

<b>OSLO:</b> Postboks 4464 Nydalen, 0403 Oslo Telefon: 22 02 63 00  <b>LILLEHAMMER:</b> Elvegata 19, 2609 Lillehammer Telefon: 61 27 59 00  <b>SKIEN:</b> Lyngbakkveien 5, 3736 Skien Telefon: 35 58 85 00  Epost: firmapost@erichsen-horgen.no www.erichsen-horgen.no Foretaksreg.: NO 929 308 697 MVA	<b>RAPPORT</b>
	RAPPORTTITTEL <b>Balansert mekanisk og hybrid ventilasjon med varmegjenvinning</b>
	DATO <b>13.11.00</b>
	UTARBEIDET AV <b>Ida Bryn</b>

## SAMMENDRAG

Rapporten viser at det er uforsvarlig mhp inneklime å redusere luftmengdene ved alternative ventilasjonsløsninger fordi god luftkvalitet er avgjørende for både helse, trivsel og produktivitet. En vil som oftest også gå på akkord med forskriftskravet til ventilasjonsluftmengde dersom en kun styrer etter et CO<sub>2</sub> nivå på 1000 ppm. Dersom en opprettholder høye luftmengder med naturlig ventilasjon fører det til ekstremt høyt energiforbruk med påfølgende miljøbelastninger. Høye luftmengder og naturlig ventilasjon kan også lett gi trekkproblemer. Naturlig ventilasjon med varmepumpe er en lite miljøriktig løsning dersom en forutsetter at strømmen til varmepumpa er produsert med varmekraft og tar hensyn til skadelige klimagasser fra kuldemediet i varmepumpa. Hybrid ventilasjon med varmegjenvinning kan gi et miljømessig godt resultat, men er like komplekst som et standard anlegg og mer kostbart i investering. Det forutsetter et godt samspill med arkitekturen slik at vi får høye rom, men dette kan en også oppnå med standard ventilasjon. Hybride og naturlig ventilasjonsløsninger vil føre til økte drift og vedlikeholdskostnader pga mange komponenter spredt i bygget og lite standardiserte løsninger. Standard balansert ventilasjon med høy virkningsgrad (80-85%) på varmegjenvinning og lav energibruk til vifter (SFP 1-1,5) avhengig av driftstid gir best inneklime og lavest energibruk samt innebærer minst risiko. Dette er derfor også den beste løsningen miljømessig. For å unngå høye innetemperaturer er det et hovedprinsipp å søke å unngå varmebelastningene og fjerne dem ved kilden. Ved vinduslufting eller lufting med luker har en den fordel at en får kjøle uten bruk av strøm eller kjølemaskiner store deler av året. Dette er en fordel som kan utnyttes som et supplement med mulighet for individuell justering sammen med balansert ventilasjon der det ligger til rette for det. Pga dårlig uteluft og risiko for nedsmussing er dette imidlertid lite gunstig svært mange steder rundt større byer og tettsteder. På tilsvarende måte kan også et balansert ventilasjonsanlegg benyttes til f.eks kjøling med kjølig natteluft.

## INNHOLDSFORTEGNELSE

1 BAKGRUNN.....	3
2 HVA ER NATURLIG ELLER HYBRID VENTILASJON? .....	3
3 MOTIVER.....	5
4 HVA SKJER I NORGE? .....	7
5 INNEKLIMA.....	8
5.1 Luftkvalitet .....	8
5.1.1 Luftmengder.....	8
5.1.2 Mugg.....	11
5.1.3 Uteluftkvalitet .....	11
5.1.4 Filtrering, kulverter og renhold .....	12
5.2 Temperatur .....	13
6 ENERGI .....	14
6.1 En skole.....	14
6.2 En barnehage .....	15
6.2.1 Ventilasjonsprinsipper.....	16
6.2.2 Energi .....	17
6.3 Oppsummering energi .....	23
7 LIVSLØP OG MILJØBELASTNINGER .....	24
8 DRIFT OG VEDLIKEHOLD .....	26
9 ØKONOMI.....	27
9.1 Investeringskostnader.....	27
10 KONKLUSJONER .....	30

## 1 BAKGRUNN

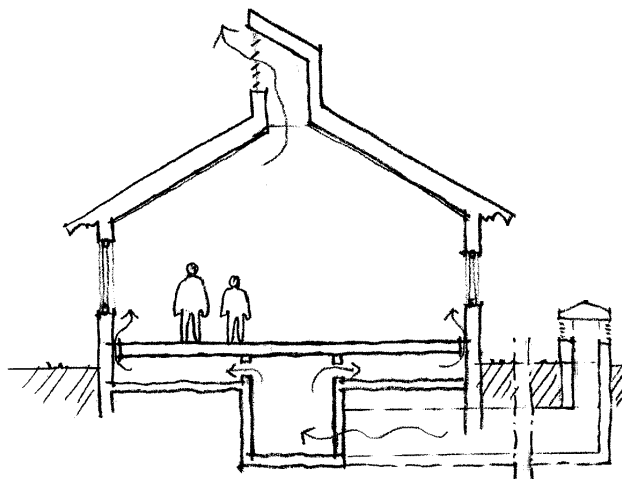
Såkalt naturlig eller hybrid ventilasjon har i enkelte kretser fått et renommè som den miljøriktige løsningen for å skape godt inneklima. I teknisk etater i kommunene oppleves en etterspørsel fra brukerne om slike løsninger. Begrunnelsen for ønske om ulike løsninger er imidlertid varierende. Denne rapporten gir en vurdering av ulike løsninger mhp inneklima, energi og drift og vedlikehold. Den gir også en vurdering i forhold til forskrifter.

