

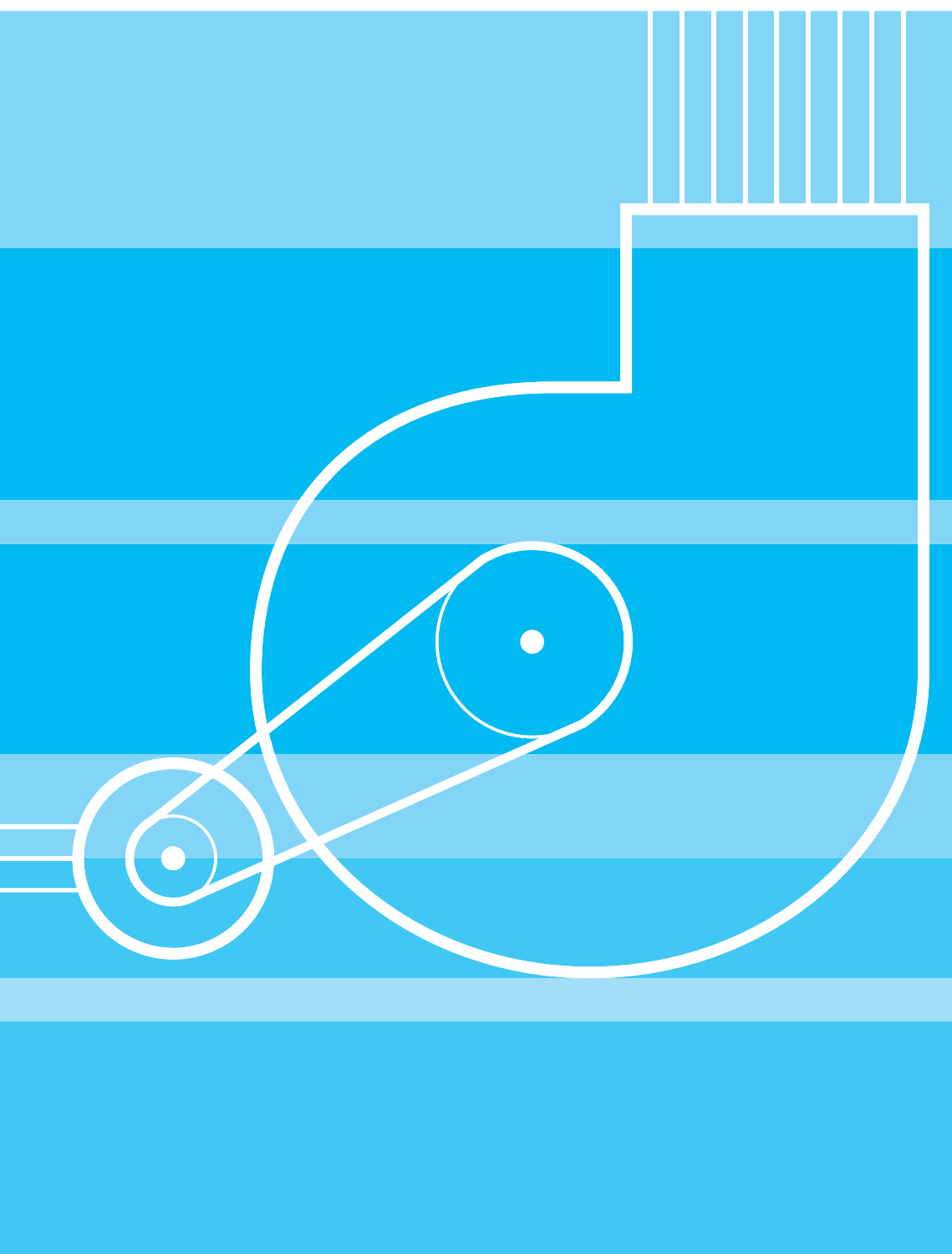
By og Byg Resultater 026

Lavt elforbrug til ventilation

Gode råd i projekteringsfasen



Statens Byggeforskningsinstitut
Danish Building and Urban Research



Lavt elforbrug til ventilation

Gode råd i projekteringsfasen

Lennart Jagemar
Niels C. Bergsøe

| | |
|-------------------------|--|
| Titel | Lavt elforbrug til ventilation |
| Undertitel: | Gode råd i projekteringsfasen |
| Serietitel | By og Byg Resultater 026 |
| Udgave | 1. udgave |
| Udgivelsesår | 2003 |
| Forfattere | Lennart Jagemar, Niels C. Bergsøe |
| Sprog | Dansk |
| Sidetæl | 18 |
| Litteratur-henvisninger | Side 18 |
| Emneord | Ventilationsanlæg, elforbrug, energibesparelse |
| ISBN | 87-563-1161-3 |
| ISSN | 1600-8049 |
| Pris | Kr. 62,50 inkl. 25 pct. moms |
| Omslag | Marie Lübecker |
| Tryk | BookPartner, Nørhaven digital A/S |
| Udgiver | By og Byg Statens Byggeforskningsinstitut, P.O. Box 119, DK-2970 Hørsholm E-post by-og-byg@by-og-byg.dk www.by-og-byg.dk |

Eftertryk i uddrag tilladt, men kun med kildeangivelsen: *By og Byg Resultater 026: Lavt elforbrug til ventilation. Gode råd i projekteringsfasen. (2003)*

Indhold

| | |
|--|----|
| Forord | 4 |
| Sammenfatning | 5 |
| Myndighedskrav | 7 |
| Energiforbrug til lufttransport | 7 |
| Ventilationens størrelse | 7 |
| Overvejelser i projekteringsfasen | 9 |
| Begrænsning af system- og tryktabet | 9 |
| Anvendelse af energieffektivt ventilationssystem med høj virkningsgrad | 10 |
| Optimal <i>SEL</i> | 11 |
| Totalt elforbrug og køling | 14 |
| Måling | 16 |
| Litteratur | 18 |

Forord

Denne vejledning knytter sig til 'By og Byg Dokumentation 039: Målinger på ventilationsanlæg med lavt elforbrug i nyere kontorbygninger' (2003). Rapporten og vejledningen er resultater af et forskningsprojekt, som har omfattet såvel feltmålinger på et antal ventilationsanlæg i nyere kontorbygninger som en række tekniske og økonomiske beregninger. Formålet med projektet har været at vurdere mulighederne for at mindske elforbruget til ventilation og at begrænse det samlede energiforbrug til ventilation og køling i nyere kontorbygninger.

