

Behovsstyrt ventilasjon – Når er det lønnsomt?

Norge er kanskje det landet i verden med høyest krav til minimum friskluftmengde i kontorbygninger (tabell 1). Denne friskluften skal bidra til et godt inneklima for menneskene i lokalene. Ser man på oppholdsstid i kontorer og andre lokaler finner man at en stor andel står tomme i lange perioder. Ventilasjonsanlegget tar normalt ikke hensyn til dette og sender inn den samme luftmengden uansett behov. Slike anlegg betegnes CAV-anlegg (Constant Air Volume). Vi bruker dermed store energimengder på å ventilere tomme lokaler.

Tabell 1

Krav til luftmengder i ulike land. Tabellen gjelder 10 m² kontorrom for 1 arbeidstaker.

Land	Ikke-røyking [m ³ /h]	Røyking [m ³ /h]	Kommentar
Belgia	20	30	
Kanada	36	108	Røyking kun i egne røykerom
Danmark	14	36	Anbefaling om max. 1000 ppm
Finland	14	36	
Frankrike	18	30	
Tyskland	30		
Nederland	35	60	
New Zealand	36	108	Røyking kun i egne røykerom
Norge	50/61/97		Materialfaktor 0,7/1/2 l/s pr. m ²
Sverige	14		Krav om 1000 ppm
Storbritannia	18		

Med behovsstyrt ventilasjon som reduserer luftmengden i tomme lokaler til et minimum, kan man spare store mengder energi som ellers ville gått til viftedrift, oppvarming eller kjøling. I anlegg med mange brukere kan man også redusere installasjonskostnaden ved å ta hensyn til samtidighetsfaktoren ved dimensjonering av luftbehandlingsaggregat, luftinntak, luftavkast og hovedføringer for ventilasjon. Samtidighetsfaktoren er forholdet mellom sannsynlig samtidig luftmengde og maksimal dimensjonerende luftmengde. Maksimal dimensjonerende luftmengde er sum av luftmengdebehov i alle rom inklusiv tillegg for lekkasjer. CAV-anlegg leverer maksimal dimensjonerende luftmengde hele driftstiden. Ved beregning av sannsynlig samtidig luftmengde må man ta hensyn til at også tomme lokaler trenger en minimumsventilasjon på grunn av emisjoner fra bygningsmaterialer.

Behovsstyrt ventilasjon kan gi en betydelig energi- og kostnadsbesparelse. Artikkelen skal belyse hvilken merkostnad til utstyr for behovsstyring som denne besparelsen forsvarer.

Referansebygg

Beregningen baserer seg på et referansebygg med fordeling av energibehov i henhold til tabell 2:

Tabell 2

Fordeling av energibehovet i en typisk moderne kontorbygning uten behovsstyring. Vi skal ved senere beregninger benytte energibehovene til ventilasjonsvarme, ventilasjonskjøling og vifter som referanseverdi ved samtidighetsfaktor 1. Disse referanseverdiene er i tabellen gitt egne betegnelser.

Radiatorvarme	65	kWh/(m ² *år)
Varmtvann	12	kWh/(m ² *år)
Ventilasjonsvarme = E_{va-ref}	12	kWh/(m ² *år)
Vifter = E_{vi-ref}	40	kWh/(m ² *år)
Pumper	15	kWh/(m ² *år)
Lys	45	kWh/(m ² *år)
Utstyr	27	kWh/(m ² *år)
Ventilasjonskjøling = E_{kj-ref}	20	kWh/(m ² *år)
Lokal kjøling	6	kWh/(m ² *år)
Sum spesifikt energibehov:	242	kWh/(m ² *år)

Effekt- og energibehov til viftedrift

Energibehovet til vifter er basert på følgende:

$$\begin{aligned}
 SFP &= 4 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s}) \\
 L_s &= \text{Spesifikk luftmengde} = 12 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2) \\
 T_d &= \text{Driftstid 12 timer á 250 dager} = 3000 \text{ timer/år}
 \end{aligned}$$

SFP står for Specific Fan Power og er definert på følgende måte:

$$SFP = \frac{\Sigma P}{\dot{V}} [kW / m^3 / s]$$

Hvor:

ΣP - summen av alle vifteeffekter, kW

\dot{V} - total sirkulert luftmengde netto, [m³/s]

Spesifikt energibehov til vifter E_{vs} blir da:

$$E_{vs} = SFP \cdot L_s \cdot T_d [kWh/m^2 \cdot \text{år}]$$

Et behovsstyrt anlegg får variabel luftmengde. Ved ideell behovsstyring vil effektbehovet variere med hastigheten i tredje potens på grunn av følgende sammenhenger:

$$P = \frac{\dot{V} \cdot \Delta p_{tot}}{\eta_{tot}} = \frac{v \cdot A \cdot k \cdot v^2}{\eta_{tot}} = \frac{A \cdot k \cdot v^3}{\eta_{tot}} [kW]$$

Hvor:

P : effektbehovet [kW]

\dot{V} : Total mekanisk sirkulert luftmengde [m³/s]

Δp_{tot} : totaltrykkfallet (sum trykkfall i tilluft og avtrekk) i anlegget [kPa].

η_{tot} : viftesystemets totale virkningsgrad
 k : konstant
 v : lufthastigheten [m/s]
 A : ventilasjonskanalens tverrsnittareal [m²]

Dette forutsetter turbulent strømming hvor trykkfallet mellom to punkter følger sammenhengen:

$$\Delta p_{1-2} = kv^2 \text{ [Pa]}$$

Med mange brukere (mange tillufts- og avtrekkspunkter) er det i dag ikke mulig å få til ideell behovsstyring på en kontrollerbar måte fordi spjeldstilling hos hver bruker vil påvirke luftmengden hos andre brukere. Ideell behovsstyring vil kreve signaler fra alle brukere til en tolkningssentral som kontinuerlig regulerer alle spjeld og total luftmengde.

I praksis benytter man trykkstyring, det vil si at man opprettholder et konstant trykk i en hovedkanal. Dermed er trykkleddet i effektbehovsformelen konstant for kanalnettet, mens trykkfallet over aggregatet fortsatt varierer med hastigheten i andre potens. Effektbehovet til viftedrift gjennom kanalnettet kan da uttrykkes på følgende måte:

$$P_k = \frac{\dot{V} \cdot \Delta p_{tot}}{\eta_{tot}} = \frac{v \cdot A \cdot k_2}{\eta_{tot}} \text{ [kW]}$$

Hvor:

k_2 : konstant

Viftesystemets totale virkningsgrad vil kunne variere ved behovsstyring og variabel luftmengde, men i praksis vil luftmengde og totaltrykk variere innenfor et begrenset område på en slik måte at virkningsgraden kan betraktes som en tilnærmet konstant.

Lufthastigheten gjennom ventilasjonskomponentene er videre direkte proporsjonal med samtidighetsfaktoren, s (forholdet mellom sannsynlig samtidig luftmengde og maksimal dimensjonerende luftmengde). Oppsummert innebærer dette at:

Effektbehovet til transport av luft gjennom sentrale komponenter som luftbehandlingsaggregat, luftinntak og luftavkast vil følge sammenhengen:

$$P_s = k_3 \cdot (v_{dim} \cdot s)^3 \text{ [kW]}$$

mens effektbehovet gjennom kanalnettet vil følge sammenhengen:

$$P_k = k_4 \cdot v_{dim} \cdot s \text{ [kW]}$$

Hvor :

v_{dim} : er lufthastighet ved samtidighetsfaktor lik 1
 k_3 og k_4 : er tilnærmede konstanter

Spesifikt energibehov til viftedrift vil da variere med samtidighetsfaktoren på følgende måte:

$$E_{vi} \approx E_{vis-ref} \cdot s^3 + E_{vik-ref} \cdot s \text{ [kWh/(m}^2\text{år)]}$$

Hvor:

$E_{vis-ref}$ spesifikt energibehov til transport av luft gjennom sentrale komponenter som luftbehandlingsaggregat o.l

$E_{vik-ref}$ spesifikt energibehov til transport av luft gjennom kanalanlegget

og

$$E_{vi-ref} = E_{vis-ref} + E_{vik-ref} \quad [kWh/(m^2\text{år})]$$

I vårt eksempel forutsetter vi at halvparten av effektbehovet til viftedrift i referansebygget går med til å overvinne motstand over sentrale komponenter som luftbehandlingsaggregatet og tilsvarende, mens den andre halvparten går med til å overvinne motstand over kanalnettet.