En innbygger i vesten bruker i størrelsesorden ca 10 ganger så mye energi som en i India eller Kina. Samtidig vet vi at forbruk av energi og utslipp av klimagasser henger direkte sammen. Et av våre viktigste miljømål må derfor være å få ned energiforbruket uten at det går ut over inneklimaet. Midlere energiforbruk til skoler i Norge i 1997 lå på ca 180 kWh/m<sup>2</sup> (Søgnen 98), med en variasjon fra 90 til 450 kWh/m<sup>2</sup> år. Her er med andre ord et stort potensiale for forbedring hos mange.

Ved søken etter forbedrede resultater må vi samtidig sørge for at byggene har et godt inneklima og unngå bruk av materialer som består av begrensede ikke fornybare ressurser eller materialer som gir helseskadelige utslipp til natur.

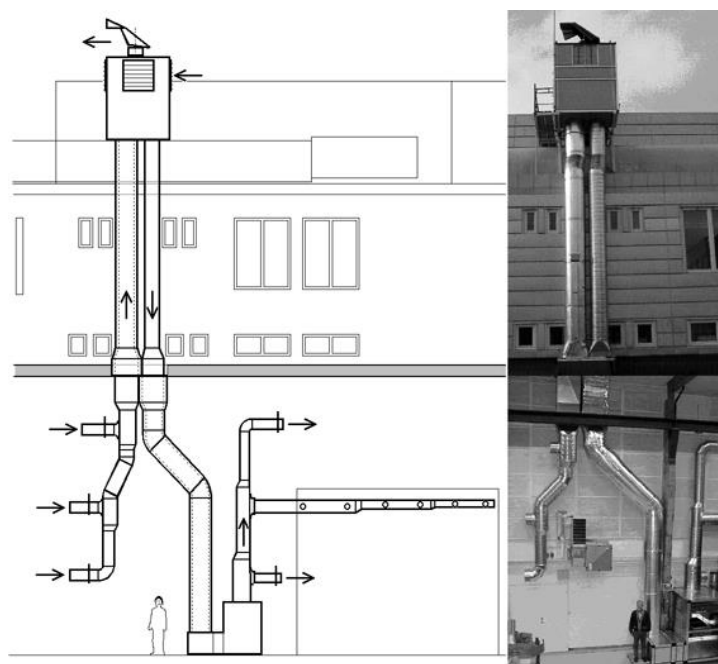
## 2 HVA ER NATURLIG ELLER HYBRID VENTILASJON?

Naturlig ventilasjon defineres som ventilasjon i bygget forårsaket av bevisst utnyttelse av naturlig oppdrift og vindkrefter. Det "naturlige" ved anleggene er at de benytter naturkrefter for å slippe inn uteluft. De rene naturlig ventilerte byggene har hverken varmegjenvinning eller vifter. Luften filtreres heller ikke. Et eksempel på et slikt anlegg er vist i figur 1.



Figur 1 Naturlig ventilasjon med forvarming i kulvert. Fra Hjerten et al. 96 Som man bygger får man ventiler

Det går imidlertid an å prosjektere anlegg basert på naturlige krefter, med varmegjenvinning og vifter som backup når naturkreftene ikke gir nok. Dette kaller vi hybrid ventilasjon som er en mellomting mellom naturlig ventilasjon og mekanisk balansert ventilasjon.



Figur 2 Testanlegg for hybrid ventilasjon på Byggforsk. Hentet fra Hybvent sine nettsider.

Et hybridanlegg inneholder mange av de samme komponentene som et balansert anlegg, men det er lagt vekt på å utnytte naturlige drivkrefter.

I standard anlegg benyttes balansert mekanisk ventilasjon. Luften i seg selv er like naturlig som i et hvert annet ventilasjonssystem. Forskjellen er at anlegget har tilluft og avtrekkskanaler og vifter. Naturlige drivkrefter utnyttes ikke. Derimot utnyttes varmegjenvinning som er et helt naturlig fysisk prinsipp og som er vårt viktigste hjelpemiddel for å redusere energibruken i bygg. Luften filtreres også og forvarmes ved behov for å unngå trekk. I noen tilfeller installeres kjøling også hvis det er nødvendig med tilluftstemperatur som er lavere enn utetemperaturen til enhver tid. Anleggene innreguleres og har konstante luftmengder uavhengig av vær og vind. De kan ha variable luftmengder, men da er de styrt etter behov. Det er enkelt å kontrollere den ønskede luftmengde.

### 3 MOTIVER

Årsakene til at en del personer ønsker alternative løsninger er ikke klare og de varierer avhengig av hvilken rolle en person har. Motivet for å ønske nye alternative ventilasjonsløsninger synes å ligge i misnøye med dagens situasjon samt at disse alternative løsningene hevdes å være miljøvennlige. For brukere og eiere av bygg skyldes misnøyen ofte erfaringer fra gamle mangelfulle anlegg med dårlig drift. Disse anleggene har lite til felles med dagens anlegg og de muligheter en har for å oppnå inneklime med samspill mellom solskjerming, dagslysutnyttelse og god ventilasjon ved hjelp av godt planlagt automatikk. Disse byggeierne er neppe klar over at de driftstekniske utfordringene snarere er større enn mindre med alternative løsninger.