Med rapporten som baggrundsmateriale behandler denne vejledning de energibesparelsesmuligheder og praktiske projekteringshensyn, som er forbundet med udformning af energieffektiv ventilationen i ikke blot kontorbygninger, men i alle bygninger med komfortventilationsanlæg. Både rapporten og denne vejledning henvender sig til rådgivende og projekterende ingeniører, ejere af erhvervsbyggeri og bygherrer samt til producenter og leverandører af ventilationsanlæg.

Projektleder og forfatter til rapporten har været Docent, Ph. D. Lennart Jagemar fra Chalmers Tekniska Högskola, Institutionen för installationsteknik i Göteborg. Lennart Jagemar har under hovedparten af projektforsøget været indstationeret som gæsteforsker ved Statens Byggeforskningsinstitut, Afdelingen for Energi og Indeklima.

Projektet er gennemført med støtte fra Energistyrelsen, Miljø- og Energi ministeriet under titlen *Ventilationsanlæg med lavt energiforbrug i kontorbygninger* og j.nr. 731327/98-0163.

By og Byg, Statens Byggeforskningsinstitut
Afdelingen for Energi og Indeklima
December 2002

Erik Christophersen
Forskningschef

Sammenfatning

Over 10 pct. af Danmarks samlede elforbrug anvendes til drift af ventilatorer, og af dette forbrug går hovedparten til ventilation i erhvervsbyggeri herunder kontorbygninger. Med henblik på at reducere den del af elforbruget, som vedrører driften af ventilatorer, blev der i 1995 indført bestemmelser i bygningsreglementet angående eleffektiviteten af ventilationsanlæg. Reglementet sætter en øvre grænse for det specifikke elforbrug til lufttransport (*SEL*).

Baggrund

I begyndelsen af 1990'erne, altså før indførelsen af ovennævnte bestemmelse, gennemførte Statens Byggeforskningsinstitut feltmålinger i 12 kontorbygninger af elforbruget til mekanisk ventilation (Olufsen, 1993). Målingerne dokumenterede ventilatorernes luftydelse, eleffekter og drifttider, men det blev ikke vurderet, om det målte specifikke elforbrug var højt, og hvad der i givet fald i praksis kunne gøres for at sænke forbruget.

Feltemålingerne blev efterfulgt af SBI-anvisning 188 (Olufsen, 1995). Anvisningen behandler forhold, som er væsentlige at inddrage i overvejelserne i forbindelse med projektering af ventilationsanlæg, for at der kan opnås høj energieffektivitet ved lufttransport, samtidig med at anlæggene skal sikre et sundhedsmæssigt tilfredsstillende indeklima. Anvisningen er hovedsagelig baseret på fabrikantdata og teoretiske beregninger, da der ikke på det tidspunkt fandtes anlæg, som gennem feltemålinger kunne anvendes til at verificere beregningerne.

Statens Byggeforskningsinstitut har nu gennemført nye feltemålinger på et antal ventilationsanlæg i nyere kontorbygninger (Jagemar, 2003). Det er blandt andet undersøgt, om ventilationsanlæggene i praksis opfylder bygningsreglementets krav til maksimal *SEL*. Målingerne har sammen med en række tekniske og økonomiske beregninger haft til formål at danne et grundlag for vurderinger af mulighederne for yderligere nedbringelse af elforbruget til ventilation, herunder reduktion af tryk- og systemtabene i anlæggene og anvendelse af udeluft og større volumenstrøm fremfor mekanisk køling.

Denne vejledning knytter sig til rapporten og fremhæver særlige energibesparelsemuligheder i forbindelse med projektering af komfortventilation.

Muligheder for elbesparelser på ventilation

Bygningsreglementet fra 1995 sætter en øvre grænse for det specifikke elforbrug til lufttransport, *SEL*. Formålet med bestemmelsen er at begrænse ventilatorernes elforbrug, uden at hensynene til komfort og hygiejne tilside sættes.

For at opnå et ventilationssystem med lav *SEL*, skal det tilstræbes, at tryktabene i såvel aggregat som kanalnet er lave, og at ventilator, transmission og motor har høje virkningsgrader.

Tryktab i ventilationsaggregat og kanalnet kan nedbringes ved at udforme kanalføringen omkring aggregatet hensigtsmæssigt så luftens rotationsretning ikke brydes, og så der er god afstand til fx lyddæmpere.

Samtidig er det vigtigt, at der fokuseres på at undgå dimensionsændringer af kanalerne, at anvende runde kanaler, at afpasse kanaldimensionerne så lufthastigheden ikke overstiger ca. 7 m/s, at begrænse antallet af bøjninger og afgreninger og at anvende store krumningsradier.

Der kan opnås høje virkningsgrader af ventilator, transmission og motor ved at anvende Spareventilatorer® og Sparemotorer®. Yderligere oplysninger kan findes på www.spareventilator.dk og www.sparemotor.com.

I (Jagemar, 2003) er der gennemført analyser af de økonomiske konsekvenser ved – ved en given volumenstrøm – at vælge større aggregat. Formålet har været, at vurdere om det ud fra et totaløkonomisk synspunkt kan være fornuftigt at vælge aggregatstørrelse med henblik på yderligere reduktion af *SEL*. Analyserne har vist, at under de antagne forudsætninger om driftstider, elpriser og investeringer vil en økonomisk motiveret optimal *SEL* ligge under kravet i Bygningsreglementet fra 1995.

I kontorbygninger er der ofte et kølebehov, og i (Jagemar, 2003) er der gennemført teoretiske beregninger af elforbruget i kontorbyggeri med ventilationsanlæg henholdsvis med og uden mekanisk køling af indblæsningsluften. Såfremt luften ikke køles mekanisk, sker det ved udeluft og forøget volumenstrøm. Syv forskellige ventilationsanlæg er undersøgt, og beregningerne har vist, at der er kun små forskelle i det totale elforbrug til ventilatorer og kølemaskiner, såvel mellem CAV-anlæg og VAV-anlæg som mellem anlæg med og uden mekanisk køling. En forudsætning ved beregningerne har været, at der uanset ventilationsprincip og uanset køleprincip opretholdes samme termiske indeklimaforhold i bygningens kontorer. Beregningerne viser, at selvom alle de simulerede anlæg overholder dimensioneringskravene, opnås der meget forskellige termiske indeklimaforhold i bygningen.

