsluft opgjort for henholdsvis tidsrummene kl. 8.00 til 16.00 og kl. 0.00 til 24.00 (samtlige årets timer). Bemærk, at det årlige energiforbrug er opgivet i Wh/m³ pr. time. Der er samtidig tale om den energi, der skal tilføres selve luften.

For at bestemme det elforbrug, der skal tilføres kølemaskinen, skal man dividere med kølemaskinens gennemsnitlige effektfaktor (mellem 2 og 4).

Indblæsnings-temperatur	Overfladetemperatur							
	8	10	12	14	16	18	20	22
8	877							
10	664	615						
12	472		395					
14	309	288	260	227				
16	186	175	157	137	123			
18	105	99	89	78	70	67		
20	54	51	47	41	36	35	34	
22	25	24	22	19	17	16	16	16

Tabel 9.1. Årligt energiforbrug i Wh pr. én ugedag til nedkøling af 1 m³ luft pr. time i tidsrummet fra kl. 8.00 til kl. 16.00.

Indblæsnings-temperatur	Overfladetemperatur							
	8	10	12	14	16	18	20	22
8	2023							
10	1425	1324						
12	920	863	776					
14	543	510	461	399				
16	294	277	250	218	192			
18	150	141	128	112	99	94		
20	72	68	63	55	48	46	45	
22	32	30	28	24	21	20	20	20

Tabel 9.2. Årligt energiforbrug i Wh pr. én ugedag til nedkøling af 1 m³ luft pr. time i tidsrummet fra kl. 0.00 til kl. 24.00.

Eksempel 9 – Energiforbrug til køling af luft

En industrihal med mange varmekilder ventileres med 20.000 m³ luft pr. time. Indblæsningstemperaturen er 18 °C. Kølefladen i anlægget tilføres vand med en temperatur på 10 °C.

Anlægget er i drift i tidsrummet fra kl. 8.00 til kl. 16.00 i 5 dage om ugen.

I tabel 9.1 kan det årlige energiforbrug aflæses til 99 Wh pr. m³ luft pr. time pr. dag pr. uge.

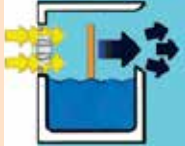
Det årlige energiforbrug til nedkøling af luften i den pågældende periode vil være:

$99 \text{ Wh}/(\text{m}^3/\text{h})/\text{ugedag} \cdot 20.000 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 5 \text{ ugedage} = 9.900 \text{ kWh}$.

Ved en årseffektfaktor på eksempelvis 2,2 vil kølemaskinen anvende en energimængde på 4.500 kWh årligt.

9.5 Befugtning

De mest almindelige metoder til befugtning af luften i produktions- og kontorlokaler ses i tabel 9.3.

Befugtere	Egenskaber
Vandbefugtere 	• Befugter med fordampningsindsats. 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 	• Befugter med damptilførsel Dampen produceres eksempelvis i en dampkedel og indblæses i kanalen. Energiforbruget er ca. 0,8 kWh pr. kg damp • Befugter med egen dampproduktion. Fordampningsvarmen tilføres i dampgenerator. Normalt er dampgeneratoren elopvarmet. Elforbruget er ca. 0,7 kWh pr. kg damp

Tabel 9.3. Befugteres egenskaber.

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

Den eldrevne dampbefugter er dyr i drift på grund af den relativ høje elpris. 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 befugtningemetoder dog billige i drift.

10 Målinger – lufthastighed, tryk, effekt og virkningsgrad

10.1 Lufthastighed

I tabel 10.1 ses en oversigt over og karakteristika af det mest almindelige udstyr til lufthastighedsmålinger.

Måle-metode	Måle-område	Måle-usikkerhed	Bemærkninger
Pitotrør	2 – 50 m/s	1 – 5 %	- Der skal korrigeres for luftens temperatur og barometerstanden - Skal ikke kalibreres. (Husk at kalibrere trykmåleren)
Varmetrådsanemometer	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
Vingehjulsanemometer	0,3 – 15 m/s	5 – 20 %	Kræver periodisk kalibrering

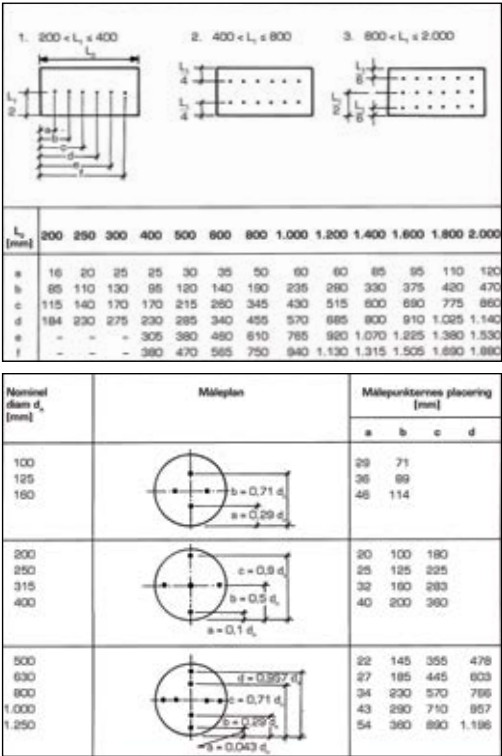
Tabel 10.1. Måleområder ved forskellige metoder for måling af lufthastighed.

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



Figur 10.1. Varmetrådsanemometer for måling af lufthastighed.

I tabel 10.2 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.



Tabel 10.2. Målepunkter i rekommanderet måleplan for måling af lufthastigheder.

10.2 Tryk

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

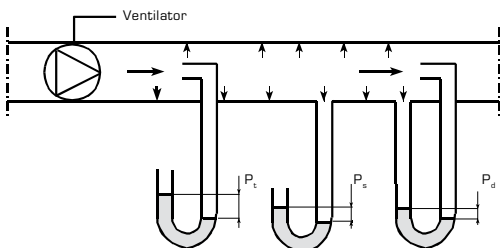
1. Statisk tryk p_s måles i forhold til atmosfæretryk. Det kan være positivt, nul eller negativt, og det virker ens i alle retninger.
2. Det dynamiske tryk p_d er altid positivt og kan beregnes af:

$$p_d = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2$$

hvor:

- ρ er luftens densitet
- v er luftens middelhastighed

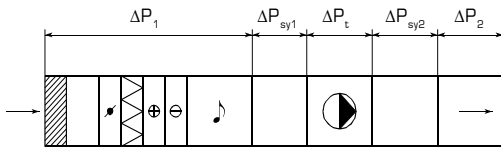
3. Total tryk $p_t = p_s + p_d$



Figur 10.2. Måling af statisk, dynamisk og total tryk.

På ventilationsanlæg vist på figur 10.3 er det relevant at måle følgende forhold:

- Trykstigning over ventilatoren
- Tryksdifferensen over anlæggets komponenter



Figur 10.3. Tryktab over anlæggets komponenter som ventilatoren skal overvinde.

hvor:

- Δp_t er trykstigningen over ventilatoren.
- Δp_1 og Δp_2 er tryktabene i anlægget før og efter ventilatoren.
- 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.

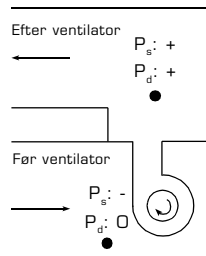
Der gælder følgende:

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

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.

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.



Figur 10.4. Målepunkter for måling af statisk og dynamisk tryk før og efter ventilatoren.

Det statiske tryk skal derfor måles et stykke fra ventilatoren, hvor hastighedsprofilet er udjævnet. Dette medfører, at systemtabet ikke indgår i

den totale trykstigning, hvilket medfører 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.



Figur 10.5. Måling af trykdifferens med et pitotrør og et manometer.

10.3 Effekt

Måling af effektoptaget på et ventilationsanlæg kan foretages i anlæggets styreskab med et wattmeter.



Figur 10.6. Ved måling af effekt anvendes et wattmeter.

10.4 Virkningsgrad

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

Eksempel 10 – Ventilators virkningsgrad

Et ventilationsaggregat er forsynet med F-hjuls ventilatorer. På aggregatets indblæsningsside er tilsluttet to $\varnothing 400$ 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:

$$q_v = (v_1 \cdot A_{\text{kanal1}}) + (v_2 \cdot A_{\text{kanal2}})$$

hvor:

$$\bullet A_{\text{kanal}} = \frac{\pi}{4} \cdot 0,4^2 \text{ m}^2 = 0,126 \text{ m}^2$$

$$q_v = (14 \text{ m/s} \cdot 0,126 \text{ m}^2) + (13 \text{ m/s} \cdot 0,126 \text{ m}^2) = 3,4 \text{ m}^3/\text{s}$$

I tabel 10.3 er angivet det statiske og dynamiske tryk før og efter ventilatoren.