Effekt- og energibehov til ventilasjonsvarme og ventilasjonskjøling

Effektbehovet til ventilasjonsvarme og ventilasjonskjøling følger sammenhengen:

$$P_{v+k} = \dot{V} \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta T = v_{\text{dim}} \cdot s \cdot A \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta T \approx v_{\text{dim}} \cdot s \cdot k_5 \cdot \Delta T \quad [kW]$$

Hvor:

ρ : luftens egenvekt $[kg/m^3]$

c_p : luftens spesifikke varmekapasitet $[kJ/(kg \cdot K)]$

ΔT : temperaturendring $[K]$

s : samtidighetsfaktor

k_5 : er tilnærmet konstant

Vi ser at ved en gitt temperaturendring varierer effektbehovet med samtidighetsfaktoren i første potens.

Energibehovet til ventilasjonsvarme vil avhenge av samtidighetsfaktoren på følgende måte:

$$E_{va} = E_{va-ref} \cdot s \quad [kWh/(m^2\text{år})]$$

Energibehovet til ventilasjonskjøling beregnes på følgende måte:

$$E_{kj} = E_{kj-ref} \cdot s \quad [kWh/(m^2\text{år})]$$

Tillatt merinvestering til behovsstyring på grunn av redusert energibehov

Når tiltaket medfører redusert energibehov kan man tillate en merinvestering i forhold til tradisjonell løsning. Denne merinvesteringen har vi gitt betegnelsen "Tillatt investering". Tillatt investering finnes ved hjelp av et anslag over årlig energibesparelse, gjennomsnittlig energipris, levetid og krav til realrente

Tillatt investering ved energisparende tiltak er differansen mellom nåverdi av besparelsene og nåverdi av utgiftene. Nåverdi av besparelsene er summen av årlige energibesparelser over tiltakets levetid diskontert til nåverditidspunktet. Nåverdi av utgiftene er summen av eventuelle økte vedlikeholdsutgifter over tiltakets levetid diskontert til nåverditidspunktet. Forventer man samme prisutvikling på besparelser og utgifter, kan følgende forenkling gjøres:

$$\Delta TI = \Delta B \cdot NV_{r,L} \text{ [kr]}$$

Hvor:

ΔTI : tillatt investering [kr]

ΔB : netto årlige reduserte driftskostnader som følge av tiltak [kr]

$NV_{r,L}$: nåverdifaktor (diskonteringsfaktor) basert på ønsket realrente (r) og tiltakets levetid (L)

Nåverdifaktoren kan finnes av tabell eller av følgende formel:

$$NV_{r,L} = \frac{1 - (1 + r)^{-L}}{r}$$

I vårt eksempel antar vi følgende parameterverdier for å finne tillatt investering:

Realrente: 5%

Levetid: 20 år

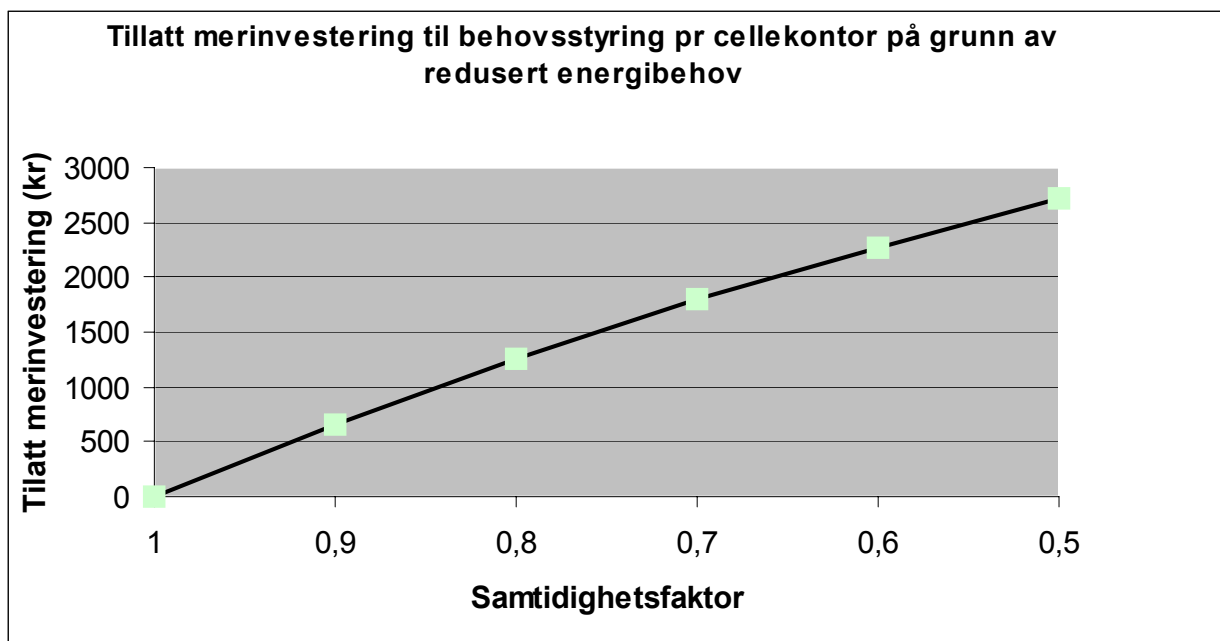
Energikostnad: 0,5 kr/kWh

Resultatene er presentert i tabell 3 og figur 1, som viser tillatt merinvestering pr cellekontor på 10 m².

Tabell 3

Oversikt over energibehov til ventilasjon med tilhørende energikostnad og tillatt merinvestering til utstyr for behovsstyring ved 5% realrente.

Samtidighetsfaktor	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
Vifteenergi pga aggregat [kWh/m ²]	20	15	10	7	4	3
Vifteenergi pga kanalnett [kWh/m ²]	20	18	16	14	12	10
Ventilasjonsvarme [kWh/m ²]	12	11	10	8	7	6
Ventilasjonskjøling [kWh/m ²]	20	18	16	14	12	10
Sum energibehov ventilasjon [kWh/m ²]	72	61	52	43	36	29
Energikostnader [kr/m ²]	36	31	26	22	18	14
Tillatt merinvestering – TI [kr/m ²]	0	66	126	179	227	271
TI pr cellekontor á 10 kvm [kr]	0	662	1256	1791	2273	2711



Figur 1

Tillatt merinvestering til utstyr for behovsstyring i et cellekontor på grunn av redusert energibehov.

I vårt eksempel ble tillatt merinvestering for hvert cellekontor på ca 1.500,- kroner ved en samtidighetsfaktor på 0,75.

Tillatt merinvestering til behovsstyring på grunn av reduserte energi-, installasjons- og arealkostnader

Har vi behovsstyrt ventilasjon kan vi ta hensyn til samtidighetsfaktoren ved dimensjonering av ventilasjonsanlegget. Behovsstyrt ventilasjon muliggjør da besparelse ved at:

- Driftskostnadene reduseres
- Investeringskostnadene reduseres
- Teknisk arealbehov reduseres

Kostnadene for et anlegg uten behovsstyring varierer mellom 40 og 70 kr/(m³/h) behandlet luft. I Oslo-området kan man benytte 62 kr/(m³/h) behandlet luft med kjøling. Av dette kan man si at 60% av kostnaden ligger i sentrale komponenter som luftbehandlingsaggregat, luftinntak, luftavkast og hovedkanaler som kan dimensjoneres ned som følge av antatt samtidighet. Ved anleggsdimensjoneringen må man legge inn litt reserve for å ivareta at luftmengden i perioder vil overstige sansynlig samtidig luftmengde.