Myndighedskrav

Myndighedsbestemmelser i relation til energiforbruget til mekanisk ventilation findes i bygningsreglementet, BR 95, med henvisninger til Norm for ventilationsanlæg DS 447 (Dansk Standard, 1981). Desuden indeholder bygningsreglementet krav til udelufttilførsels størrelse.

Energiforbrug til lufttransport

Ifølge Bygningsreglementet fra 1995 stilles der bl.a. følgende krav til ventilationsanlæg:

- De skal generelt udføres energimæssigt forsvarligt (12.3, stk. 1)
- De skal som hovedregel forsynes med effektive energigenvindingsaggregater (12.3, stk. 8).
- Anlæg for køling af indblæsningsluften må kun installeres, når tilfredsstillende indeklimaforhold herved opnås energioekonomisk hensigtsmæssigt og andre foranstaltninger, fx solafskærmning, ikke er tilstrækkelige (12.3, stk. 11).

Elforbruget til lufttransport (*SEL*)

Det specifikke elforbrug til lufttransport (*SEL*) defineres som forholdet mellem en ventilators effektbehov [W] og volumenstrømmen gennem ventilatoren [m^3/s]. Gældende for komfortventilationsanlæg sætter BR 95 følgende øvre grænser for *SEL* (12.3, stk. 9):

- For anlæg med konstant luftydelse under drift må *SEL* ikke overstige $2500 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{s})$ udeluft
- For anlæg med variabel luftydelse må *SEL* ikke overstige $3200 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{s})$ udeluft ved maksimal ydelse.

I bygningsreglementet er *SEL*-kravet angivet ved enheden J/m^3 , men i praksis anvendes oftere den ækvivalente enhed $\text{W}/(\text{m}^3/\text{s})$. Reglementets bestemmelse om en øvre grænse for *SEL* indebærer, at der indirekte sættes en øvre grænse for det samlede tryktab i anlægget.

Ventilationens størrelse

Fastlæggelse af ventilationens størrelse afhænger blandt andet af bygnings og rummenes brug, herunder personbelastning, forureningsbelastning og indretning samt udeklimaets indflydelse på indeklimaet. I det følgende fremhæves blot nogle få størrelsesordener.

DS 447 opererer med følgende retningslinjer:

- I røgfrie rum for stillesiddende, ikke-forurenende arbejde sættes den hygiejnisk betingede udelufttilførslen til 4 l/s pr. person. Ved normal rumhøjde og en personbelastning på 0,1 person pr. m^2 svarer dette til et luftskifte på ca. $0,5 \text{ h}^{-1}$.
- I rum med tobaksrygning sættes udelufttilførslen til 10 l/s pr. person svarende til et luftskifte på ca. $1,3 \text{ h}^{-1}$.

BR 95 stiller følgende krav:

- I dag- og døgninstitutioner skal udelufttilførslen i opholdsrum være mindst 3 l/s pr. barn samt 0,4 l/s pr. m² gulv (11.2.3, stk. 1).
- I undervisningsrum i skoler og lignende rum med høj personbelastning skal den personrelaterede udelufttilførsel sættes til 5 l/s pr. person (11.2.3, stk. 2). Ved en rumhøjde på 3 m og en personbelastning på 0,5 person pr. m² svarer kravet til et luftskifte på ca. 3,5 h⁻¹.

I Indeklimahåndbogen (Valbjørn, 2000) er blandt andet ventilation og luftkvalitet behandlet, ligesom de grundlæggende parametre for fastlæggelse af ventilationsbehovet er beskrevet.

Overvejelser i projekteringsfasen

Ved projektering af et ventilationsanlæg er ventilationens størrelse normalt givet ud fra myndighedskrav og bygherrens specifikationer.

I projekteringsfasen bør der dog indgå energiøkonomiske overvejelser vedrørende den del af energiforbruget, som er forbundet med transport af luften i ventilationsanlægget. Dette energiforbrug kan reduceres ved:

- At begrænse systemtabet i ventilationsanlægget
- At begrænse tryktabet
- At anvende en energieffektiv ventilator, transmission og motor

Projekteringsfasen bør desuden omfatte anlægs- og driftsøkonomiske overvejelser vedrørende:

- Valget af aggregatstørrelse under hensyntagen til *SEL*
- Muligheden for at anvende udeluft og større volumenstrøm fremfor mekanisk køling

Begrænsning af system- og tryktab

I komfortventilationsanlæg vil der navnlig forekomme tryktab følgende steder i systemet:

- I kanaltilslutningerne ved ventilationsaggregatets ind- og udløb, såkaldte systemtab
- I enkeltkomponenter i kanalnettet, dvs. bøjninger, afgreninger, lyddæmpere, spjæld mv.
- I lige kanalstrækninger som følge af almindelig friktionsmodstand.

Tryktab ved ind- og udløb

Tilslutningskanalen til ventilatorens udløb ses ofte u hensigtsmæssigt udformet, og fx er det ikke ualmindeligt, at der er anvendt større kanaldimension end selve udløbsåbningen. Kanaludvidelser medfører en betydelig forringelse af ventilatorens virkningsgrad og et unødvendigt tryktab, hvis størrelse blandt andet afhænger af luftens hastighed henholdsvis før og efter dimensionsændringen.