	Statisk tryk p_s [Pa]	Dynamisk tryk p_d [Pa]
Før ventilatoren	- 507	0
Efter ventilatoren	369	75

Tabel 10.3. 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:

$$p_{d, \text{ efter}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{luft}} \cdot \left(\frac{q_v}{A_{\text{udløb}}} \right)^2$$

Ventilatorens udløbsareal er $(0,55 \text{ m} \cdot 0,55 \text{ m}) = 0,303 \text{ m}^2$.

$$p_{d, \text{efter}} = 0,5 \cdot 1,2 \text{ kg/m}^3 \cdot \left(\frac{3,4 \text{ m}^3/\text{s}}{0,303 \text{ m}^2} \right)^2 = 75 \text{ Pa}$$

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:

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

Effektoptaget for motoren er målt til:

$$P_{\text{motor}} = 7.240 \text{ W}$$

Ventilationsaggregatets totale virkningsgrad kan herefter beregnes, idet der gælder:

$$\eta_{\text{total}} = \frac{\Delta p_{\text{total}} \cdot q_v}{P_{\text{motor}}} = \frac{951 \text{ Pa} \cdot 3,4 \text{ m}^3/\text{s}}{7.240 \text{ W}} = 0,45$$

Ventilatoren er forsynet med en 2-polet IE2 motor på 7,5 kW.

Ved hjælp af figur 7.20 kan virkningsgraden for motoren ved høj belastningsgrad bestemmes til 0,87. Belastningsgraden er således:

$$BG = \frac{P_{\text{motor}} \cdot \eta_{\text{motor}}}{P_{\text{nom}}} = \frac{7.240 \text{ W} \cdot 0,87}{7.500 \text{ W}} = 0,84$$

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

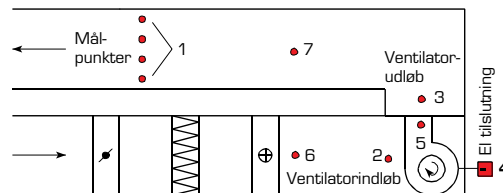
Ventilatorens virkningsgrad kan herefter beregnes, idet:

$$\eta_{\text{total}} = \eta_{\text{ventilator}} \cdot \eta_{\text{motor}} \cdot \eta_{\text{remtræk}}$$

$$\eta_{\text{ventilator}} = \frac{\eta_{\text{total}}}{\eta_{\text{motor}} \cdot \eta_{\text{remtræk}}} = \frac{0,45}{0,87 \cdot 0,95} = 0,54$$

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

Figur 10.7 viser, hvor på ventilationsanlægget målingerne skal foretages.



Figur 10.7. Målepunkter på ventilationsanlæg.

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





Målepunkt 1:
Lufthastighed



Målepunkt 2 og 3:
Statisk tryk



Målepunkt 4:
Effekttag

Tabel 10.4. Målepunkter på ventilationsanlæg.

11 Energioptimal drift

Behovet for ventilation er sjældent konstant, men varierer over døgnet og året. Som eksempler kan nævnes behovet for (central) udsugning af spåner fra træbearbejdningmaskiner 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.

11.1 Styring og regulering

Behovet for ventilation kan f.eks. reguleres efter:

1. Tid (urstyring).
2. Procesudstyrets driftstilstand (f.eks. via styresignal fra maskine).
3. Tilstedeværelse (kan tilpasses om der er personer eller ej).
4. Rum- eller udsugningstemperaturen.
5. CO_2 -indholdet (efter CO_2 -føler).
6. Luftkvaliteten (efter „luftkvalitetsføler“).

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

11.1.1 On/off-regulering

Den mest simple form for regulering af luftmængden er on/off-regulering. On/off-reguleringen kan ske ved at starte og stoppe ventilatoren helt 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.

11.1.2 VAV-regulering

Variable luftmængder kan leveres ved mere eller mindre energieffektive reguleringsformer.

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 for F-hjul er derfor mere effektiv end for B-hjul. Den bør dog kun anvendes ved luftmængder under ca. 10.000 m³/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.

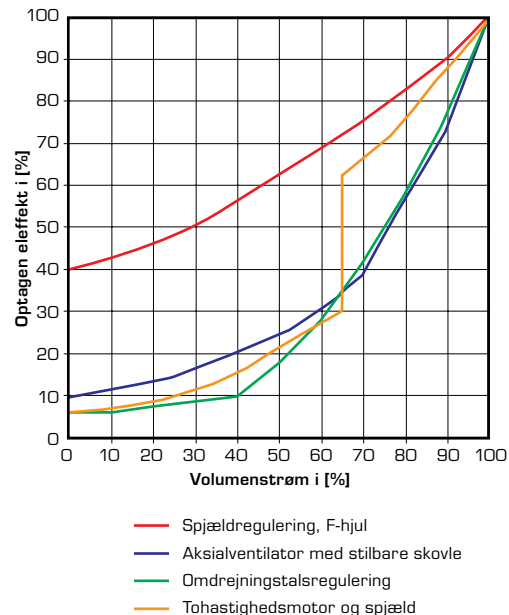
Aksialventilator med stilbare skovle

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 (anlægs karakteristikken).

Som det ses i figur 11.1 kan der opnås betydelige reduktioner i effektoptaget ved reduktion af volumenstrømmene.

Følgende kan bemærkes:

- 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 luftmængder (100 % og 50 % eller 100 % og 66 %).

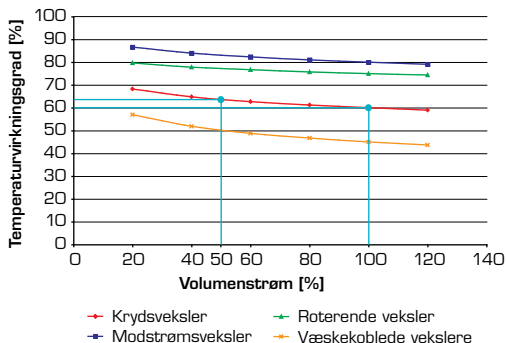


Figur 11.1. Virkningsgrad som funktion af volumenstrøm ved forskellige reguleringsformer.

En reduktion af volumenstrømmene betyder samtidig en forøgelse af temperaturvirkningsgraden for varmegenvindingen. Dette er vist i figur 11.2.

Halveres eksempelvis volumenstrømmen i et anlæg med en krydsvarmeveksler med en temperaturvirkningsgrad på 60 % ved 100 % volumenstrøm forbedres virkningsgraden til ca. 63 %.

Ved beregninger af varmebesparelser er det derfor vigtigt at medtage det forhold, at temperaturvirkningsgraden ændrer sig, når volumenstrømmene ændrer sig.



Figur 11.2. Virkningsgrader for varmegenvindingsenheder som funktion af volumenstrømmene ($q_{ind} = q_{ude}$).

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.

11.1.3 Regulering af indblæsningstemperatur

Regulering af indblæsningstemperaturen benyttes typisk i ventilationsanlæg, hvor anlæggets funktion udelukkende er opretholdelse af det atmosfæriske indeklima. Det termiske indeklima opretholdes via radiatoranlæg.

Indblæsningstemperaturen reguleres efter et sætpunkt for ønsket indblæsningstemperatur. Indblæsningstemperaturen måles i kanalen efter varmefladen, ventilator mv. Varmefladens ventil lukkes ved stigende indblæsningstemperatur.

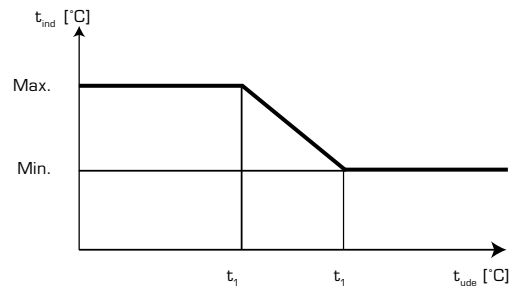
Sætpunktet holdes normalt konstant, uanset varmebehovet i rummene. For at reducere energiudgifterne til opvarmning bør sætpunktet varieres, således at der indblæses med en lavere temperatur om sommeren. Denne reguleringsform kaldes "udekompensering". Ofte kombineres regulering af indblæsningstemperaturen med kaskaderegulering efter rumtemperaturen.

Udekompensering

Traditionelt søger man at holde indblæsningstemperaturen 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 11.3.



Figur 11.3. Princippet for udekompensering.

Ved lave udetemperaturer, hvor varmebehovet er størst, indblæses med maksimumstemperaturen. Ved stigende udetemperaturer indblæses med lavere temperaturer, indtil en vis minimumstemperatur nås.

For at beregne varmebesparelsen ved anvendelse af udekompensering er man nødt til at benytte et temperaturvarighedsdiagram, se figur 11.4, hvor man kan aflæse hvor mange timer pr. år udetemperaturen er mindre end en valgt indgangsværdi.