Siden vi dimensjonerer ned anlegget ved behovsstyring forutsetter vi at anleggsmotstanden er konstant. Effektbehovet til viftedrift, som er avhengig av produktet av luftmengde og trykkfall, vil derfor reduseres i samme forhold som luftmengden og samtidighetsfaktoren på følgende måte:

$$P_{vs} = k_6 \cdot v_{dim} \cdot s \quad [kW]$$

Hvor :

v_{dim} er lufthastighet ved samtidighetsfaktor lik 1
 k_6 er tilnærmet konstant

Energibehovet til viftedrift vil avhenge av samtidighetsfaktoren på følgende måte:

$$E_{vi} \approx E_{vi-ref} \cdot s \quad [kWh/(m^2\text{år})]$$

Energibehovet til ventilasjonsvarme vil avhenge av samtidighetsfaktoren følgende måte:

$$E_{va} = E_{va-ref} \cdot s \quad [kWh/(m^2\text{år})]$$

Energibehovet til ventilasjonskjøling beregnes på følgende måte:

$$E_{kj} = E_{kj-ref} \cdot s \quad [kWh/(m^2\text{år})]$$

Når man tar hensyn til samtidighetsfaktoren ved anleggsdimensjonering, vil også behovet for teknisk areal reduseres. Vi kan gjøre følgende tankeeksperiment basert på erfaringstall: Et bygg på 10.000 m² med et luftmengdebehov på 100.000 m³/h har et ventilasjonsteknisk arealbehov på ca 400 m². 70% av dette, dvs 280 m², er areal for sentrale tekniske komponenter som kan dimensjoneres ned proporsjonalt med samtidighetsfaktoren. En samtidighetsfaktor på 0,8 vil gi et teknisk arealbehov på 120 + 0,8*280 = 344 m². Med en arealkostnad på 8.000 kr/m² gir dette en total besparelse på 448.000 kroner, eller en spesifikk besparelse på 44,80 kr/m² i forhold til 10.000 m².

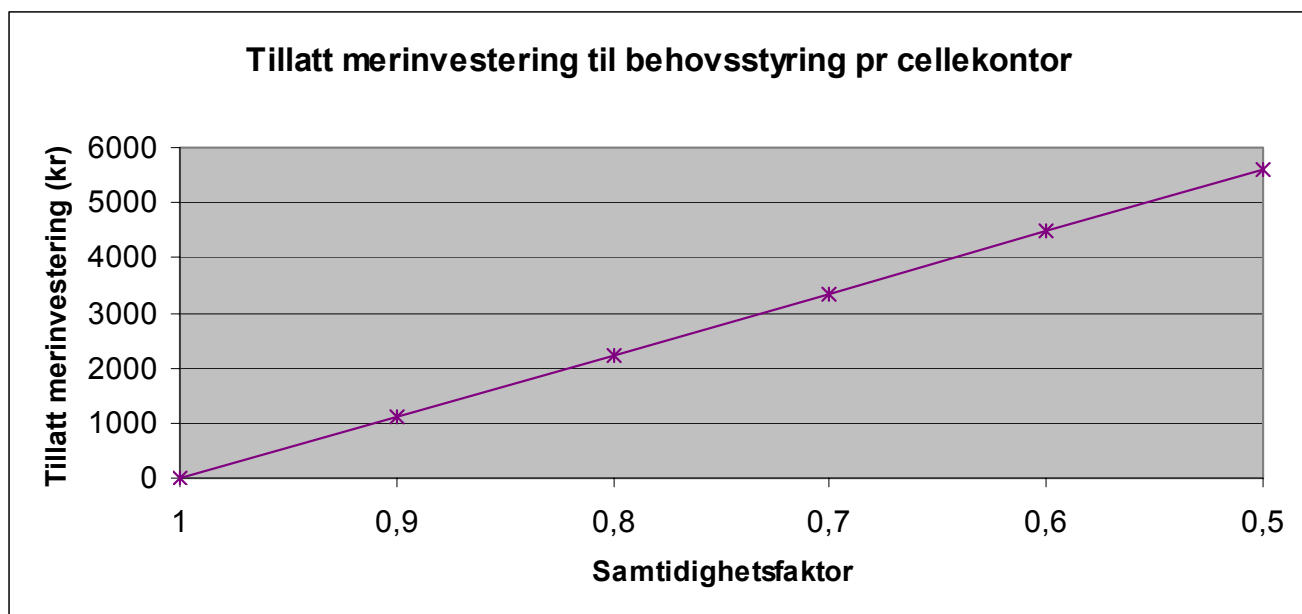
Tabell 4 viser hvilken energireduksjon og hvilken tillatte merinvestering vi nå får, når vi tar hensyn til samtidighetsfaktoren ved anleggsdimensjonering og dimensjonering av teknisk areal.