Arkitekter ønsker gjerne alternative løsninger uten kanalføringer fordi det gir større frihet arkitektonisk. Samspill med naturlig ventilasjon gir en logisk grunn til å utforme rom med stor romhøyde og uten hindrende kanaler.

Naturlig ventilasjon har i de siste årene blitt stadig mer utbredt i Europa, inklusive våre naboland Sverige og Danmark. Naturlig ventilasjon oppfattes av enkelte nærmest som en forutsetning i forbindelse med økologisk bygging. I Norge har ikke den samme sterke utviklingen skjedd, og det er naturlig å spørre seg hvorfor vi har disse forskjellene. Hva er f.eks årsaken til at denne løsningen nærmest er en forutsetning ved nybygg i England?

En viktig grunn er at England og flere andre land i Europa har svakere krav til inneklime og lavere krav til minimums luftmengder enn oss. De har også et mildere klima uten kalde vinterperioder.

Hovedgrunnen er uten tvil knyttet til økonomi og miljøbelastninger ved bruk av elektrisitet. I et naturlig ventilert klimaanlegg brukes det 2-5 kWh/m<sup>2</sup> år med strøm, mens det i et mekanisk balansert ventilasjonsanlegg brukes 25-50 kWh/m<sup>2</sup> år (Jagemar 1996). I England er strømprisen 4.3-4.6 ganger høyere enn prisen på termisk energi fordi en stor del av strømmen der kommer fra kullkraftverk (Jagemar 1996). For å produsere 1 kWh strøm i slike anlegg må en ofte fyre inn en mengde kull som kunne gitt 3-4 kWh varme. Det vil si at en her kommer både økonomisk og miljømessig likt ut om en bruker 1 kWh strøm og 3-4 kWh termisk energi. Dette er ikke situasjonen i Norge i dag og for å få et riktig svar på hva som er riktig miljømessig og økonomisk for norske forhold må en utføre betraktninger ved våre rammebetingelser. Dette er behandlet under avsnittet om energi.

I tillegg kommer holdninger som at balansert ventilasjon er kostbart og komplisert å drive og vedlikeholde og at de allikevel ikke gir noe særlig godt resultat. Medisinsk dokumenterte undersøkelser (bl.a Jaakkola.J.K 95 fra Finland) har bl.a. vist at det kan være større risiko for opplevelse av inneklimeubehag i bygg med kjøling og befukting og til en viss grad også i

mekanisk ventilerte bygg i forhold til naturlig ventilerte bygg. Dette er imidlertid undersøkelser basert på anlegg som er bygd i perioden fra forrige århundre frem til 1988. Disse byggene har svært ulik alder, luftmengder og drift. Resultatene peker ikke på de funksjonelle årsakene til at en har de forskjellene som er registrert. Mye av årsakene ligger sannsynligvis i nedsmussing og nedfukting av deler av anlegget, omluft, gamle tekniske løsninger og muligens også dårlig drift. Problemet er imidlertid at det blir galt å velge dagens ventilasjonsløsning basert på en gammel løsning som vi i dag vet er utrangert. Ved valg av nye ventilasjonsanlegg i dag må skje med utgangspunkt i hva som tilbys teknisk i dag på sammen linje som når en anskaffer andre tekniske installasjoner som f.eks vaskemaskin eller bil.

En motivasjon synes også å være en ideologi om at brukerne skal kunne påvirke og styre klimaet selv og at det skal være enkelt.

#### 4 HVA SKJER I NORGE?

De alternative ventilasjonsformene er i ferd med å bli prøvd ut i en rekke kommuner på skoler og sykehus. Fra Byggforsk sin internettside om HybVent prosjektet finner vi følgende oversikt:

	Noen resultater	Oppfølging
Frei skole	Har hatt problemer med automatikk.	
Gjerde skule	Lite sykefravær, Lavt energiforbruk	
Grong skole	Innkjøringsproblemer som har gitt høyere energiforbruk enn forventet	Sintef
Jaer skole	Høyt energiforbruk (Opplyst i kurs)	Byggforsk
Klokkeråsen skole		
Lavollen		
Lista sykehus		
Norsk Film	Bygningens totale energiforbruk var 192 kWh/m <sup>2</sup> i tidsrommet 2000-05-01 til 2000-10-16. Dette er svært høyt.	
Samnanger helsetun		
Sem skole	Har hatt problemer med automatikk anlegg	Byggforsk
Tredal skole		
Vanse barneskole		
Presterud skole	Dårlig inneklime, problemer med automatikk anlegg, vanskelig å drive. (Kilde: Erichsen&Horgen, Samtale med brukere, vaktmester og leverandører)	

*Tabell 1 Erfaringer fra noen norske skoler med naturlig og hybrid ventilasjon hentet fra Byggforsk sine internettsider om hybventprogrammet.*

Resultatene som er fremkommet er sparsomme. Erfaringene er generelt at energibruken blir svært høy uten varmegjenvinning. Dette burde for øvrig ikke overraske noen. Det er derfor vi

har utviklet ventilasjonsanlegg med varmegjenvinning og det kan lett dokumenteres med en beregning.

Driften er komplisert og krever høyt skolert driftspersonale, anleggene inneholder mange komponenter som er spredt på mange steder noe som vanskeliggjør og fordyrer vedlikehold. Automatikk anleggene er kompliserte og vanskelig å få til å fungere tilfredsstillende. Årsaken til det siste er sannsynligvis at det her er snakk om skreddersøm, mens det for standardanlegg leveres industriproduserte anlegg der automatikk og funksjon er testet ut i laboratorier og prototyper.

