

6h. Komfortventilation og luftkonditionering

Dette kapitel omhandler ventilationsprincipper i forbindelse med opvarmning og køling. Begrebet komfort og måling heraf omtales ikke, men der henvises til artikler og bøger af professor P.O. Fanger, bl.a. kap. 1 i Danvaks Varme- og Klimateknik, Grundbog.

Ventilationsprincipper

Komfortventilation vil normalt være balanceret ventilation, dvs. omfatte både indblæsning og udsugning. De væsentligste ventilationsprincipper er:

- Opblandingsventilation
- Fortrængningsventilation

Ved *opblandingsventilation* opblandes luften i hele lokalet, så der overalt er næsten samme niveau af forurening, fugt og varme. Luften i lokalet fornyes løbende med ventilationsanlæggets indblæsning og udsugning. Opblandingsventilation kaldes også fortyndingsventilation, da forureningen søges fortyndet med den indblæste ventilationsluft.

Ved *fortrængningsventilation* virker ventilationen som et stempel. Den rene luft indblæses ved gulvet med en temperatur, der er lavere end rumtemperaturen. Indblæsningsluften vil presse den varme og forurenede luft opad, hvor den gradvist vil blive udsuget. Personer, der befinder sig ved gulvet, vil være i den rene zone.

Elforbruget er typisk lavere ved fortrængningsventilation end ved opblandingsventilation, da fortrængningsventilationen bedre fjerner varme og fugt fra opholdszonen.

Figur 1 viser et eksempel på, hvordan temperatur og forurening kan variere op igennem et lokale med henholdsvis fortrængningsventilation og opblandingsventilation.

CAV- og VAV-anlæg

Ved komfortventilation benyttes betegnelserne CAV og VAV til at angive, om luftstrømmen er konstant eller varierer.

Ved CAV (Constant Air Volume) er luftstrømmen konstant, mens indblæsningstemperaturen kan variere, afhængigt af behovet for opvarmning/køling.

Ved VAV (Variable Air Volume) varierer luftstrømmen efter det aktuelle behov. Det kan fx være anlæg med individuel rumtemperaturstyring via VAV diffusorer i hvert enkelt rum, hvor ventilatorerne trykstyres ved hjælp af trykfølere i hovedkanalerne for henholdsvis indblæsning og udsugning.

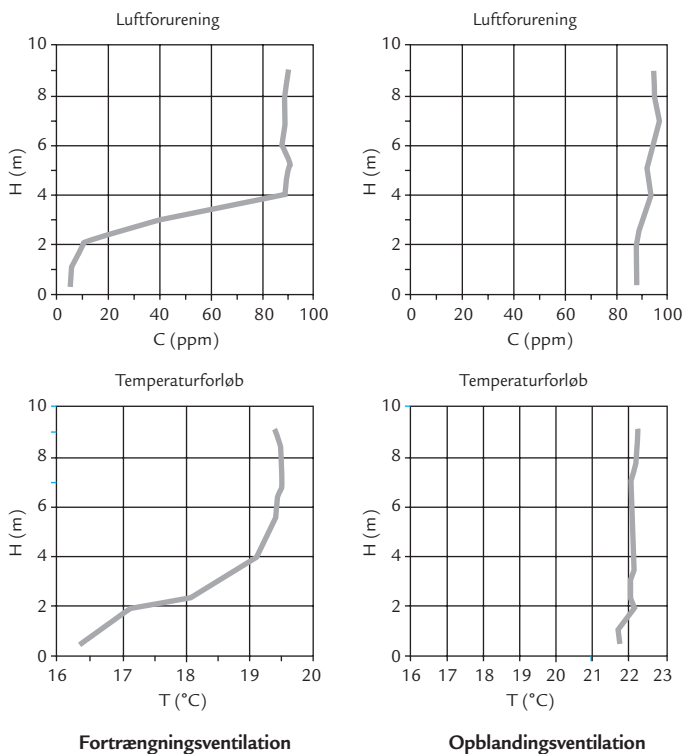
Ventilatorernes elforbrug

Bygningsreglementet fastlægger de øvre grænser for elforbruget til mekanisk ventilation. Bestemmelserne gælder for anlæg i nybyggeri samt nyinstallationer i bestående bygninger. I kapitel 12.3 stk. 9 hedder det:

„For ventilationsanlæg med konstant luftydelse må elforbruget til lufttransport ikke overstige 2.500 J/m³ udeluft. For anlæg med variabel luftydelse må elforbruget til lufttransport ikke overstige 3.200 J/m³ udeluft ved maksimal luftydelse. Bestemmelsen gælder ikke for ventilationsanlæg uden mekanisk udelufttilførsel, for anlæg knyttet til industriprocesser og lignende samt anlæg, hvor det årlige elforbrug til lufttransport er mindre end 2,5 GJ (700 kWh).“