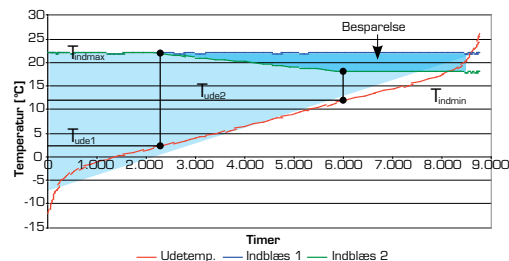
Energiforbruget til opvarmning af udeluften til en ønsket – eventuel – variabel sluttemperatur beregnes af følgende udtryk:

$$E = q_v \cdot \rho \cdot c_p \cdot \sum_{T=0}^{T=n} (t_{ind} - t_{ude}) \cdot \Delta t$$

hvor:

- q_v er udeluftvolumenstrømmen [m^3/s]
- ρ er luftens densitet [kg/m^3]
- c_p er luftens specifikke varmekapacitet [$\text{kJ}/\text{kg} \cdot \text{K}$]
- t_{ind} er sluttillstandens temperatur [$^{\circ}\text{C}$]
- t_{ude} er udetemperaturen [$^{\circ}\text{C}$]
- τ er tiden [h]
- n er antal timer pr. år hvor $t_{ind} \geq t_{ude}$

Summationsledet også benævnt antal gradtimer findes som arealet mellem sluttemperaturen t_{ind} og temperaturkurven for udeluften. Ved beregning af arealet kan temperaturkurven for udeluften tilnærmes en ret linje. Dette er vist i figur 11.4 (den mørkeblå trekant).



Figur 11.4. Temperaturvarighedsdiagram udarbejdet på basis af driftstider på 24 timer pr. døgn.

Eksempel 11 – Etablering af udetemperaturkompensering

Et anlæg arbejder med en konstant indblæsnings-temperatur på 22°C , og det behandler (indblæser og udsuger) 20.000 m^3 luft pr. time hele året døgnet rundt. Anlægget er uden varmegenvinding.

Der ønskes etableret en udetemperaturkompensering af anlægget således at:

- For $t_{ude} \leq 2^{\circ}\text{C}$ skal t_{ind} være 22°C
- For $t_{ude} \geq 12^{\circ}\text{C}$ skal t_{ind} være 18°C

I figur 11.4 ses, hvorledes temperaturvarighedsdiagrammet kan benyttes til at bestemme energibesparelsen ved etablering af udekompensering.

Først indtegnes den lyseblå trekant, hvis areal kan beregnes til $124.799^{\circ}\text{C} \cdot \text{h}$.

Fra punktet (2.300 h, 22°C) tegnes en linie til punktet (6.000 h, 18°C). Disse to punkter passer sammen med udetemperaturer på henholdsvis 2°C og 12°C . Herefter kan den øverste mørkeblå markering indtegnes. Den viser gradtime-besparelsen ved etablering af udekompensering. Arealet kan beregnes til $15.800^{\circ}\text{C} \cdot \text{h}$.

Den årlige energibesparelse ved etablering af udekompensering kan herefter beregnes til:

$$E_{\text{besparelse}} = \frac{20.000 \text{ m}^3/\text{h}}{3.600} \cdot 1,2 \text{ kg/m}^3 \cdot 1,0 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}) \cdot 15,800 ^\circ\text{C} \cdot \text{h} = 105.300 \text{ kWh}$$

Det svarer til en energibesparelse på ca. 13 %.

11.1.4 Regulering af rumtemperatur

Regulering af rumtemperaturen benyttes typisk i klimaanlæg, hvor anlæggets funktion er opretholdelse af både det termiske og atmosfæriske indeklima.

Rumtemperaturen reguleres efter et sætpunkt for ønsket rumtemperatur. I CAV-anlæg holdes rumtemperaturen, som grundprincip, konstant ved at ændre på indblæsningstemperaturen, når rumtemperaturen afviger fra den indstillede værdi. Forholdet mellem ændringen i rumtemperaturen og den tilsvarende ændring af indblæsningstemperaturen indstilles på regulatoren.

Oftest indstilles en nedre grænse for indblæsningstemperaturen på regulatoren. Denne minimumsindblæsningstemperatur skal sikre at trækgener undgås.

I VAV-anlæg holdes rumtemperaturen, som grundprincip, konstant ved at ændre på volumenstrømmene, når rumtemperaturen afviger fra den indstillede værdi. Indblæsningstemperaturen holdes som udgangspunkt konstant.

For at reducere energiidgifterne 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).

I opvarmningssæsonen gælder, at for hver 1 °C rumtemperaturen kan sænkes, falder energiforbruget til opvarmning med 5 – 8 %. Derfor gælder det om at benytte så lav rumtemperatur i opvarmningssæsonen som muligt.

Tilsvarende gælder, at jo højere rumtemperatur der kan accepteres om sommeren jo mindre bliver energiforbruget til køling.

I DS/CEN/CR 1752 ses, hvilke operative temperaturer (rumtemperaturer), der kan benyttes i henholdsvis opvarmnings- og kølesæsonen.

Udekompensering

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.

Eksempel 12 – Energiforbrug til køling ved udekompensering

Et anlæg arbejder med en konstant rumtemperatur på 21 °C, og det behandler (indblæser og udsuger) 20.000 m³ luft pr. time hele året døgnet rundt. I kølesæsonen indblæses luft med en temperatur på 18 °C. Luften køles af en køleflade med en overfladetemperatur på 10 °C.

Der ønskes etableret en udetemperaturkompensering af anlægget således, at anlægget i kølesæsonen arbejder med en rumtemperatur på 25 °C. Dette kan opnås ved at der indblæses luft med en temperatur på 22 °C. Kølefladens overfladetemperatur hæves til 14 °C.

Ved hjælp af tabel 9.2 kan det årlige energibesparelspotentiale til køling beregnes:

$$E_{\text{køl, besparelse}} = 20.000 \text{ m}^3/\text{h} \cdot (141 - 24) \frac{\text{Wh}}{(\text{m}^3/\text{h})} \cdot 7 \text{ ugedage} = 16.400 \text{ kWh}$$

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 varmeffladens ydelse ændres efter en føler i indblæsningskanalen.

Desuden er der en føler i rummet, som kan forskyde sætpunktet for indblæsningstemperaturen, afhængig af rumtemperaturen.

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

Kaskadereguleringer kaldes også „styret indblæsningstemperatur“ og „belastningskompensering“. Kaskadereguleringen kan kombineres med kompensation efter udetemperaturen. Se figur 11.3.

Behovsstyret ventilation
– ELFORSK-projekt nr. 339-030

Energiforbruget til ventilation udgør en væsentlig del af det samlede energiforbrug i boliger. Udvikling af mere energieffektive varmevekslere og ventilatorer kan ikke alene reducere energiforbruget til boligventilation tilstrækkeligt. Der må også ses på mulighederne ved behovsstyring af ventilationsluftmængden, hvor man reducerer luftmængden uden for brugstiden – og dermed energiforbruget til såvel el som varme.

Det er imidlertid ikke tilladt at reducere luftmængden i boliger, da der stilles krav om et bestemt luftskifte i alle døgnets 24 timer for at sikre, at CO₂-koncentrationen og luftfugtigheden holder sig inden for anbefalede grænser.

I ELFORSK-projekt 339-030 "Behovsstyret ventilation til enfamiliehuse" ønskede man derfor at afprøve, om man kunne udvikle behovsstyret ven-

tilation til enfamiliehuse uden risiko for at reducere luftkvaliteten. Målet var at undersøge, om man i fremtidig lovgivning burde lukke op for behovsstyret ventilation også til enfamiliehuse.

Den avancerede regulering er betydeligt dyrere at installere, men rummer en del fordele sammenlignet med den simple regulering blandt andet muligheden for bedre fordeling af luften, hvor der er brug for den. Den har også et større besparel-sespotentiale end den simple reguleringsstrategi, men det medfører, at luftmængden også reduceres i brugstiden.

I tabel 11.1 ses energiforbrug ved forskellige typer ventilation i enfamiliehuse. Tallene i tabellen er anderledes end de, der blev beregnet i det oprindelige projekt, da kravene i Bygningsreglementet (BR 10) er blevet skærpede efter projektets afslutning.

Bemærkninger	Ventilationstype	Varme-forbrug [kWh/m²]	Elforbrug [kWh/m²]
	Naturlig ventilation	46	-
BR mindste krav til mekanisk ventilation og tæthed af klimaskærm	Mekanisk ventilation VGV: 80 % SEL: 1.000 J/m³	26	3,1
	Mekanisk ventilation VGV: 80 % SEL: 1.000 J/m³ Behovsstyring	24	2,3
Effektivt mekanisk ventilationsanlæg med meget tæt klimaskærm	Mekanisk ventilation VGV: 85 % SEL: 800 J/m³	15	2,4
	Mekanisk ventilation VGV: 85 % SEL: 800 J/m³ Behovsstyring	14	1,8

Tabel 11.1. Energiforbrug ved forskellige typer ventilation i enfamiliehuse.