Tabell 4

Oversikt over energibehov til ventilasjon med tilhørende energikostnad og tillatt merinvestering til utstyr for behovsstyring ved 5% realrente, når vi tar hensyn til redusert anleggsdimensjon og redusert teknisk areal.

Samtidighetsfaktor	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
Vifteenergi pga kanalnett og aggregat [kWh/m ²]	40	36	32	28	24	20
Ventilasjonsvarme [kWh/m ²]	12	11	10	8	7	6
Ventilasjonskjøling [kWh/m ²]	20	18	16	14	12	10
Sum energibehov ventilasjon [kWh/m²]	72	65	58	50	43	36
Energikostnader [kr/m²]	36	32	29	25	22	18
Tillatt merinvestering pga energi [kr/m²]:	0	45	90	135	179	224
Investering uten behovsstyring [kr/m ²]	744	744	744	744	744	744
Investering med behovsstyring [kr/m ²]	744	699	655	610	565	521
Arealreduksjon pr 10.000 m ² [m ²]	0	28	56	84	112	140
Kostnadsbesparelse pga arealreduksjon [kr/m ²]	0	22	45	67	90	112
Tillatt merinvestering dimensjonering (kr/m²)	0	67	134	201	268	335
Tillatt merinvestering totalt (kr/m²)	0	112	224	336	448	560
TI til behovsstyring pr cellekontor á 10 kvm	0	1119	2238	3357	4476	5595

Figur 2 viser sammenhengen mellom tillatt merinvestering pr cellekontor og samtidighetsfaktoren.



Figur 2. Tillatt merinvestering pr cellekontor i forhold til samtidighetsfaktoren når man tar hensyn til redusert anleggsstørrelse og redusert behov for teknisk areal ved behovsstyring.

Som vi ser av figur 2 ble tillatt merinvestering pr cellekontor på 2.500 til 3.000 kroner ved samtidighetsfaktor på 0,75.

Konklusjon

Lønnsomheten til behovsstyring avhenger av antatt samtidighetsfaktor, utvikling av energipris og hvilke krav til lønnsomhet som settes for det enkelte prosjekt. Grovt kan vi antyde at investering i slikt utstyr ikke må overstige ca 2.500 – 3.000 kroner for et cellekontor på 10 m², hvis dette skal bli en lønnsom investering. Dette forutsetter at man reduserer anleggsstørrelse og teknisk areal som følge av behovsstyringen. Dette beløpet skal også inkludere investering i sentralutstyr som turtallsregulering av vifter, trykkløpere, merinvestering i anlegg for sentral driftskontroll og eventuell merkostnad til drift og vedlikehold på grunn av dette utstyret.

Reduserte energikostnader alene forsvarer en merinvestering på ca 1.500 kroner pr cellekontor.

Det er i første omgang opp til produsentene å utvikle utstyr som får en sluttpris ferdig montert som ivaretar byggherrens krav til lønnsomhet. Det er en økende miljøbevissthet blant byggherrene og dermed økt interesse for å redusere bygningers energibruk og miljøbelastning. Produkter som kombinerer miljøeffektivitet og lønnsomhet har en lys fremtid i bygg- og anleggsbransjen.

I eksisterende bygninger som ikke oppnår tilfredsstillende luftmengder med sitt ventilasjonsanlegg, kan det være et aktuelt å behovsstyre ventilasjonsluften for dermed å utnytte denne bedre. I slike tilfeller kan behovsstyring være et meget lønnsomt alternativ til omfattende rehabilitering.