En generell trend er også at brukerne i utgangspunktet er svært fornøyd fordi de kommer til nye lokaler. Bl.a. fremhever de høye og lyse lokaler med godt dagslys som kanskje er en vel så viktig faktor som at de har en alternativ ventilasjonsløsning.

## 5 INNEKLIMA

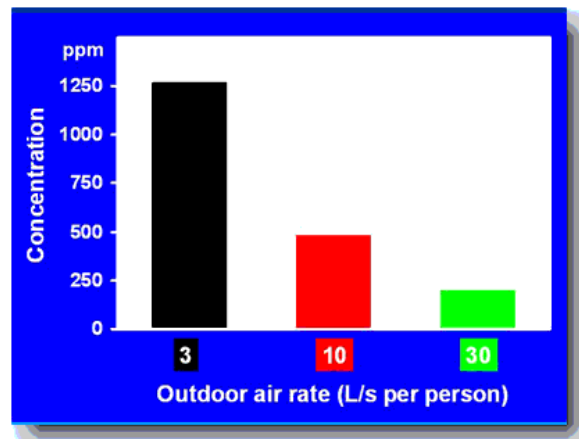
De ulike systemene for naturlig og hybrid ventilasjon er svært ulike. Resultatet på den enkelte skole vil derfor variere avhengig av løsning.

### 5.1 Luftkvalitet

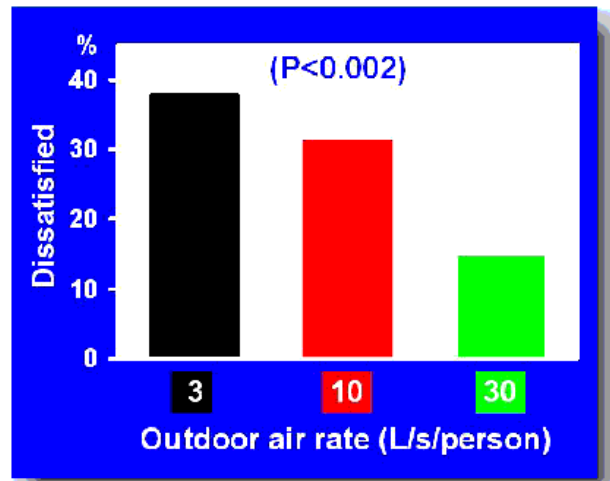
#### 5.1.1 Luftmengder

Det er reist en del tvil om det er mulig å oppfylle luftmengdekravet i forskriften med disse løsningene. Tilhengere av alternative løsninger hevder også at kravet i forskriften er for strengt. Argumentene er at det ikke kan dokumenteres noen helseskade ved lavere friskluftmengder og at brukerne kan tilpasse seg termisk ved å regulere påkledningen. En tar da ikke hensyn til det stadig økende antall astmatikere og pollenallergikere som periodevis er avhengig av å holde seg innendørs i filtrert ventilasjonsluft for å fungere tilfredsstillende. All erfaring både fra nyere bygg og forskningsresultater bl.a ved Danmarks Tekniske Universitet viser imidlertid at dagens luftmengder ikke er for lave. Studien: "Effect of changing the ventilation rate in an office on perceived air quality, Sick Building Syndrome symptoms and productivity" utført av Pawel Wargocki ved DTU viser klart at ubehag reduseres og produktivitet øker med økende luftmengde. Følgende resultater er hentet fra deres internettartikkel om temaet:

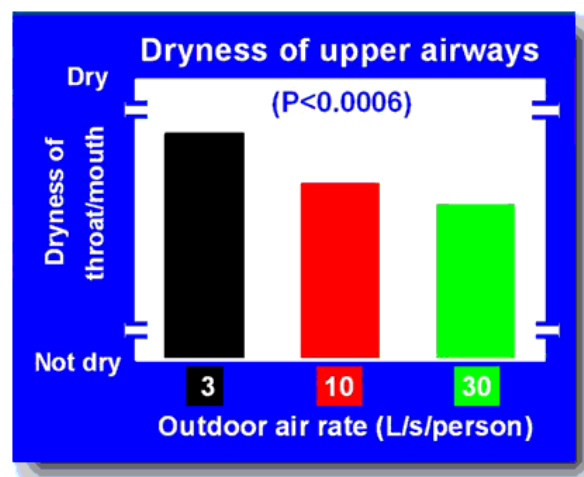




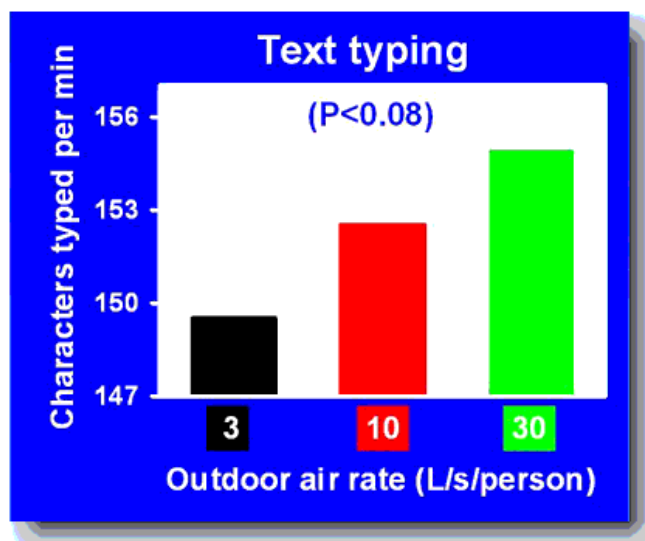
Figur 2. CO2 konsentrasjon i rommet som funksjon av friskluftsmengde. Fra Wargocki.00