Tryktab i enkeltkomponenter

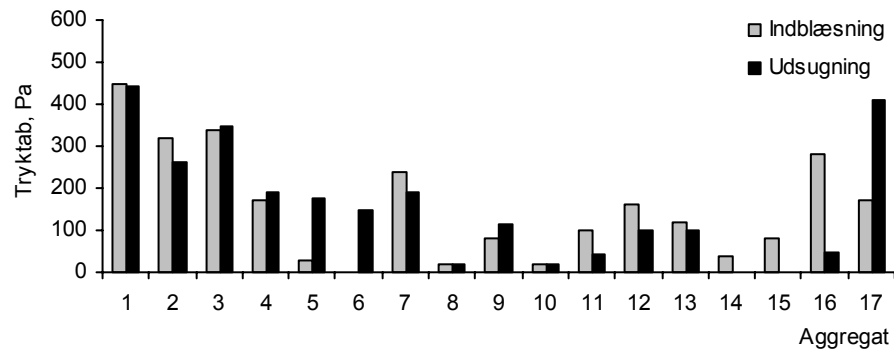
Oftentimes er lyddæmpere, spjæld og lignende enkeltmodstande placeret for tæt på ventilationsaggregatets udløb, og bøjninger kan være anbragt på en sådan måde, at luftens rotationsretning i udløbet brydes.

Den almindelige årsag til en uheldig opbygning omkring ventilationsaggregatet er pladsmæssige begrænsninger, men det bør alligevel tilstræbes, at enkeltmodstande anbringes i en afstand fra udløbet af mindst 2 gange udløbets diameter.

Systemtabet kan udgøre 10-15 pct. af det samlede tryktab i et anlæg. Figur 1 viser resultater af feltmålinger af tryktab i kanalsystemet nær ventilationsaggregatet (Jagemar, 2003).

Selve kanalnettet bør i videst muligt omfang tilrettelægges, så antallet af enkeltmodstande begrænses. Det anbefales, at bøjninger udformes, så bøjningens radius mindst er lig med kanalens diameter, og afgreninger bør være i højst 45° vinkel med hovedkanalen. Eksempelvis vil tryktabet i afgreningen i et T-stykke med 45° afbøjninger efterfulgt af en 45° bøjning og ved en

lufthastighed på 5 m/s være 15 Pa lavere end i et T-stykke med 90° afgreninger (Jagemar, 2003).



Figur 1. Målt tryktab i kanalsystemet nær ventilationsaggregatet (Jagemar, 2003).

Tryktab i lige kanalstrækninger

Generelt bør kanalsystemet udformes i runde kanaler fremfor rektangulære og i rigelig dimension med henblik på at begrænse lufthastigheden. Med udgangspunkt i producenternes standardstørrelser af runde kanaler vil en forøgelse af kanaldimensionen fra én dimension til nummeret større reducere lufthastigheden med ca. 35 pct. og tryktabene med ca. 60 pct.

Hvis der anvendes runde kanaler, og dimensionen afpasses, så lufthastigheden i kanalen ikke overstiger ca. 7 m/s, vil tryktabet være lille; i størrelsesordenen mindre end 1 Pa pr. meter kanal.

Høj lufthastighed i kanalsystemet, hvad enten årsagen er små kanaldimensioner eller større volumenstrøm end projekteret på grund af lækage, vil ikke blot øge energiforbruget, men vil også medføre unødvendig forøgelse af støjniveauet fra ventilationen.

Virkningsgrader

Et led i nedbringelsen energiforbruget til transport af luft i et ventilationsanlæg er at anvende energieffektiv ventilator, transmission og motor.

Spareventilator®

De danske elselskaber har iværksat en kampagne, som omfatter energibesparelser indenfor ventilation med særlig fokus på selve ventilatoren. Elselskaberne har indført betegnelsen Spareventilator® for en ventilator, som lever op til elselskabernes krav om høj energieffektivitet. Der stilles krav dels til ventilatorens virkningsgrad dels til reguleringsområdet.

Spareventilatorer® vil ofte være lidt dyrere i anskaffelse end standardventilatorer, men meromkostningerne vil normalt i løbet af få år blive opvejet af et lavere energiforbrug. Yderligere oplysninger og elselskabernes Spareventilator®-liste findes på www.spareventilator.dk.

Transmission

En almindelig form for kraftoverføring mellem motor og ventilator er et kile- eller fladremstræk. Virkningsgraden af remtrækket afhænger af den afgivne motoreffekt med lave virkningsgrader ved små motoreffekter. Ved en afgiven motoreffekt omkring 0,5 kW vil virkningsgraden af et korrekt dimensioneret kileremstræk være i størrelsesordenen 85-90 pct., mens virkningsgraden ved 1 kW afgiven effekt kan være lidt over 90 pct. Ved motoreffekter større end ca. 10 kW vil virkningsgraden være omtrent uafhængig af motoreffekten og ca. 95 pct.

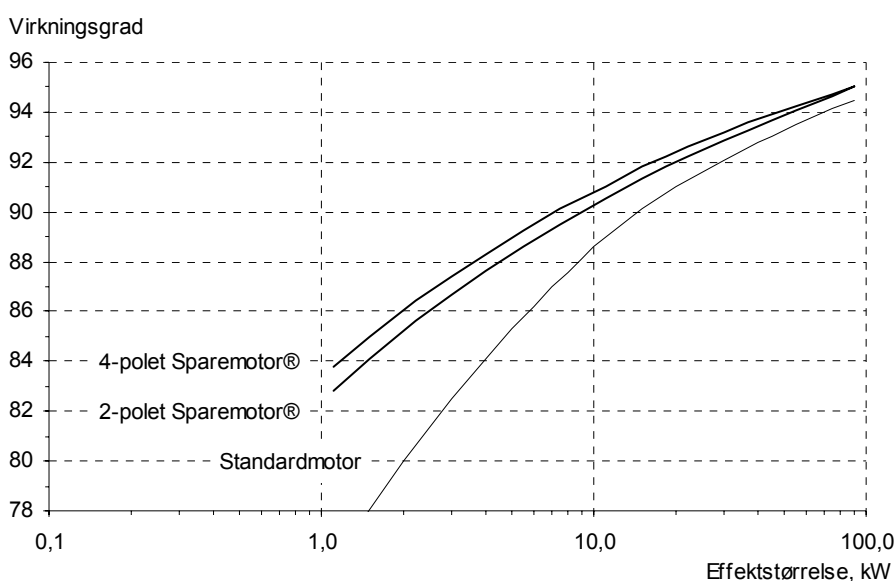
Virkningsgraden af remtrækket afhænger desuden af omløbstallet idet friktionskræfter får relativt større betydning ved aftagende omløbstal. Endelig falder remtrækkets virkningsgrad, hvis remtrækket er overdimensioneret,

hvis remmene er slappe eller hvis remskiverne er for små og/eller skiverne ikke står på linje. Det anbefales at anvende større remskiver og færre remme fremfor mindre skiver og flere remme.