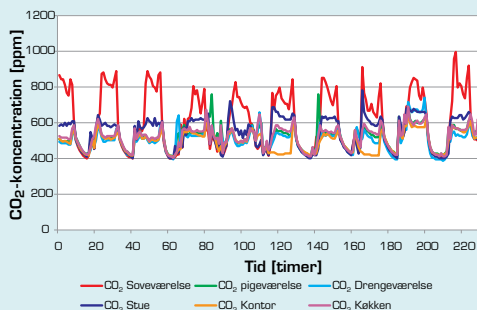
Eksempel 13 – Reguleringsstrategier i nyere parcelhus

Der blev foretaget undersøgelser af to forskellige reguleringsstrategier i et nyere parcelhus fra 2002 med et opvarmet etageareal på 140 m², beboet af en familie på to udearbejdende voksne og to børn, der ligeledes var væk fra hjemmet i dagtimerne.

Ved den ene strategi (simpel regulering) sørgede reguleringen for ensartet variation af luftudskiftningen i alle rum, mens reguleringen ved den anden (avanceret regulering) sørgede for dynamisk luftudskiftning i alle opholdsrum styret af sensorer i hvert opholdsrum.

Projektet viste, at det var muligt på en simpel måde at implementere behovsstyring i mekanisk ventilerede enfamiliehuse. Luftsiftet kunne reduceres til 1/3 i ca. 40 % af tiden, hvilket medførte lavere el og varmebehov uden væsentlige ændringer i luftkvaliteten eller den relative fugtighed.

I figur 11.5 ses målinger af CO₂-koncentrationer i rummene med den simple regulering. Som det ses, giver reguleringsformen ikke anledning til dårlig luftkvalitet. For at have acceptabel luftkvalitet anbefales en CO₂-koncentration under 1.000 ppm.



Figur 11.5. Målinger af CO₂-koncentrationer i rummene med den simple regulering.

11.2 VENT-ordningen

Ordningen er en frivillig og kontrolleret eftersyns- og serviceordning for drift og vedligeholdelse af ventilationsanlæg. Den sikrer, at ventilationsanlæg 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

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

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



Prædiktiv styring (MPC) af hybride ventilations-systemer i kontorbyggeri med dynamiske glasfacader – ELFORSK-projekt nr. 345-033

Dynamiske facader kommer til at spille en vigtig rolle i fremtidens kontorbygninger, som er opført efter BR2015 og bygningsklasse 2020. Udfordringen er her at undgå overophedning grundet interne varmelaster og solindfald. Samtidig er der en trend i dagens byggeri hen imod opfyldelse af de fine begreber: Godt lys og frisk luft. Det forventes således, at bygningen har styr på det termiske indeklima.



Figur 11.6. Dynamisk glasfacade på 1. sal i bygning 2 på Teknologisk Institut i Taastrup.

Med udgangspunkt i dette behov har ELFORSK-projektet udviklet styringsstrategier – prædiktiv styring (MPC), målinger og interviews med testpersoner, der har dannet grundlag for følgende synspunkt om et godt indeklima:

Indeklimaet er usynligt, indtil det bryder forventningerne! Gener opstår, når reguleringssystemet reagerer på måder, der ikke giver logisk mening. Så hvis systemet fungerer som det skal, og reguleringssystemet reagerer som det skal, vil brugerne ikke ofre så meget opmærksomhed på det. Muligheden for at sætte styresystemet ud af kraft, f.eks. i forbindelse med naturlig ventilation og solafskærmnings funktioner betyder således mere tilfredse brugere.

Til undersøgelse af MPC-styringens muligheder er der valgt følgende type facade og tekniske installationer til to kontorlokaler benævnt EnergyFlexOffice 1 (EFO1) og EnergyFlexOffice 2 (EFO2) med følgende egenskaber:

- Almindelig facade med klassiske termovinduer
- Individuelle styrede udvendige solafskærmninger
- Naturlig ventilation via motorstyrede topvinduer (en-sidet) og aftrækskanaler med motoriserede spjæld i modsatte side af kontorlokalet (bagvæg)
- Mekanisk balanceret ventilation med varmegen-vinding
- Mekanisk kompressor køling
- Varmeanlæg med gulvplacerede konvektorer



Figur 11.7. Testpersoner i EFO1 og EFO2 placeret på 1. sal i bygning 2 på Teknologisk Institut i Taastrup.

MPC af et hybridt ventilationssystem konkluderes at have potentiale til at lave en energivenlig løsning, der samtidig opfylder krav til indeklimaet med hensyn til indetemperatur og CO_2 . Den prædiktive kontrol gør i den fuldt udbyggede form anvendelse af en rummodel, en prognose for rumbelastning og en vejrprognose. Rummodellen kan beregne rumtemperatur og CO_2 indhold med de givne prognoser og give forslag til tidsforløb af solafskærmning, vinduesåbning, mekanisk ventilation, opvarmning og køling.

Rummodellen er ikke blevet testet i projektet, men der er anvendt en velkendt modeltype, som ofte er anvendt i indeklimasammenhæng, og hvor parametrene kan vurderes ud fra en bygningsbeskrivelse. Optimeringsalgoritmen er testet ud fra et konstrueret forløb af ude-temperaturer og solintensitet.

Der er testet forløb med data fra DRY. Ingen af disse er prædiktions- eller testpersoner, men for at få prædiktionsperspektivet med, er der lavet eksperimenter, hvor prædiktions- eller testpersoner 24 timer frem baserer sig på den nuværende måling og hvad der skete det foregående døgn.

Kernen i regulatoren er en optimeringsalgoritme, som vælger det forløb af solafskærmning, vinduesåbning, mekanisk ventilation, opvarmning og køling der minimerer omkostningerne. Omkostningerne er udtrykt i en omkostningsfunktion som summerer prisen for anvendelse af de enkelte aktuatorer. Den prædiktive kontrol giver attraktive resultater, men da optimeringsalgoritmer ikke som standard er indbygget i kommercielle kontrolanlæg for bygningsventilation, kan tillempede regulatorer også være interessante.

Erfaringen fra simuleringerne viser, at et indetemperaturforløb som glider fra minimumsgrænsen ved arbejdstids begyndelse til maksimumsværdi ved slutningen af arbejdsdagen, ofte er det optimale i situationer, hvor der er behov for køling. Et sådant forløb vil også kunne opnås med klassisk regulering, hvor temperaturreferencen følger det nævnte forløb. Temperaturen i kontorlokalet er under kontrol, og solafskærmning og naturlig ventilation er begge aktive. Ved MPC styringen er temperaturen ved arbejdstids begyndelse kl. 8 meget tæt på 23 °C, og ved arbejdstids ophør kl. 16 meget tæt på 26 °C. MPC styringen "tvinger" temperaturen i kontorlokalet til at "glide" inden for standardens temperaturinterval om sommeren, da det åbenbart er den billigste måde at styre klimaet på. Normalt vil man have et fast set-punkt på f.eks. 24,5 °C.

Eksempel 14 – Prædiktiv styring

De udførte forsøg viser, at man ved brug af naturlig ventilation blandt andet til natkøling helst skulle op på 23 °C klokken 8, ellers bedømte testpersonerne det termiske indeklima på grænsen til værende lidt for køligt. Det vil i nogle tilfælde sætte en begrænsning på kapaciteten ved natkøling.

Tablet:

I hvert af de to kontorer har der været ophængt en tablet. Se figur 11.8. På denne, kunne kontorpersonalet se hvordan indeklimaet var (øverste linje), tilpasse det efter egne behov (mellemste linje) samt give deres vurdering (feedback) (nederste linje). Projektet viste, at brugerstyring hvor brugeren selv kan regulere på nogle få parametre (eksempelvis solafskærmningen) generelt øger tilfredsheden med indeklimaet.



Figur 11.8. Udviklet interaktiv bruger applikation til iPad

I hvert af de to lokaler har der været ophængt en "central" skærm. Se figur 11.9 og 11.10, hvor vigtige parametre kan visualiseres og registreres. Herved skabes der overblik over, hvor den eksisterende CTS opsætning eventuelt skal justeres og finpudses.