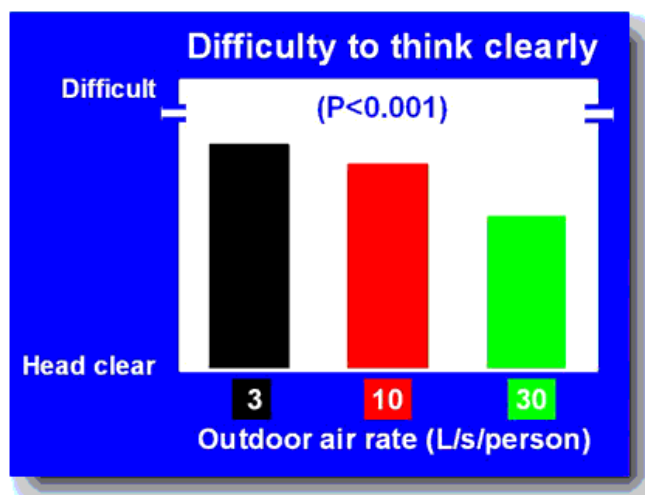
Figur 3 Grad av misnøye som funksjon av luftmengde. Fra Wargocki.00



Figur 4 Opplevd tørrhet i slimhinnene i luftveiene (air temperature at 22°C, the relative humidity at 40% RH). Fra Wargocki.00



Figur 5 Antall tastetrykk som funksjon av luftmengde. Fra Wargocki.00



Figur 6 Forsøkspersonenes følelse av evne til å tenke klart. Fra Wargocki.00

Disse resultatene viser klart at dersom en skal lage gode arbeids- og læringsmiljø kan også den norske minimumsstandarden i byggeforskriftene bli for dårlig. Å velge et nivå som ligger under forskriften er derfor å bevege seg i helt feil retning i forhold til hva vi i dag vet er riktig.

I en del bygg med hybrid ventilasjon har en valgt å la ventilasjonsluftmengden styres av romlufttemperaturen. Dette fører fort til lavere luftmengder enn forskriftene og også økt forurensningsnivå i rommene. For klasserom kan det om vinteren føre til CO<sub>2</sub> nivå som langt overskrider Helsetilsynets krav på 1000 ppm. Som vi ser av figurene 1, 4 og 5 over gir dette også svært dårlige lærevilkår. Denne løsningen tar ikke hensyn til forurensing verken fra materialer, personer eller andre prosesser. Argumentet for løsningen er å spare energi og å øke luftfuktigheten. I noen prosjekter har en også en regulering etter CO<sub>2</sub> nivå i tillegg til

temperatur. Dette vil føre til en løsning der en ventilerer relativt korrekt etter personbelastning, men at forurensing fra materialer og andre prosesser ikke tas hensyn til. En vil derfor som oftest gå på akkord med forskriftskravet til ventilasjonsluftmengde dersom en kun styrer etter et CO<sub>2</sub> nivå på 1000 ppm. Det er i dag ingen gode metoder for å sikre at en til enhver tid har liten emisjon fra materialer og inventar. Ei heller er en til enhver tid sikret ideelt renhold. Det er derfor uforutsvarlig å forutsette lite emisjoner som en del av planleggingen av ventilasjonen.

Samlet sett vil en standard ventilasjonsløsning innebærer vesentlig mindre risiko for at det skal bli for lite ventilasjonsluft og derved kunne sikre best mulige arbeids- og læringsvilkår..

#### 5.1.2 Mugg

Mugg gir alvorlig helseskade og kan fremkalle allergi og overfølsomhet. Løsninger som kan gi muggvekst er derfor alvorlige risikoløsninger som må unngås.

I bygg med naturlig ventilasjon vil en ha overtrykk i øvre deler av bygget. I Sverige har en i bygg med naturlig ventilasjon registrert problemer med fuktskader og mugg i taket fordi fuktig luft presses ut i konstruksjonen og kondenserer. Dette er rapportert fra Blomsterberg et al 97. som har undersøkt tre nye skoler i Sverige med naturlig ventilasjon.

Den samme rapporten dokumenterer også høyt fuktnivå om sommeren og mikrobiell vekst i tillufts kulverter.

Erfaringsmessig er vann og råteskader et stort problem i boliger i dag. En av årsakene er for dårlig ventilering av badene som har en vesentlig høyere fuktbelastning fra dusjing i dag enn tidligere. Dette gir også muggproblemer med tilhørende helserisiko. En må derfor sikre stabil ventilering av alle rom der fukt kan oppstå.

#### 5.1.3 Uteluftkvalitet

Sammenhengen mellom et forurenset ytre miljø og risiko for plager av astma og allergi er godt dokumentert. En undersøkelse av 53 barnehager i Oslo (Skåret og Nordvik 98.) bekrefter det samme. Rapporten viser at sannsynligheten for at et barn skal være plaget av astmatiske lidelser er signifikant større når barnet går i en trafikkeksponert barnehage enn når det er lite biltrafikk i barnehagens nærmiljø. Trafikken synes også å kunne forårsake så mye som fem ekstra fraværsdager pr barn pr år.