Motoraksel og ventilatoraksel kan også være direkte koblet. Ventilatorydelsen reguleres ved at ændre motorens omløbstal ved hjælp af en frekvensomformer. Metoden medfører særlige elektriske tab i omformereren og motoren, som kan være i størrelsesordenen som de bedste remtræk.

Sparemotor®

Energistyrelsen har udarbejdet en standardløsning for drev – *Standardløsning – Sparemotor®, transmission og elektronisk regulering*. Energistyrelsens standardløsning ligger til grund for elselskabernes definition på en Sparemotor®, som er en elmotor, som overholder krav til virkningsgraden, se Figur 2 og www.sparemotor.com. Såfremt den pågældende motor lever op til kravene, kan motoren optages på listen over motorer i effektivitetsklassen EFF1 efter EU/CEMEP (European Committee of Manufacturers of Electrical Machines and Power Electronics).

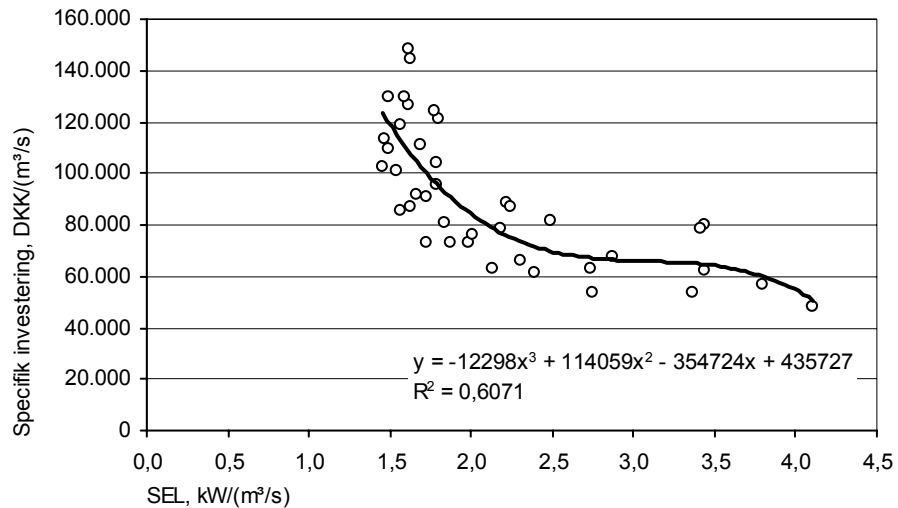


Figur 2. Elselskabernes virkningsgradskrav til henholdsvis 4- og 2-polede Sparemotorer® i afhængighed af motorens effektstørrelse. Desuden vises typiske virkningsgrader for standardmotorer.

Optimalt specifikt elforbrug til lufttransport (SEL)

Som nævnt i afsnittet 'Elforbruget til lufttransport (SEL)' i kapitlet om myndighedskrav sætter BR 95 en øvre grænse for et ventilationsanlægs specifikke elforbrug til lufttransport (SEL).

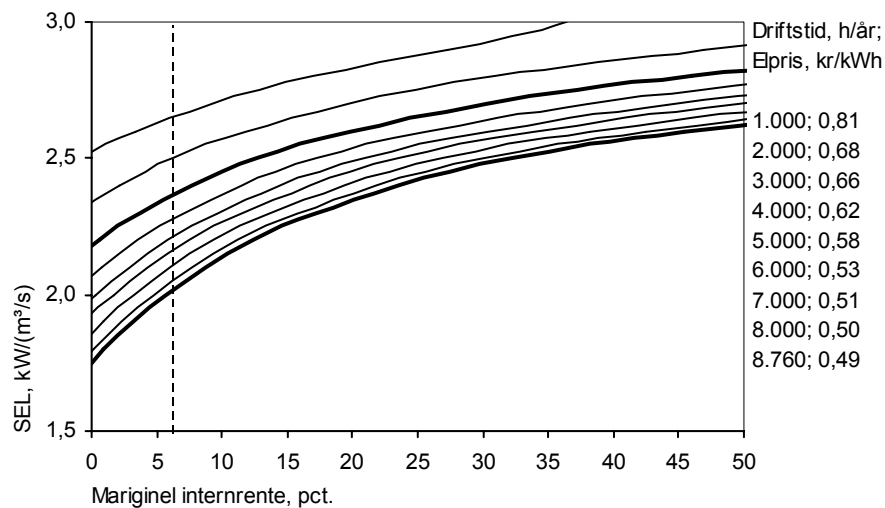
Med henblik på at vurdere om det ud fra et totaløkonomisk synspunkt kan være fornuftigt at vælge aggregatstørrelse med tanke på yderligere reduktion af SEL, er der i (Jagemar, 2003) gennemført analyser af de økonomiske konsekvenser ved – ved en given volumenstrøm – at vælge større aggregat. Analyserne er baseret på forudsætninger om anlægsopbygning herunder tryktab i og uden for anlægget samt driftstider, elpriser og investeringer. Som grundlag for investeringsberegningerne er anvendt listepriiser 1998 excl. moms fra ABB Ventilation (Fläkt (Danmark) A/S). Såvel mindre aggregater (1,5-3,5 m³/s) som større aggregater (3-12 m³/s) indgår i analyserne, og for hver aggregatstørrelse er det antaget, at der er anvendt dels ventilatorer med gennemsnitlig virkningsgrad dels ventilatorer med høj virkningsgrad. For hver gruppe er den specifikke investering som funktion af SEL beskrevet ved en regressionskurve. Figur 3 viser et eksempel.



Figur 3. Specifik investering som funktion af SEL for mindre aggregater (1,5 – 3,5 m³/h) udstyret med ventilatorer med høj virkningsgrad.