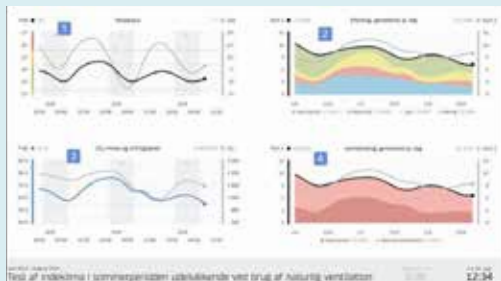
På skærmen kan følgende aflæses:

Skærm 1:

1. Aktuelle udeforhold
2. Aktuelle indeklimaforhold som temperatur, CO₂ indhold, relativ fugtighed, belysningsstyrke og lydniveau
3. Tidspunkter for indkoblede parametre
4. Hvor ofte de enkelte parametre har været i brug
5. Tidspunkter for anvendte smiley'er (feedback)
6. Logoer



Figur 11.9. Eksempel på udviklet visualiserings skærm (skærm 1 af 2) – energiforbrug og indeklima med historiske og aktuelle værdier til påvirkning af brugeradfærd og oplysning.



Figur 11.10. Udviklet visualisering skærm (skærm 2 af 2) – energiforbrug og indeklima med historiske og aktuelle værdier til påvirkning af brugeradfærd og oplysning.

Skærm 2:

1. Aktuell sommer standard/norm indeklimateinterval (akse til venstre). Rumtemperatur variation og udetemperatur variation over flere døgn.
2. Elforbrug til: Ventilation, apparater, lys, køling over flere døgn.
3. Luftkvalitet (CO₂ og RF) i kontorlokale over flere døgn.
4. Varmeforbrug til: Radiatorer og ventilation over flere døgn

Hvad forventes i fremtiden?

Hybridventilation:

- Benyttelse af mekanisk ventilation med VGV når der er et varmebehov (varmeanlæg lig 'on')
- Benyttelse af naturlig ventilation og solafskærmning når der er et kølebehov (varmeanlæg lig 'off')

Mere avancerede CTS-styringer som både styrer mekanisk ventilation med VGV og naturlig ventilation (hybridventilation):

- Benyttelse af flydende set-punkter fastsat efter MPC-optimering
- Kombination af solariemeter og temperaturfølere i rum
- Brug af MPC til generel optimering af CTS-styringen fx ved variable el-priser

12. Test og valg af ventilationsaggregater

Ventilationsberegneren – ELFORSK-projekt nr. 338-010

I ELFORSK-projekt 338-010 "Energimærkningsgrundlag for ventilationsaggregater" blev der udviklet et komplet testgrundlag til vurdering af ventilationsaggregaters energimæssige egenskaber med baggrund i anerkendte danske og udenlandske standarder, normer og vejledninger.

Endvidere blev der parallelt hermed opbygget state-of-the-art laboratoriefaciliteter, således at ventilationsaggregater kan testes ensartet efter præcis det samme udviklede grundlag. De udviklede prøvningsprocedurer skulle med mindre modificeringer også kunne håndtere test efter f.eks. PassivHus konceptet eller dele af EuroVent certificeringen. Desuden blev der opstillet forslag til, hvordan en internetdrevet applikation/beregner (dynamisk positivliste) kunne se ud herunder de nødvendige bagvedliggende beregningsrutiner.

Efter projektets afslutning er der i forbindelse med et InnoBYG udviklingsprojekt om installationspakker foretaget en videreudvikling af ovennævnte ventilationsberegner inkl. en database med mindre ventilationsaggregater, så det nu er lettere at finde det rigtige aggregat til en given opgave.

Resultatet findes på www.ventilationslisten.dk

Ventilationsberegneren fungerer på den måde, at beregneren ud fra nogle simple indtastninger om nettoboligareal og antal køkkener, badeværelser, bryggerser og særskilte wc-rum bestemmer den nødvendige luftmængde og det tilhørende tryktab for kategorien (nybyg, renovering, renovering af lejlighed). Desuden indtastes el- og varmepris.

Beregneren finder derefter de aggregater, der

kan opfylde luftmængdebehovet inden for Bygningsreglementets krav og angiver pr. aggregat forskellige mindste hovedkanaldimensioner og tilsvarende maksimale tryktab i kanalsystemet. Derudover beregnes energibesparelsen, så det bl.a. er muligt at se effekten af at vælge et lavtrykskanalsystem.

For ventilationssystemer kan ventilationsberegneren hjælpe med at vælge det rette ventilationsaggregat og specificere kravene til kanalsystemet. Her er udfordringen at bruge denne viden til også at konfigurere kanalsystemet og armaturerne, så kunden kan få en samlet velfungerende pakke. I den forbindelse skal også henvises til Videncenter for energibesparelser i bygnings energiløsning for ventilationsanlæg med varmegenvinding. Energiløsningen findes på:

www.byggeriogenergi.dk

De største leverandører på det danske marked har leveret data til de mere end 20 ventilationsaggregater, der findes på ventilationslisten og der er flere på vej.

I forlængelse af projektet besluttede Teknologisk Institut at opbygge AHU-LAB (Air Handling Unit – Laboratory). Laboratoriet er udviklet til at teste ventilationsaggregater med en nominel volumenstrøm fra 75 – 10.000 m³/h og er akkrediteret til at teste efter næsten alle harmoniserede standarder for ventilation i EU.

I AHU-LAB kan der foretages test af aggregater inkl. enkeltkomponenter eller enkeltkomponenterne kan testes separat. Testene omfatter kapacitetstest af ventilatorer (volumenstrøm, tryk og effektoptag), temperaturvirkningsgrad for varmegenvindingsenheden, kapacitet for varme- og køleflader, lækagetest samt trykfald over enkeltkomponenter.

Eksempel 15 – Anvendelse af ventilationsberegneren

I figur 12.1 ses indtastningssiden til ventilationsberegneren. Indledningsvist skal vælges, om det er et nybygget hus, et renoveret hus eller en renoveret lejlighed. Her er valgt et renoveret hus. Efterfølgende er vist hvilke oplysninger, der kræves af boligen.

Din bolig


☐ Hus - nybyggeri


☒ Hus - renovering


☐ Lægghed - renovering

Alle oplysninger nedenunder skal udfyldes

	Boligareal i m ²	100
	Køkken	1 - 1
	Badeværelser	1 - 1
	Separat toilet	1 - 1
	Brygger	ja - 1
	Kælder	ne - 1
	Elpris i kr./kWh	2,2
	Varmepris i kr./kWh	0,88

Søg

Figur 12.1. Indtastningsside i ventilationsberegneren.

I figur 12.2 er resultatet vist på baggrund af indtastningerne. Her angives hvilke komponenter, som er velegnede til at udføre opgaven, hvor stor en besparelse, der kan opnås, samt mål og monteringsmuligheder for ventilationsaggregatet.

[illegible]

Figur 12.2. Resultatside i ventilationsberegneren.

13 Tjekskema for ventilationsanlæg

I tabel 13.1 er angivet en række forhold, som har indflydelse på ventilationsanlæggets drift og energi-effektivitet, og som bør undersøges.

	Tjek i forbindelse 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.
	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.
Anlæggets driftstilstand	Virkningsgrad for motorer	Undersøg, om det er muligt og rentabelt at udskifte til energieffektive motorer.
	Virkningsgrad for motorer	Foretag målinger af motorenes effektoptag til bestemmelse af virkningsgraderne.
	Virkningsgrad for ventilatorer	Undersøg, om det er muligt og rentabelt at udskifte ventilatorer til energieffektive ventilatorer: • Foretag målinger af totale trykstigninger over ventilatorer, volumenstrømme og motorenes effektoptag til bestemmelse af virkningsgraderne.
	Virkningsgrad for transmissioner	Undersøg, om remskiver og remme er slidte. Tjek om opspændingen af remmene er korrekt.

	Tjek i forbindelse med besøg	Forhold, der bør undersøges nærmere
Anlæggets driftstilstand	Systemets virkningsgrader	Undersøg ventilatorenes 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.
Eleffektivitet	Anlæggets eleffektivitet, SEL	Undersøg, om anlæggets effektivitet, 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/m³. • For VAV-anlæg bør SEL-værdien være mindre end 3.200 J/m³.
Syring/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.

Tabel 13. 1. Tjekskema for optimering af ventilationsanlæg.



13.1 Tjekskema for indeklima og ventilation i enfamiliehus

Tabel 13.2 viser tjekliste for indeklima og ventilation i enfamiliehus.

Spørgsmål	Svar		Noter
Er der dug på indersiden af lukkede vinduer med termoruder specielt i den kolde årstid?	Ja	Nej	Se 1
Er der mug og sorte skjolder på ydervægge, f.eks. bag møbler?	Ja	Nej	Se 1
Lugter der muggent i huset, eller er der andre ubehagelige lugte?	Ja	Nej	Se 1
Er der et mekanisk ventilationsanlæg med varmegenvinding?	Ja	Nej	Se 2
I huse uden mekanisk ventilation			
Er der en emhætte i køkkenet med afkast til det fri?	Ja	Nej	Se 3
Er der en separat udsugningsventilator i bad/toilet, bryggers mv.?	Ja	Nej	Se 4
Er der aftrækskanaler i køkken, bad/toilet, bryggers mv.?	Ja	Nej	Se 5
Er der udeluftventiler i beboelsesrummene – i ydervægge eller i vinduer?	Ja	Nej	Se 6
Er det naturlige aftræk delvist forhindret af en ventilator, der ikke kører permanent?	Ja	Nej	Se 7

Tabel 13.2. Tjekliste for indeklima og ventilation i enfamiliehus.