I mange byer og tettsteder er uteluften av dårlig kvalitet pga trafikk. Dersom en må plassere bygget på slike plasser bør en unngå naturlig ventilasjon både av hensyn til luftforurensing

---

og støy. Vegetasjon kan benyttes til å dempe svevestøv, men i følge NILU tar det ikke finfraksjonen av partiklene og heller ikke gasser. Det er gjort målinger på renseeffekt fra støyskjermer og vegetasjon på Ullevål som dokumenterer dette. For å dempe svevestøv fra så stor trafikk som det her er snakk om vil det forøvrig være behov for en relativt stor mengde vintergrønne trær og busker.

Under enhver omstendighet bør friskluften hentes inn minimum 5-10 meter over bakkenivå og lengst mulig fra forurensningskilder.

I skoler, barnehager og på arbeidsplasser ønsker en ofte å tilrettelegge for allergikere. For pollenallergikere vil filtrering av uteluften være et viktig tiltak for å forbedre livskvaliteten. Dette kan være et problem i forbindelse med naturlig og hybrid ventilasjon.

#### 5.1.4 Filtrering, kulverter og renhold

Filtere i ventilasjonsanlegg benyttes for å tilføre ren luft, beskytte ventilasjonsanlegget, holde bygget rent og hindre partikulære forurensninger utenfra i å slippe inn.

I et anlegg med naturlig eller hybrid ventilasjon hindrer et alminnelig filter luftstrømmen og velges derfor ofte bort. Dette fører til at anlegget smusses ned og derfor krever en jevnlig vask. Det vil også føre til økt behov for vask i selve bygget. I noen tilfeller benyttes elektrostatfilter. Dersom dette benyttes er det viktig at ikke vannsøl fra rensing fører til fuktskade i anlegget.

Det bør samtidig advares mot dagens praksis i enkelte alminnelige ventilasjonsanlegg med å la filtre stå i et anlegg til trykkfallet blir for høyt. Et skittent filter som fuktes ned kan danne grobunn for vekst av mikroorganismer som kan forurense luften. Filteret bør derfor skiftes 2 ganger pr år. Dersom det er hyppig utsatt for fukt eller smussbelastning bør det skiftes oftere.

Enkelte hevder at luften blir filtrert gjennom kulverter. Det som skjer er at en får en viss utfelling av de største partiklene i kulverten. Finstøv som er påvist som et problem fjernes ikke. Pga utfelling av grovpartikler må kulverten rengjøres minimum 2 ganger i året.

I bygg uten filtrering av inneluften vil renholdsbehovet både av selve oppholdslokalene og de tekniske installasjoner øke betraktelig. I et bygg med god filtrering er det oftest ikke behov for rengjøring overhodet.

---

## 5.2 Temperatur

Et av argumentene for å benytte naturlig ventilasjon har vært at det er temperatur som er problemet og ikke luftkvalitet eller ventilasjonsluftmengde i de fleste bygg. En av hovedstrategiene er derfor ofte at det naturlige/hybride ventilasjonsanlegget primært skal bidra til å holde temperaturene nede. Siden flere av disse anleggene tilfører uteluft som bare er forvarmet noen få grader har det en stor kjølekapasitet størstedelen av året og sørger for en romtemperatur rundt 20-21 °C. Det gir imidlertid også en risiko for trekk.

Kulvert løsninger benyttes ofte i hybride anlegg for å kunne kjøle byggene. Disse stabiliserer tilluftstemperaturen og Byggforsk hevder at temperaturen blir mellom 10 og 15 °C ved mellom 5 og 25 °C utetemperatur (Kurs under VVS dagene 2000: Miljøriktig Ventilasjon). Gevinsten av en kulvert er størst ved sommerforhold.

En av grunnene til at mange søker mot alternative løsninger er at termisk komfort ofte er forsømt i forbindelse med anskaffelse av standard ventilasjonsanlegg. Ofte har kommuner eller byggherrer funnet ut at de har et inneklimateproblem og trodd at løsningen var et ventilasjonsanlegg. De har henvendt seg til en entreprenør og fått installert ny ventilasjon, mens det i virkeligheten også viser seg at de hadde et kjøleproblem som ikke ble løst av det nye ventilasjonsanlegget. Da oppleves klimaet fortsatt som dårlig og investeringen bortkastet.

Dette kunne vært unngått dersom en som utgangspunkt hadde besluttet å se på inneklimate som et hele der en skal ivareta termisk komfort, luftkvalitet og akustikk. Da vil en sørge for å redusere varmebelastninger f.eks solskjerming og varme fra lys i første trinn. Deretter bør en vurdere om ventilasjonsanlegget i kombinasjon med de andre tiltakene også sikrer god termisk komfort. Som et tredje tiltak når alt annet er utnyttet kan en vurdere tilleggskjøling. Dette kan for noen tilfeller være naturlig ventilasjon som er godt tilrettelagt vindus eller luke lufting som et supplement til den balanserte ventilasjonen. Mekanisk kjøling bør så langt mulig unngås da det både gir høyt elforbruk og medfører miljøskadelige klimagasser.