2.500 J/m³ svarer til 0,69 W per m³/h, mens 3.200 J/m³ svarer til 0,89 W per m³/h. Kravet betyder således, at den samlede trykstigning i indblæsnings- og udsugningsventilatorerne højst må være 1480 Pa i CAV-anlæg og 1920 Pa i VAV-anlæg (forudsat 60% totalvirkningsgrad for ventilatorerne)

Figur 1



Eksempel på variationen af lufttemperatur (T) og -forurening (C) med højden over gulv (H) i et lokale ved hhv. fortrængnings- og opblandingsventilation. Kilde: Caddet

Opvarmning

Velisolerede bygninger med store varmetilskud fra maskiner, belysning, personer og solindfald har ofte et meget lille behov for opvarmning til at dække varmetabet ved transmission. Men behovet for opvarmning af ventilationsluften kan være stort. Energiforbruget til opvarmning eller afkøling af udeluften kan beregnes som:

$$E = Q \cdot C_p \cdot (t_{\text{ind}} - t_{\text{ude}})$$

- E er energiforbruget (kJ eller Wh)
- Q er luftmængden (kg eller m³)
- C_p er luftens varmekapacitet (kJ/kg°C eller Wh/m³°C, se tabel 1)
- t_{ind} er indblæsningstemperaturen (°C)
- t_{ude} er udetemperaturen (°C)

Eksempel

Et anlæg indblæser 1.000 m³/h med en temperatur på 20°C. Ved en udetemperatur på 5°C er energiforbruget til opvarmning af 1.000 m³ luft

$$E = 1.000 \text{ m}^3 \cdot 0,336 \text{ Wh/m}^3\text{°C} \cdot (20-5)\text{°C} \\ = 5,04 \text{ kWh}$$

(Der er benyttet tal for varmfylde ved 20°C, idet luftmængden er målt ved den temperatur)

Energiforbruget pr. måned og år til opvarmning af udeluft til indblæsningstemperaturen T_{ind} er vist i tabel 2. Tabellen gælder opvarmning uden varmegenvinding.

Tabel 2.1 Energiforbrug til opvarmning af luft uden varmegenvinding, hele døgnet; kWh/m³ pr. år

T_{ind}	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec	Hele året
17	4.41	4.10	3.61	2.53	1.61	0.55	0.44	0.42	0.84	1.97	2.91	3.85	27.24
18	4.67	4.32	3.86	2.77	1.86	0.72	0.60	0.58	1.06	2.21	3.16	4.10	29.90
19	4.92	4.55	4.11	3.01	2.11	0.91	0.78	0.75	1.29	2.46	3.40	4.35	32.64
20	5.17	4.78	4.36	3.25	2.35	1.11	0.98	0.95	1.53	2.72	3.64	4.60	35.45
21	5.42	5.00	4.61	3.49	2.60	1.33	1.20	1.16	1.77	2.97	3.88	4.85	38.30
22	5.67	5.23	4.86	3.74	2.85	1.56	1.43	1.39	2.02	3.22	4.13	5.10	41.19
23	5.92	5.46	5.11	3.98	3.10	1.79	1.66	1.62	2.26	3.47	4.37	5.35	44.09
24	6.17	5.68	5.36	4.22	3.35	2.03	1.90	1.86	2.50	3.72	4.61	5.61	47.02
25	6.42	5.91	5.61	4.46	3.60	2.27	2.15	2.10	2.74	3.97	4.85	5.86	49.96
26	6.67	6.14	5.87	4.71	3.85	2.51	2.40	2.35	2.99	4.22	5.10	6.11	52.90

Tabel 2.2 Energiforbrug til opvarmning af luft uden varmegenvinding, 8-17; 7 dage om ugen; kWh/m³ pr. år

T_{ind}	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec	Hele året
17	1.62	1.43	1.26	0.79	0.45	0.06	0.05	0.04	0.17	0.60	1.02	1.40	8.89
18	1.71	1.52	1.36	0.88	0.55	0.10	0.09	0.07	0.24	0.69	1.11	1.50	9.81
19	1.80	1.60	1.45	0.97	0.64	0.15	0.14	0.12	0.32	0.78	1.20	1.59	10.77
20	1.90	1.69	1.54	1.06	0.73	0.22	0.20	0.17	0.41	0.88	1.29	1.68	11.77
21	1.99	1.77	1.64	1.15	0.82	0.29	0.27	0.24	0.50	0.97	1.38	1.78	12.81
22	2.09	1.86	1.73	1.24	0.92	0.37	0.34	0.31	0.59	1.06	1.47	1.87	13.86
23	2.18	1.94	1.83	1.33	1.01	0.46	0.42	0.39	0.68	1.16	1.56	1.97	14.93
24	2.27	2.03	1.92	1.43	1.10	0.54	0.51	0.48	0.77	1.25	1.65	2.06	16.02
25	2.37	2.11	2.01	1.52	1.20	0.63	0.60	0.57	0.87	1.35	1.74	2.15	17.11
26	2.46	2.20	2.11	1.61	1.29	0.72	0.69	0.66	0.96	1.44	1.84	2.25	18.22

Energiforbruget for 5 dage om ugen findes ved at gange værdierne med 5/7.