1. Dug på inderside af vinduer, mug og sorte skjolder samt ubehagelige lugte

Du kan være rimelig sikker på, at ventilationen er utilstrækkelig, hvis du i en bolig kan konstatere dug på indersiden af lukkede vinduer med termoruder eller andre tolags ruder i kolde perioder eller muggen lugt og mug samt sorte skjolder på ydervægge, f.eks. bag møbler.

2. Mekanisk ventilation med varmegenvinding

Videncenter for energibesparelser i bygninger anbefaler, at der installeres et ventilationsanlæg med varmegenvinding, hvis huset egner sig til det. Se Videncentrets energiløsning om ventilationsanlæg med varmegenvinding på www.byggeriogenergi.dk.

Det er vigtigt, at du sikrer dig, at ventilationsanlæggets ydelse lever op til Bygningsreglementets krav. Endvidere skal du undersøge, om der foreligger en serviceaftale med en fagkyndig person eller et firma, som én gang årligt efterser ventilationsanlægget. Det er afgørende både af hensyn til indeklimaet i huset og af hensyn til det samlede energiforbrug til ventilation, at anlægget regelmæssigt efterses og vedligeholdes, og at anlæggets drift kontrolleres og eventuelt justeres.

Husk at emhætten i køkkenet ikke må forbindes til ventilationsanlægget, med mindre der er tale om et specielt anlæg, hvor udsugningsluften føres uden om genvindingsaggregatet.

3. Emhætte i køkken

Vi anbefaler, at der monteres en emhætte med afkast til det fri. Kravet i Bygningsreglementet om emhætte med afkast til det fri blev indført med BRS-98. Kun hvis der er særlige vanskeligheder ved at føre en kanal til det fri, kan en recirkulations-emhætte med kulfilter benyttes. I det tilfælde skal fugten i køkkenet bortventileres på anden måde.

4. Separat udsugningsventilator

En separat udsugningsventilator kan effektivt fjerne fugten f.eks. efter badning. Desuden kan en udsugningsventilator medvirke til, at fugt ikke spredes til beboelsesrummene.

Udsugningsventilatoren bør være fugtstyret, så den fortsætter med at køre, indtil fugtigheden er bragt ned.

5. Aftrækskanaler

Der skal være naturlige aftrækskanaler i rummene, selvom der er emhætte i køkkenet og udsugningsventilatorer i bad/toilet og bryggers. Emhætten og udsugningsventilatoren er beregnet til periodisk drift. Når de ikke er i drift, sikrer aftrækskanalerne, at luften kan komme ud. Aftrækskanalerne skal holdes rene, og de skal altid være åbne.

6. Udeluftventiler

Princippet i boligventilation er, at luften inde i huset skal strømme fra beboelsesrummene til køkken og bad/toilet, hvor luften fjernes (fra mindre forurenede til mere forurenede rum).

Derfor skal der i beboelsesrummene tilføres udeluft til erstatning for den luft, der fjernes i køkken og bad/toilet. Ved nyere og tætte vinduer skal en jævn tilførsel af udeluft til hvert beboelsesrum sikres ved hjælp af udeluftventiler anbragt højt i ydervæggen.

Udeluftventilerne skal holdes rene, og de skal som regel altid stå åbne. Kun under særlige vejrforhold kan det være nødvendigt at lukke ventilerne midlertidigt, hvis ventilernes egenskaber indikerer det.

Desværre anvendes ofte forholdsvis små spalteventiler, der sidder i vinduernes rammer. Ventiltypen og placeringen gør, at der nemt opstår trækgener, som gør, at beboerne lukker ventilerne.

Den bedste løsning er tallerkenventiler anbragt højt i ydervæggen, gerne over radiator.

Information og krav til dimensionering findes i Bygningsreglementet.

7. Naturlige aftræk

Hvis det naturlige aftræk er delvist forhindret af en ventilator, der ikke kører permanent, kan man enten fjerne ventilatoren, hvorved det naturlige aftræk genskabes, eller ventilatoren kan sættes til at køre konstant, gerne på lavt trin, så længe Bygningsreglementets krav opfyldes. Kontraventil i aftrækskanalen skal altid fjernes.

13.2 Tjekskema for ventilationsanlæg med varmegenvinding i enfamiliehuse

Tabel 13.3 viser tjekliste for etablering af ventilationsanlæg med varmegenvinding i enfamiliehuse.

Undersøg	Spørgsmål	Svar		Noter
Frostfri placering af aggregat	Er aggregatet placeret frostfrit?	Ja	Nej	Se 1
Afløb for kondensvand	Kræver aggregatet afløb for kondensvand?	Ja	Nej	Se 2
Underlag for aggregat	Er der et fast og vibrationsfrit underlag, som aggregatet kan stå på?	Ja	Nej	Se 3
Plads til service- ring af aggregat	Er der god plads foran aggregatet, så man kan komme til at servicere det?	Ja	Nej	Se 4
Isolering af ventilationskanaler	Er ventilationskanalerne isolerede?	Ja	Nej	Se 5
Isolering af indtag- og afkastkanaler	Er indtag- og afkastkanaler isolerede?	Ja	Nej	Se 6
Fald på afkastkanal	Er der fald på kanal til afkast?	Ja	Nej	Se 7
Indregulering	Foreligger der en indreguleringsrapport?	Ja	Nej	Se 8
Manual til ventilationsanlægget	Findes der en manual til anlægget?	Ja	Nej	Se 9
Afl levering	Er afl levering udført iht. DS447?	Ja	Nej	Se 10

Tabel 13.3. Tjekliste for etablering af ventilationsanlæg med varmegenvinding i enfamiliehuse.

1. Frostfri placering af ventilationsaggregat

Hvis ventilationsaggregatet placeres et sted, hvor der er risiko for frost f.eks. i tagrum, skal det være sikret mod dette. Det vil sige, at det skal være isoleret med minimum 50 mm, eller der skal vælges et præisoleret aggregat. Eventuel vandeftervarme skal være sikret mod frostsprængning, og kondens afløb skal være isoleret.

2. Afløb for kondensvand

Et ventilationsaggregat med modstrømsvarmeveksler kræver et afløb for kondensvand. Ventilationsaggregatets bund placeres, så der er fald mod afløb 1 – 1,5 %. Afløbsrør skal have tilsvarende fald, og afløbet skal ledes til en vandlås. Vandlåsen skal være let tilgængelig for rensning og eventuel efterfyldning om sommeren.

3. Underlag for aggregat

En sandwichkonstruktion kan f.eks. opbygges af en gulv-finerplade 22 mm på bjælkelag, 100 mm trædefast mineraluld og en betonflise.

4. Plads til servicering af aggregat

Aggregatet skal placeres, så der er mindst 60 cm foran aggregatets front, så det er muligt at komme til at servicere det. Lågen skal desuden kunne åbnes 90° uden at støde på forhindringer.

5. Isolering af ventilationskanaler

Hvis ikke ventilationskanalerne ligger indbygget i isoleringslaget på loftet, skal de isoleres med mindst 50 mm isolering. Isoleringen afsluttes med en beklædning af plast- eller alufolie udvendigt.

6. Isolering af indtag- og afkastkanaler

Indtag- og afkastkanaler skal isoleres med mindst 50 mm isolering afsluttet med en beklædning af plast eller alufolie udvendigt.

7. Fald på afkastkanal

Der skal være et fald på afkastkanal mod ventilationsaggregatet, så eventuel kondensvand ledes væk.

8. Indregulering

Der skal foreligge en indreguleringsrapport som dokumentation for, at der har været foretaget en indregulering. Hvis der ikke gør det, må der foretages en indregulering.

9. Manual til ventilationsanlægget

Brugermanualen skal være gennemgået med og udleveret til beboerne i huset.

10. Aflevering

Aflevering skal ske i henhold til DS 447 for, at ventilationsanlægget er lovligt installeret.

13.3 Tjekskema for central ventilation med varmegenvinding i flerfamiliehus

Tabel 13.4 viser tjekliste for etablering af central ventilation med varmegenvinding i flerfamiliehus.