Med udgangspunkt i regressionskurverne og under antagelser om driftstider og dermed sammenhørende elpriser er den marginelle internrente beregnet. Som elpris er anvendt NESAs tidstarif for erhvervs kunder excl. moms og energiafgifter. Den marginelle internrente udtrykker i denne sammenhæng forrentningen af den ekstrainvestering, som reducerer SEL med 0,1 kW/(m³/s) fra et givet SEL.

Figur 4 viser som eksempel optimal SEL som funktion af den marginelle internrente for mindre aggregater udstyret med ventilatorer med høj virkningsgrad. Af figuren ses, at for et internrentekrav på eksempelvis 6 procent og en driftstid for aggregatet på 3000 h/år, er optimal SEL ca. 2,3 kW/(m³/s). Ved kontinuerlig drift, dvs. 8760 driftstimer pr. år, er optimal SEL ca. 2,0 kW/(m³/s).



Figur 4. Optimal SEL som funktion af marginel internrente for mindre aggregater (1,5 – 3,5 m³/h).

Sammenfattende har analyserne vist, at under de givne forudsætninger er totaløkonomisk optimal SEL ca. 2,0 kW/(m³/s), når det gælder mindre aggregater med lange driftstider og større aggregater udstyret med ventilatorer med gennemsnitlig virkningsgrad. For større aggregater med ventilatorer med høj virkningsgrad og lange driftstider er optimal SEL ca. 1,7 kW/(m³/s).

Analysen af beregningernes følsomhed over for antagelserne angående de specifikke investeringer og den forudsatte elpris viser, at såfremt investeringerne antages 20 procent lavere, eller elprisen antages 50 procent højere, medfører dette en kun lidt lavere totaløkonomisk optimal SEL, og konklusionerne ændres således ikke.

Endvidere er det vist, at såfremt der indregnes moms på den specifikke investering og såvel moms som energifgift på elprisen, vil en økonomisk motiveret *SEL* også i dette tilfælde ligge under kravet i BR 95.

De specifikke investeringer er i analyserne baseret på middelværdier for mange forskellige aggregatstørrelser og ved mange forskellige volumenstrømme. Det er derfor altid nødvendigt i en aktuel situation at gennemføre konkrete beregninger af lønsomheden.

Totalt elforbrug og køling

I kontorbygninger er der ofte et varmeoverskud. Under projektering af ny-byggeri må der derfor træffes et valg mellem anvendelse af mekanisk køling eller udeluft med forøget volumenstrøm.

I (Jagemar, 2003) er der gennemført en teoretisk analyse af elforbruget til ventilatorer og køling i kontorbyggeri henholdsvis med og uden mekanisk køling af indblæsningsluften.

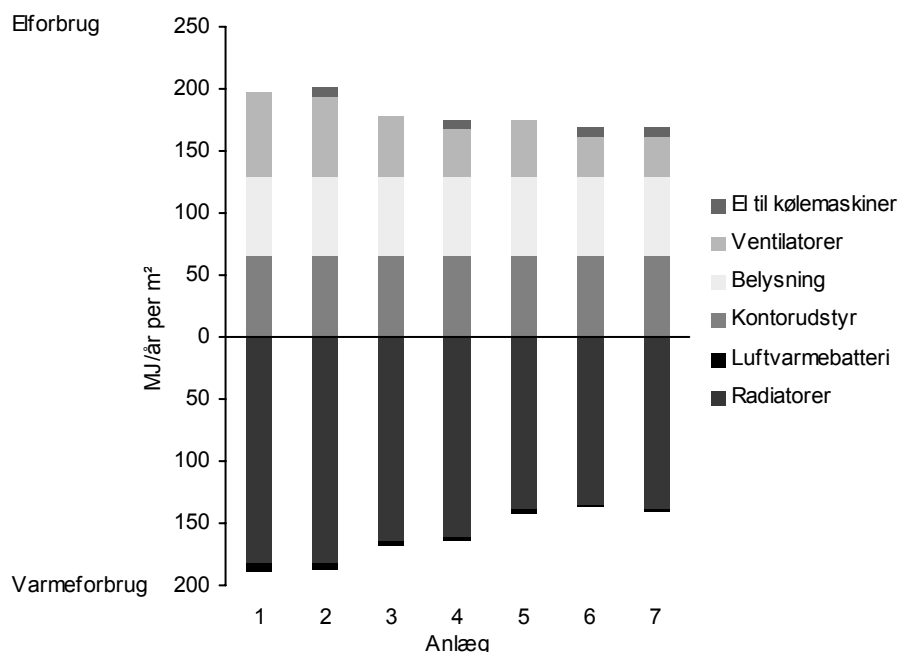
Ved hjælp af simuleringsprogrammet tsbi3 (Johnsen, Grau & Christensen, 1993) er der gennemført beregninger for en tænkt kontorbygning med syv forskellige ventilationsanlæg. Tsbi3 er siden efterfulgt af programpakken Bsim2002, som kan bruges, hvis man ønsker at foretage lignende beregninger for et konkret byggeri. Beregningerne omfatter både konstantvolumenstrømsanlæg (CAV) og variabelvolumenstrømsanlæg (VAV). Følgende typer af ventilationsanlæg har indgået i analyserne:

- 1 CAV-anlæg uden mekanisk køling; 100 procent volumenstrøm i dagtimerne hele året; natventilation med konstant 100 procent volumenstrøm
- 2 CAV-anlæg med mekanisk køling; 100 procent volumenstrøm i dagtimerne hele året; ingen natventilation
- 3 CAV-anlæg uden mekanisk køling; 100 procent volumenstrøm i dagtimerne i sommerhalvåret og 2/3 volumenstrøm i dagtimerne resten af året; ingen natventilation
- 4 CAV-anlæg med mekanisk køling; 100 procent volumenstrøm i dagtimerne i sommerhalvåret og 2/3 volumenstrøm i dagtimerne resten af året; natventilation med konstant 100 procent volumenstrøm
- 5 VAV-anlæg uden mekanisk køling; natventilation med 100 procent volumenstrøm
- 6 VAV-anlæg med mekanisk køling i dagtimerne hele året; ingen natventilation
- 7 VAV-anlæg med mekanisk køling i dagtimerne hele året; mekanisk natventilation hvis påkrævet

I beregningerne er det forudsat, at ventilationsanlæggene er dimensioneret således, at der kan opretholdes samme termiske indeklime i kontorerne både om sommeren og om vinteren. Det termiske indeklime er givet ved tre dimensioneringspunkter, dvs. tre rumtemperaturer, som højst må underskrides henholdsvis overskrides en nærmere angivet procentdel af arbejdstiden. Dimensioneringspunkterne er nærmere beskrevet i rapporten (Jagemar, 2003), ligesom der er givet en detaljeret beskrivelse af den simulerede kontorbygning, herunder konstruktionsforhold, rumvolumener, zoneinddeling, vinduesarealer, opvarmning, belysning, person- og varmebelastning, ventilationsluftmængder mv. Som udeklime er anvendt referencevejrdata for København.