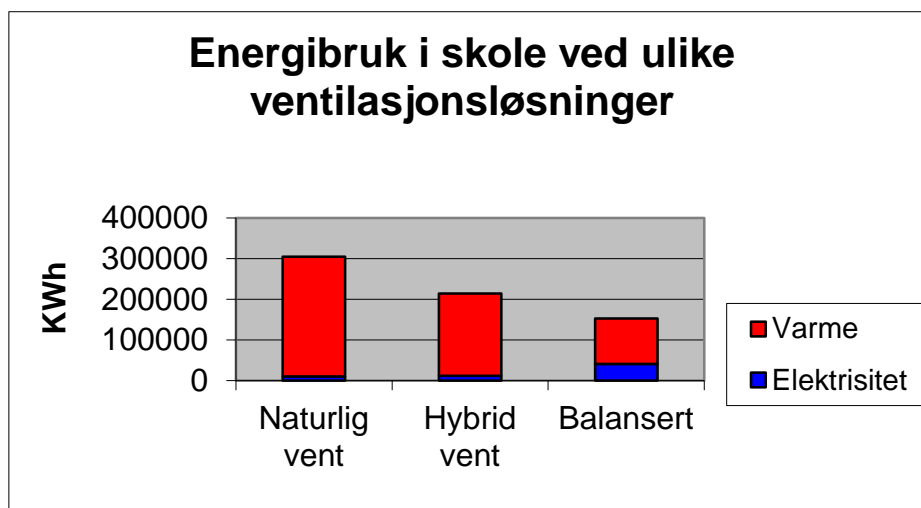
---

## 6 ENERGI

Som nevnt innledningsvis er disse alternative løsningene gjerne assosiert som miljøriktige eller økologiske løsninger. Energibruken i løpet av byggets levetid står for rundt 90 % av byggets CO<sub>2</sub> belastning til omgivelsene. Vi ser her på hvordan energiforbruket blir for ulike ventilasjonsalternativer.

### 6.1 En skole

For å illustrere dette har vi beregnet energiforbruk til elektrisitet og termisk energi for en skole med naturlig ventilasjon, hybrid ventilasjon med varmegjenvinning og balansert mekanisk ventilasjon med varmegjenvinning. Skolen er på 1000 m<sup>2</sup> med en ventilasjonsluftmengde på 13 000 m<sup>3</sup>/h. Virkningsgraden på varmegjenvinningen er satt til 50 % ved hybrid ventilasjon og 80 % ved balansert mekanisk. Skolen ligger i Oslo. Kostnadene til drift av disse anleggene er så beregnet for en energi pris på 50 øre for både el og termisk energi som representerer situasjonen i dag, samt en ekstrem mulig fremtidig situasjon med f.eks. 50 øre for termisk energi og 150 øre for elektrisk energi.

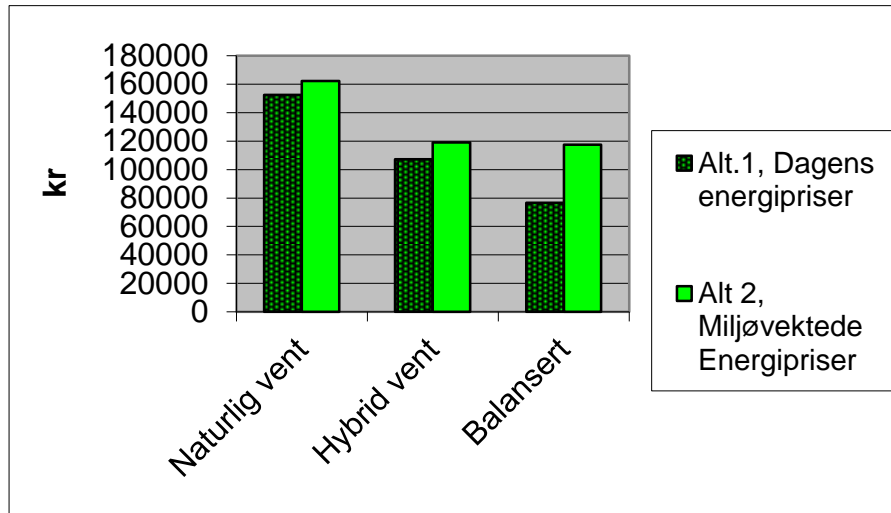


Figur 7 Energibruk ved de ulike ventilasjonsløsningene fordelt på elektrisitet og termisk varme.

Som vi ser av diagrammet bruker både naturlig og hybrid ventilasjon vesentlig mer energi enn et balansert anlegg. Vi ser også at en med balansert ventilasjon bruker mer elektrisitet enn de andre løsningene pga. viftedrift.

Dersom vi lar prisen på energien avspeile hvilke klimædeleggende utslipp (CO<sub>2</sub>) vi knytter til de ulike energiformene for de to alternativene kan vi la kostnader uttrykke miljøbelastningen ved ulike alternativer. I figur 7 har vi satt opp to alternativer. Alternativ 1 representerer situasjonen i Norge i dag der vi anser de to formene som likestilt, dvs. vi får like mye utslipp ved begge, mens vi i alternativ 2 regner at elektrisiteten er produsert av fossilt brensel med

en virkningsgrad på ca. 30 %. Elektrisitets energi gir da 3,3 ganger høyere CO<sub>2</sub> utslipp enn termisk energi. Vi har derfor tilsvarende regnet elektrisitet som tre ganger dyrere enn termisk energi.