Undersøg	Spørgsmål	Svar		Noter
Bygningens alder	Bygningens opførelsesår	Årstal		Se 1
Renovering af bygning	Årstal for større renoveringer	Årstal		Se 2
Fredning	Er ejendommen omfattet af facadeklausuler eller anden fredning?	Ja	Nej	Se 3
Systemopbygning	Anvendes et røgventileret system?	Ja	Nej	Se 4
Tætning af klimaskærm	Er klimaskærmen blevet tætnet?	Ja	Nej	Se 5
Antal opholds- og soverum	Er der flere end 2 opholdsrum pr. lejlighed?	Ja	Nej	Se 6
Kanalføring (1)	Kan der skaffes adgang til to eksisterende skorste- ne/aftrækskanaler pr. lejlighed?	Ja	Nej	Se 7
Kanalføring (2)	Er skorstene benyttet til røgaf- træk?	Ja	Nej	Se 8
Kanalføring (3)	Er skorstene fyldt med byggeaffald mm.?	Ja	Nej	Se 9

Tabel 13.4. Tjekliste for etablering af central ventilation med varmegenvinding i flerfamiliehus – fortsættes.



Undersøg	Spørgsmål	Svar		Noter
Placering af aggregat	Forefindes der et tilstrækkeligt fri rum (højde og areal) i tagrum til etablering af aggregat (til en eller flere opgange)?	Ja	Nej	Se 10
Kanalføring fra aggregat	Er det muligt at føre vandrette kanaler i tagrum fra aggregat til lodrette kanaler (skorstene/eksisterende aftrækskanaler og nye kanaler)?	Ja	Nej	Se 11
Adgangsforhold til loft	Er det muligt at bære et modul-opbygget centralt aggregat op til tagrum?	Ja	Nej	Se 12
Frostfri placering af aggregat	Kan aggregatet placeres frostfrit?	Ja	Nej	Se 13
Afløb for kondensvand	Er det muligt at føre afløb fra aggregat til faldstamme?	Ja	Nej	Se 14
Underlag for aggregat	Er det muligt at etablere et fast og vibrationsfrit underlag, som aggregatet kan stå på?	Ja	Nej	Se 15
Plads til service- ring af aggregat	Er der god plads foran aggregatet, så man kan komme til at servicere det?	Ja	Nej	Se 16
Isolering af ventilationskanaler	Er det muligt at brand- og kondensisolere de nye kanaler fra aggregat til skorsten?	Ja	Nej	Se 17

Undersøg	Spørgsmål	Svar		Noter
Isolering af indtag- og afkastkanaler	Er indtag- og afkastkanaler isolerede?	Ja	Nej	Se 18
Fald på afkastkanal	Er det muligt at opføre kanal til afkast?	Ja	Nej	Se 19
Lydisolering mellem lejligheder	Benyttes fælles hovedkanal mellem etagerne?	Ja	Nej	Se 20

Tabel 13.4. Tjekliste for etablering af central ventilation med varmegenvinding i flerfamiliehus.

1. Bygningsalder

Alder er afgørende for fremføringsmuligheder. Se guide for etablering af varmegenvinding i eksisterende etageejendomme.

2. Renovering af bygning

Større renovering kan have medført udnyttelse af tagetagen, som umuliggør centralt anlæg på loft (alternativt placering i kældere). Endvidere kan skorstenspipecanaler være revet ned og byggeaffald nedkastet i skorstensrør.

3. Fredning

Hvis der er facadeklausuler eller anden fredning for ejendommen, vil det ofte betyde, at der er krav om den arkitektoniske udformning af henholdsvis indtag og afkast. Se guide.

4. Systemopbygning

Hvis ikke et røgvventileret system anvendes (anbefalet), skal det sikres, at der er tilstrækkelig plads til brand- og røgspjæld fra eksisterende skorstene/aftrækskanaler til lejlighed. Ved opførelse af nye kanaler kan brand- og røgspjæld for at mindske pladsbehovet placeres i etageadskillelsen. Se guide.

5. Tætning af klimaskærm

Hvis klimaskærmen ikke allerede er blevet tætnet, er der behov for dette, da infiltrationen ellers vil være for høj.

6. Antal opholds- og soverum

Er der flere end to opholds- og soverum, skal det kontrolleres, hvorvidt alle rum støder direkte op til en skorsten. En skorsten kan forsyne 5 etager med lejligheder op til 200 m².

7. Kanalføring (1)

Der er brug for enten to skorstene, en skorsten og en aftrækskanal per lejlighed eller to aftrækskanaler per lejlighed. Ellers skal der etableres nye lodrette kanaler/skakte som erstatning. Dette er relativt pladskrævende og stiller i mange tilfælde krav om brandisolering. Se guide. Vær opmærksom på, at placering af skorsten skal være i henholdsvis køkken og mellem lejlighedens opholdsrum. Skorstenen må kun betjene en lejlighed pr. etage. Se yderligere løsninger i guide.

8. Kanalføring (2)

Hvis skorstene er benyttet til røgaftæk, kan de ikke bruges til fremføring af ventilationskanaler.

9. Kanalføring (3)

Det bør undersøges, om byggeaffaldets top er højere end ½ m fra stueetagens loft. Hvis det er tilfældet, kan skakten sandsynligvis ikke anvendes, medmindre der udvikles nye oprensningsværktøjer.

10. Placering af aggregat

Se guide.

11. Kanalføring fra aggregat

Hvis Nej, så skal et alternativt sted til aggregat findes. Eksempelvis vælges kælder eller anden løsning, f.eks. en decentral løsning.

12. Adgangsforhold til loft

Hvis adgangsforholdene ikke er tilstrækkelige, skal taget åbnes og aggregat løftes ind med kran, ellers kan andre placeringsmuligheder undersøges, såsom kælder. Vær opmærksom på, at der både findes modul- og ikke modulopbyggede anlæg. Se guide.

13. Frostfri placering af aggregat

Hvis ventilationsaggregatet placeres et sted, hvor der er risiko for frost f.eks. i tagrum, skal det være sikret mod dette. Det vil sige, at det skal efterisoleres med minimum 50 mm isolering, eller der skal vælges et præisoleret aggregat. Eventuel vandeftervarme skal være sikret mod frostsprængning, og kondensafløbet skal være isoleret. Ekstra sikring kan opnås ved at placere aggregatet på en vandtæt bakke med 10 cm opsamlingskant og afløb med fald mod tagrende. Vandeftervarmeffluen og dyr frostsikringsautomatik kan dermed undværes, hvis varmevekslerens effektivitet er mindst 85 % ved den maksimale luftstrøm, og energi kan spares.

14. Afløb for kondensvand

Hvis der ikke kan etableres et afløb, kan et aggregat med roterende veksler alternativt anvendes. Vær opmærksom på lugtgener ved anvendelse af roterende veksler. I visse tilfælde kan afløb alternativt ledes til tagrende (el-tracer).

15. Underlag for aggregat

En sandwichkonstruktion skal anvendes. Se guide for opbygning. Etableres underlag på et elastisk bærelag, f.eks. hanebånd, er det vigtigt, at denne afstives under sandwichkonstruktionen.

16. Plads til servicering af aggregat

Aggregatet skal placeres, så der er mindst 60 cm foran aggregatets front, så det er muligt at komme til at servicere det. Lågen skal desuden kunne åbnes 90° uden at støde på forhindringer.

17. Isolering af ventilationskanaler

Hvis ikke det er muligt at brand- og kondensisolere ventilationskanaler skal et brand- og røgafspærret system anvendes (BRS og RS). Se DS 428-4 og DS 452.

18. Isolering af indtag- og afkastkanaler

Indtag- og afkastkanaler skal isoleres med mindst 50 mm isolering afsluttet med en beklædning af plast eller alufolie udvendigt.

19. Fald på afkastkanal

Der skal være et let fald på afkastkanal mod ventilationsaggregatet, så eventuelt kondensvand ledes væk.

20. Lydisolering mellem lejligheder

Ved fælles kanalføring skal der monteres en lyd-dæmper enten lige før eller efter en etageadskillelse for at undgå, at lyd bevæger sig fra lejlighed til lejlighed.

Vær opmærksom på, at der kan forekomme lyd-overførsel mellem rum i en lejlighed. Dette kan afhjælpes ved at installere lyddæmpere på kanalstrækningerne.

13.4 Tjekskema for decentral ventilation med varmegenvinding i flerfamiliehus

Tabel 13.5 viser tjekliste for etablering af decentral ventilation med varmegenvinding i flerfamiliehus.