Ventilatorerne i VAV-anlæggene antages reguleret ved hjælp af frekvensomformere. Desuden er det antaget, at bygningen er udformet på en sådan måde, at ventilationsluften opnår god kontakt med tunge bygningsdele, fx betonetagedæk.

Resultaterne af simuleringerne viser, at alle de simulerede ventilationsanlæg opfylder dimensioneringskravene til det termiske indeklime, men med meget forskellige gennemsnitlige temperaturforhold i kontorerne om sommeren. Alle anlæg med mekanisk køling, også det med mekanisk natventilation, giver en højere rumtemperatur end anlæg uden køling. Årsagen er, at natventilation ikke anvendes i tre af anlæggene, og at volumenstrømmen reduceres til ca. 40 procent i VAV-anlægget med mekanisk natventilation.



Figur 5. Totalt årligt el- og varmeforbrug i MJ/år per m². Anlæggene 1-7 er:

1. CAV-anlæg uden mek. køling; 100 procent volumenstrøm i dagtimerne hele året; natventilation med konstant 100 procent volumenstrøm
2. CAV-anlæg med mek. køling; 100 procent volumenstrøm i dagtimerne hele året; ingen natventilation
3. CAV-anlæg uden mek. køling; 100 procent volumenstrøm i dagtimerne i sommerhalvåret og 2/3 volumenstrøm i dagtimerne resten af året; ingen natventilation
4. CAV-anlæg med mek. køling; 100 procent volumenstrøm i dagtimerne i sommerhalvåret og 2/3 volumenstrøm i dagtimerne resten af året; natventilation med konstant 100 procent volumenstrøm
5. VAV-anlæg uden mek. køling; natventilation med 100 procent volumenstrøm
6. VAV-anlæg med mek. køling i dagtimerne hele året; ingen natventilation
7. VAV-anlæg med mek. køling i dagtimerne hele året; mek. natventilation hvis påkrævet

Figur 5 viser resultater af simuleringerne, hvad angår det totale el- og varmeforbrug i den simulerede bygning. Elforbruget til ventilatorerne udgør 15-30 procent af det samlede elforbrug. Der ses kun små forskelle i anlæggenes samlede elforbrug henholdsvis uden og med mekanisk køling.

Det største varmeforbrug ses ved anlæggene 1 og 2, som er CAV-anlæg med 100 procent volumenstrøm i dagtimerne hele året. Ved at nedregulere volumenstrømmen i dagtimerne uden for sommerhalvåret (anlæg 3 og 4) reduceres varmeforbruget, og VAV-anlæggene, som kontinuert regulerer volumenstrømmen, har det laveste varmeforbrug.

Ventilatordriften til natventilation om sommeren medfører et lidt højere elforbrug, hvilket også fremgår af efterfølgende Tabel 1, som viser elforbruget til ventilatorer og kølemaskiner.

Tabel 1. Elforbrug til ventilatorer og kølemaskiner. Vedrørende beskrivelser af anlæggene 1-7 henvises til figurteksten til Figur 5.

| | Elforbrug MJ/år per m ² | | | Total elforbrug |
|--------------------|------------------------------------|-------------------|--------|-----------------|
| | Ventilatorer, CAV | Ventilatorer, VAV | Køling | |
| Anlæg 1 (SEL=2,17) | 67 | | | 67 |
| Anlæg 2 (SEL=2,50) | 65 | | 8 | 73 |
| Anlæg 3 (SEL=2,17) | 58 | | | 58 |
| Anlæg 4 (SEL=2,50) | 51 | | 8 | 59 |
| Anlæg 5 (SEL=2,87) | | 46 | | 46 |
| Anlæg 6 (SEL=3,20) | | 32 | 8 | 40 |
| Anlæg 7 (SEL=3,20) | | 32 | 8 | 40 |

Måling af elforbruget til ventilation

Et ventilationsanlægs effektbehov er almindeligvis estimeret beregningsmæssigt bedst muligt under detailprojekteringen, men det kan blive ændret temmelig meget i praksis i forbindelse med udførelse og indregulering.

Der er generelt stor usikkerhed på tryktabsberegninger på projekteringsstadiet, og samtidig kan kanaldimensioner, kanalføringer og enkeltmodstande, dvs. bøjninger, afgreninger, lyddæmpere etc., i praksis adskille sig fra det projekterede.

Korrigerende af volumenstrømmene på det færdige anlæg til det foreskrevne sker ofte ved regulering af ventilatorernes omløbstal og justering af spjæld. Ventilatormotorers effektoptagelse varierer stærkt med omløbstallet, og der kan derfor forekomme betydelige forskelle på forhåndsberegnete værdier af det specifikke elforbrug (*SEL*) og værdier bestemt ved måling efter afsluttet indregulering af ventilationsanlægget.

Det fremgår af definitionen på *SEL*, at bestemmelse af et ventilationsanlægs *SEL* omfatter måling af effekter og volumenstrømme. Hvad angår beskrivelser af måleudstyr til effektmåling og volumenstrømsmåling samt vejledning i udførelse af målinger i praksis henvises til SBI-anvisningerne 188 (Olufsen, 1995) og 106 (Valbjørn, 1993).

I feltundersøgelsen (Jagemar, 2003) af blandt andet elforbruget i mere end 25 ventilationsanlæg blev der foretaget en sammenligning af frekvensomformerens udlæsning af aktiv effekt og beregninger baseret på målinger af strøm, spænding og effektfaktor. Ca. 1/3 af de undersøgte anlæg var udstyret med frekvensomformer. Der blev generelt fundet god overensstemmelse mellem frekvensomformerens udlæsning og måleresultatet.