Tabel 1 Luftens vægtfylde og varmfylde

Temperatur °C	Vægtfylde kg/m ³	Varmefylde kJ/kg°C	Varmefylde Wh/m ³ °C
-20	1,395	1,005	0,390
-15	1,368	1,005	0,382
-10	1,342	1,005	0,375
-5	1,317	1,005	0,368
0	1,293	1,005	0,361
5	1,270	1,005	0,354
10	1,247	1,005	0,348
15	1,226	1,005	0,342
20	1,205	1,005	0,336
25	1,184	1,005	0,331
30	1,165	1,005	0,325

Figur 2 viser det årlige elforbrug til nedkøling af 1 m³/h udeluft til en given indblæsningstemperatur. (Er luften koldere, indblæses den som den er). Forudsætninger: Kompressor-køling med effektfaktor 3.0. Komfortanlægget er i drift alle årets timer. Kilde: Glenco

Køling

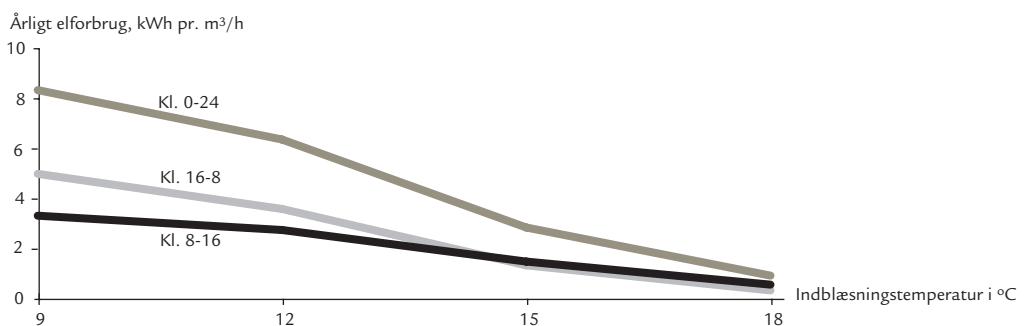
Det er ofte nødvendigt at køle luften for at opretholde et acceptabelt indeklima i bygninger med stort varmetilskud fra solindfald, maskiner, belysning og personer. I BR 95 12.3 Stk.11 kan man læse, hvornår man må installere køleanlæg.

Figur 2 viser energiforbruget til at opretholde en bestemt højeste indblæsningstemperatur. Den viser, at energiforbruget til nedkøling af indblæsningsluften er næsten lige så stort i dagtimerne som i resten af døgnets timer, selv om der kun er halvt så mange timer. Det skyldes, at temperaturen og fugtigheden er højere klokken 8-16.

Figur 2 er ikke justeret for den opvarmning af luften, der sker via den bevægelsesenergi, som luften tilføres i ventilatoren. Er trykstigningen i ventilatoren 1 kPa resulterer det i en opvarmning af luften med ca. 1°C.

Elforbruget til nedkøling af udeluften afhænger naturligvis også af køleanlæggets effektivitet. Et lille, hermetisk køleanlæg – en såkaldt chillerunit – bruger væsentligt mere energi end et stort anlæg. Det viser tabel 3.

Figur 2 Årligt elforbrug til køling



Tabel 3 Relative elforbrug til forskellige køleanlæg for komfortkøling. Kilde: VVS 10.1999

Køleanlæg	Relativt elforbrug
Stort køleanlæg med åben kompressor, vandkølet kondensator og køletårn	100%
Stort køleanlæg med åben kompressor og luftkølet kondensator	150%
Mindre køleanlæg med hermetisk kompressor og luftkølet kondensator	210%

Gode råd

- Reducer belastningen af varme (solindfald, interne varmekilder), fugt og forurening
- Større kilder til varme, fugt og forurening bør indkapsles, så der kan foretages punktudsugning
- Anvend behovsstyring af ventilationsmængden
- Stop ventilationen uden for lokalernes brugstid, men start igen tidligt nok til at fjerne afgasningsprodukter
- Tryktabet over grovfiltere bør højst være 40/120 Pa (begyndelses/sluttryk) og over finfiltere højst 100/200 Pa
- Hold indblæsningstemperaturen så lav som muligt, når luften opvarmes, og så høj som mulig ved køling
- Genvind varme/kulde, hvor det er muligt
- Nedkøl bygningsmassen med kold luft om natten
- Anvend hellere et fælles, større køleanlæg end flere små chillerunits.

Kilder og yderligere oplysninger

- *Energibevist projektering af ventilationsanlæg*. Glenco, 1999
- *Komfortkøling*: Energiforbruget. Gunnar Minds. VVS 10, 1999
- *Industrial Ventilation*. Teuro Aro og Krister Koivula, CADDET, 1993
- *Ventilation Ståbi*. Teknisk Forlag, 1996.
- *Varme- og klimateknik*. Grundbog. Danvak, 2. udgave. 1997