Undersøg	Spørgsmål	Svar		Noter
Bygningsalder	Bygningens opførelsesår	Årstal		Se 1
Skorsten	Kan eksisterende skorsten anvendes som kanal?	Ja	Nej	Se 2
Fredning	Er ejendommen omfattet af facadeklausuler eller anden fredning?	Ja	Nej	Se 3
Tætning af klimaskærm	Er klimaskærmen tilstrækkelig tæt?	Ja	Nej	Se 4
Kanalføring [1]	Forefindes der et eksisterende hul mod gård (fadebur) og en aftrækskanal?	Ja	Nej	Se 5
Kanalføring [2]	Forefindes der to eksisterende aftrækskanaler dels fra køkken og bad?	Ja	Nej	Se 6

Undersøg	Spørgsmål	Svar		Noter
Placering af aggregat	Er loftshøjden over 2,7 m?	Ja	Nej	Se 7
Adgangsforhold til lejlighed	Kan der træffes aftale med lejerne om adgang til lejlighederne i forbindelse med udførelsen af service på anlægene?	Ja	Nej	Se 8
Afløb for kondensvand	Er det muligt at føre afløb fra aggregat til øvrige afløbsinstallationer?	Ja	Nej	Se 9
Underlag for aggregat	Er det muligt at etablere et fast og vibrationsfrit underlag, hvis aggregatet placeret i køkkenet?	Ja	Nej	Se 10
Ophæng for aggregat	Er det muligt at etablere et fast og vibrationsfrit ophæng, hvis aggregatet placeret i gangen?	Ja	Nej	Se 11
Plads til service- ring af aggregat	Er der med den valgte placering tilstrækkelig plads foran aggregatet, så man kan komme til at servicere det?	Ja	Nej	Se 12
Fald på afkastkanal	Er det muligt at udføre afkastkanal fra aggregat til eksisterende aftrækskanal med svagt fald?	Ja	Nej	Se 13

Tabel 13.5. Tjekliste for etablering af decentral ventilation med varmegenvinding i flerfamiliehus.

1. Bygningsalder

Alder er afgørende for fremføringsmuligheder. Se "Guide for etablering af ventilation med varmegenvinding i eksisterende etageejendomme" fra Viden-center for energibesparelser i bygninger.

2. Skorsten

Større renovering kan have medført, at skorstenspipen er blevet revet ned, og byggeaffald er nedkastet i skorstensrør. I så fald kan den øvrige del af skorstenen ikke anvendes til samlet indtag/afkast. Se guide.

3. Fredning

Hvis der er facadeklausuler eller anden fredning for ejendommen, vil det ofte betyde, at der er krav om den arkitektoniske udformning af hhv. indtag og afkast. Se guide.

4. Tætning af klimaskærm

Hvis klimaskærmen ikke allerede er blevet tætnet, er der behov for dette, da infiltrationen ved etablering af ventilationsanlæg ellers vil være for høj.

5. Kanalføring (1)

Forefindes én eksisterende aftrækskanal men intet eksisterende hul mod gård (fadebur), etableres en ny indtagkanal i gangen langs væg. Forefindes ingen eksisterende aftrækskanal, skal der fremføres ny separat afkastkanal til den enkelte lejlighed. Indtag som ovenstående. Se guide.

6. Kanalføring (2)

Forefindes der to kanaler, anvendes disse hhv. til indtag og afkast. Hvis ikke fremføres to nye separate kanaler til henholdsvis indtag og afkast i gangen. Se guide.

7. Placering af aggregat

Er loftshøjden 2,7 m eller derover placeres aggregatet i lejlighedens gang over nyt nedhængt loft (byggehøjde for aggregat 30 cm). Er loftshøjden under 2,7 m, overvejes alternativ placering i køkken med aggregat i køkkenmodulmål placeret i nyt højskab, som skjuler kanalføringen. Se guide.

8. Adgangsforhold til lejlighed

Er det ikke muligt, bør en central løsning overvejes.

9. Afløb for kondensvand

Hvis der ikke kan etableres et afløb, kan et aggregat med roterende veksler alternativt anvendes.

10. Underlag for aggregat

En sandwichkonstruktion skal anvendes. Se guide for opbygning.

11. Ophæng for aggregat

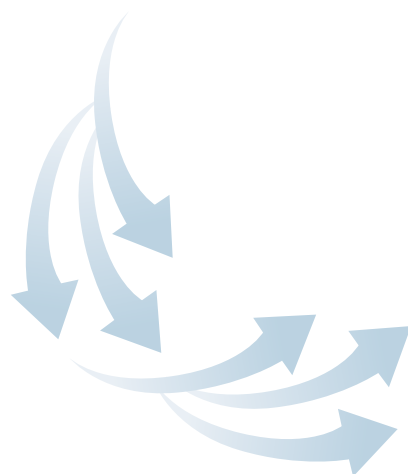
Anlægget skal om muligt ophænges i mere end fire punkter (større areal). Se guide for opbygning. Om muligt vurderes yderligere støjdæmpende foranstaltninger (trædefast mineraluld fastgjort til væg og loft) over nyt nedhængt loft i gang.

12. Plads til servicering af aggregat

Aggregatet skal placeres, så der er god mulighed for serviceadgang i forhold til filterskift.

13. Fald på afkastkanal

Der skal være et let fald på afkastkanal mod ventilationsaggregatet, så evt. kondensvand ledes væk fra ventilationsanlægget.



14 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.

15 Andre kilder

Andre hjælpeværktøjer – links – kilder

Håndbøger

- /1/ Håndbog i industri ventilation, 1. udgave, Nyt Teknisk Forlag 1998, Henning Hørup Sørensen. ISBN 978-87-571-2171-01.
- /2/ DS 447, Ventilation i bygninger – Mekaniske, naturlige og hybride ventilationssystemer. 3. udgave 2013. Dansk Standard. København 2013. ISBN 978-87-571-0674-9.
- /3/ Ventilation Ståbi, 2. udgave, 7. oplag 2012, Nyt Teknisk Forlag 2001, Henning Hørup Sørensen. ISBN 978-87-571-1982-4.
- /4/ Varme- og klimateknik Grundbog, 4. udgave, 1. oplag, Danvak ApS 2013, H. E. Hansen, P. Kjerulf-Jensen & Ole B. Stampe. ISBN: 978-87-982-6520-7.
- /5/ Varme- og klimateknik Ventilationsteknik, 1. udgave, Danvak ApS 2000, Ole B. Stampe. ISBN: 87-987995-0-9.
- /6/ Ventilation i industrien, SBI-anvisning 106, Statens Byggeforskningsinstitut 1983. ISBN 87-563-0471-4.
- /7/ Metoder för mätning av luftflöden i ventilationsinstallationer. Forskningsrådet Formas 2007. ISBN: 978-91-540-6001-6.
- /8/ Guide: Ventilation med varmegenvinding i eksisterende etageejendomme, Videncenter for energibesparelser i bygninger, Januar 2014.

Rapporter

- /9/ Det termiske indeklima, Institut for Bygninger og Energi, DTU, juli 1998.
- /10/ DS 474 "Norm for specifikation af termisk indeklima", Dansk Standard.

- /11/ DS/CEN/CR 1752 "Ventilation i bygninger – Projekteringskriterier for indeklimaet", Dansk Standard.
- /12/ DS/EN ISO 7730 "Ergonomi indenfor termisk miljø – Analytisk bestemmelse og fortolkning af termisk komfort ved beregninger af PMV- og PPD indekser og lokale termiske komfortkriterier", Dansk Standard.
- /13/ Ventilation, Teknisk Energirådgivning, Københavns Belysningsvæsen, NESA & DEF, november 1990.
- /14/ Ventilationsanlæg. Regulering, energibesparelse og energiforbrug. SBI-rapport 155, Statens Byggeforskningsinstitut 1984. ISBN 87-563-0545-1.
- /15/ TR 391. Ventilation i industrielle processer. DEFU og Teknologisk Institut.

Brochurer

- /16/ Få styr på ventilation, Kravspecifikation til nyanlæg, Energistyrelsen december 2013. ISBN: 978-87-93071-51-3.
- /17/ Indkøbsvejledning, Ventilation, pumper og motorer, Energistyrelsen 2013.
- /18/ Ecodesign, Nye krav til energieffektivitet og produktinformation for ventilatorer, Energistyrelsen april 2013 (www.ens.dk/ecodesign).
- /19/ Vedtægter for VENT-ordningen, VENT-ordningen september 2009.
- /20/ Krav til VENT-eftersyn, VENT-ordningen november 2009.
- /21/ EISE – Energi og Indeklima Strategi uden Energifrås, Dansk Energi, ELFORSK, maj 2011.

Hjemmesider

- Dansk Energi
www.danskenergi.dk
- Elforsk
www.elforsk.dk
- Energistyrelsen
www.ens.dk
- Miljørigtigt indeklima
www.miljorigtigtindeklima.dk
- Spar Energi
www.sparenergi.dk
- Spar Energi – Ventilation
www.sparenergi.dk/offentlig-og-erhverv/varme/ventilation
- Systemoptimering
www.teknologisk.dk/systemoptimering
- Teknologisk Institut
www.teknologisk.dk
- VENT-ordningen
www.vent.dk
- Videncenter for energibesparelser i bygninger
www.byggeriogenergi.dk
- www.byggeriogenergi.dk/energiloesninger/etageejendomme-og-andre-store-bygninger/ventilation-og-indeklima.aspx