Måling af volumenstrømmen

Foruden måling af effekter forudsætter bestemmelse af et ventilationsanlægs *SEL*, at det er muligt at foretage pålidelige målinger af volumenstrømmene i anlæggets hovedkanaler.

Anlægsudformningen bør derfor fastlægges ikke blot med henblik på at reducere tryktabene i aggregatets ind- og udløb, se afsnittet Begrænsning af system- og tryktab side 9, men også under hensyntagen til muligheden for at kunne foretage pålidelige målinger af volumenstrømmene.

Måling af lufthastigheder med varmetrådanemometer

Baseres målingerne fx på måling af lufthastigheder ved traversering over et kanaltværsnit med et varmetrådsanemometer, er resultaterne stærkt afhængige af luftens strømningsprofil i kanalen ved målestedet. Målestedet bør derfor vælges i en lige kanalstrækning i tilstrækkelig afstand fra strømningens forstyrrende komponenter.

Som hovedregel skal målestedet placeres i en afstand af 8-10 gange kanalens diameter efter bøjninger, spjæld og lignende, og der skal være en afstand på 2-3 gange diameteren til den næste enkeltmodstand. I praksis har det vist sig, at det i mange tilfælde kan være vanskeligt at finde passende målesteder.

Måling ved hjælp af sporgas

I forbindelse med ovennævnte feltundersøgelse (Jagemar, 2003) anvendtes sporgasteknik til måling af volumenstrømme, fordi det i så godt ingen af til-

fældene lod sig gøre at foretage sikre målinger ved hjælp af traversering. Anvendelse af sporgasteknik stiller ikke samme krav til placeringen af målestedet; tværtimod kan strømningsforstyrrelser være en fordel, idet sporgasens opblanding med ventilationsluften derved fremmes.

Volumenstrømsmåling kan også foretages ved måling af trykfaldet over en komponent, fx et spjæld og aflæsning i trykfaldsdiagrammet for komponenten. Trykfaldsdiagrammet angiver trykfaldet som funktion af volumenstrømmen. Metoden er dog usikker, og bør kun anvendes til orienterende målinger.

Måling ved hjælp af fast måleudstyr

Der kan også indbygges fast måleudstyr til volumenstrømsmåling, fx måleblander, målebøjninger eller korsrør med tilhørende manometre.

En forudsætning for at sådant udstyr er formålstjenligt er, at der allerede under detailprojektering af anlægget tages hensyn til kanalføring, placering af målesteder og en eventuel tryktabsforøgelse i systemet fra udstyret.

I Norm for ventilationsanlæg DS 447 (Dansk Standard, 1981) fastslås det, at ventilationsanlæg skal forsynes med måleudtag, komponenter eller instrumenter, der muliggør en kontrol af, at de ønskede ydelser er til stede. Bestemmelsen vedrører driftskontrol af anlæggene, og såfremt det faste måleudstyr vedligeholdes og rengøres regelmæssigt, kan det være nyttigt i forbindelse med rutinemæssig tilsyn af anlæggets drift, men bør ikke erstatte uafhængige målinger med pålideligt udstyr.

Nogle ventilationsfabrikanter tilbyder som ekstraudstyr mulighed for, at selve ventilationskåben kan forsynes med særlige måleudtag, så det ved hjælp af en tilhørende, fastmonteret tryktransducer er muligt at foretage direkte udlæsning af volumenstrømmen gennem ventilatoren.

Udlæsningen, fx i m^3/s eller m^3/h , kan ske på en separat displayenhed, eller transduceren kan sende signalet til en central computer, hvor signalet samtidig kan anvendes i forbindelse med automatisk regulering. Udlæsningen er baseret på måling af trykket et veldefineret sted i kåben, og det er derfor vigtigt, at tryktransduceren er nøje kalibreret i overensstemmelse med fabrikantens anvisninger og for netop den pågældende ventilator. Den samlede usikkerhed på måling og udlæsning kan forventes at være i størrelsesordenen ± 10 procent.

Litteratur

Boligministeriet. (1995). *Bygningsreglement 1995*. København.

Dansk Standard.(1981). *Norm for ventilationsanlæg* (DS 447:1981). København.

Jagemar, L. (2003). *Målinger på ventilationsanlæg med lavt elforbrug i nyere kontorbygninger* (By og Byg Dokumentation 039). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.

Johnsen, K., Grau, K., & Christensen, J. E. (1993). *tsbi3: Edb-program til termisk simulering af bygninger og installationer. Brugervejledning*. Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.

Nordiska Kommittén för Byggbestemmelser. (1991). *Inomhusklimat – luftkvalitet* (NKB-skrift nr. 61). Helsingfors.

Olufsen, P. (1993). *Elforbrug til mekanisk ventilation: Måling og analyse af elforbrug til ventilation i kontorbygninger* (SBI-rapport 228). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.

Olufsen, P. (1995). *Ventilationsanlæg med lavt elforbrug* (SBI-anvisning 188). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.

Valbjørn, O. (1983). *Ventilation i industrien* (2. udg.) (SBI-anvisning 106). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.

Valbjørn, O., Laustsen, S., Høwisch, J., Nielsen, O., & Nielsen, P. A. (red.). (2000). *Indeklimahåndbogen* (2. udg.) (SBI-anvisning 196). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.

Rapporten giver gode råd om mulige energibesparelser og praktiske projekteringshensyn, som er forbundet med udformning af energieffektiv ventilation i ikke blot kontorbygninger, men i alle bygninger med komfortventilationsanlæg. I forbindelse med projektering af ventilationsanlæg har interessen traditionelt været rettet mod begrænsning af energiforbruget til opvarmning af ventilationsluften. Energiforbruget til mekanisk køling og til selve transporten af luften i ventilationsanlægget bør imidlertid også indgå i overvejelserne. Vejledningen knytter sig til By og Byg Dokumentation 039: Måling på ventilationsanlæg med lavt elforbrug i nyere kontorbygninger (2003).

1. udgave, 2003
ISBN 87-563-1161-3
ISSN 1600-8049