Figur 8 Årlige energikostnader ved de ulike ventilasjonsstrategiene ved ulike prinsipper for prising av energi

Som det fremgår av figur 6 og 7 er det i dag både økonomisk og energimessig mest riktig å velge balansert ventilasjon. Det er imidlertid viktig å påpeke at det forutsetter en høyere varmegjenvinningsvirkningsgrad ved valg av balansert ventilasjon i forhold til hybrid ventilasjon. Er virkningsgraden lik for de to alternativene vil det kunne være mest riktig å velge hybrid ventilasjon ut fra energi og miljø hensyn.

For alternativ 2 har vi satt en energipris som avspeiler miljøbelastningen ved bruk av strøm dersom den er produsert i varmekraftverk. Det tilsvarer den situasjonen som råder i store deler av Europa. Alternativ 2 som representerer en mulig fremtid viser at en får mer lønnsomhet og miljøriktig løsning ved valg av en hybrid løsning. Figuren viser også at valg av ren naturlig ventilasjon uten varmegjenvinning er både miljømessig og økonomisk svært ugunstig i Norge.

## 6.2 En barnehage

I 1998 ble det planlagt en ny barnehage i Blindern bydel. Det var en overordnet målsetning at det å skulle være en miljøriktig barnehage og planleggingsarbeidet ble bl.a finansiert av NVE's byggoperatør. For å konkretisere en slik målsetning ble det satt opp mål for inn klima og energibruk. I utgangspunktet ønsket arkitekten å benytte naturlig ventilasjon. Da naturlig

ventilasjon lett gir høy energibruk satte vi opp flere ventilasjonsalternativer og vurderte hvilken energibruk de ulike løsningene ville gi.

Ved dimensjonering av luftmengder tok vi utgangspunkt i byggeforskriftens krav. Vi fant ingen gode argumenter for å dimensjonere et anlegg som har lavere kapasitet enn dette. All erfaring viser at inneklimateproblemer lettest oppstår i bygg med små luftmengder. Istedet installeres det mulighet for behovstyring av luften, både manuelt og automatisk basert på CO<sub>2</sub> og luftkvalitet. I beregningene er det regnet med luftmengder på 7 l/s person og 1 l/sm<sup>2</sup> for materialer. Det er også regnet på alternativer med en grunnventilasjon på 0,5 l/sm<sup>2</sup> når det ikke er personer til stede.

### 6.2.1 Ventilasjonsprinsipper

Ventilasjonsluftmengden regnes lik for alle systemalternativer.

Det er regnet på i prinsippet 4 ulike installasjoner der forskjellene går på grad av gjenvinning av energi og effektforbruk til vifter. Det opereres med to viktige begreper, hhv SFP og temperaturvirkningsgrad.

SFP er definert som anleggets samlede vifteeffekt, dvs tilluft og avtrekk dividert med behandlet luftmengde (kW/m<sup>3</sup>/s).

Temperaturvirkningsgrad for en gjenvinner angir hvor mye av energien i avtrekket som kan overføres til tilluft.

Systemalternativer ventilasjon:

- I Balansert ventilasjon med varmegjenvinner med 80 % gjenvinning og SFP på 2.5 kW/m<sup>3</sup>/s. Anlegget har filtere og vannbåren varme. Dvs et standard anlegg, med relativt lite motstand. Se skisse figur 6.1 (ikke laget).
  - II Balansert ventilasjon med varmegjenvinner med 80 % gjenvinning og SFP på 1 kW/m<sup>3</sup>/s. Som I, men et anlegg med lave hastigheter, korte strekk og liten motstand. Se skisse figur 6.1.(ikke laget)
  - III Hybrid ventilasjon med 50% gjenvinning og SFP på ca 0,2. Systemet har filter og vannbåren varme. Anlegget utnytter til en viss grad vindkrefter og oppdrift og er avhengig av korte kanalstrekk, men anleggskomponentene som gir motstand fører til at viftene må benyttes en stor del av tiden. Se skisse figur 6.2.
  - IV Vifteforsterket oppdriftsventilasjon. Det legges opp til et elektrofilter i inntaket. I beregningene er det ikke lagt opp til forvarming av tilluften slik at vi her regner maksimal utnyttelse av internvarmen. På den annen side er det ikke forutsatt noe
-



varmetilskudd fra kulvert. I praksis må det installeres et varmebatteri på tilluften da en i Oslo kan oppleve lange perioder med utetemperatur rundt  $-10^{\circ}\text{C}$ . Se skisse figur 6.3. (ikke laget)

### 6.2.2 Energi

#### Energifleksibilitet

En bygning har behov for både varme og elektrisitet. Elektrisitet er en høyverdig energiform som kan benyttes til å drive motorer og gi lys på en effektiv måte. I de fleste andre land produseres elektrisitet av kull, gass eller ved atomkraft og regnes derfor som både kostbar og svært ødeleggende for miljøet. Norge kan imidlertid eksportere ren elektrisitet og burde derfor satse på å begrense innenlands elektrisitetsforbruk for i stedet å kunne eksportere denne energien. Samtidig bør det satses på erstatningsenergi som ikke virker skadelig på miljøet.

Det bør derfor være et mål også i Norge å utnytte elektrisitets .energien effektivt og kun benytte den der det virkelig trengs slik høyverdig energi.

For et bygg bør en derfor skille på energibehov til varme og elektrisitet. Systemet for dekning av varmebehov bør utformes slik at det kan dekkes av andre energiformer enn elektrisitet og elbehovet bør søkes redusert til et minimum. Dette betyr at bygget bør utstyres med vannbåren varme og at en bør søke etter en løsning som gir en lav andel av totalenergibehovet som må være elektrisitet.

I rapporten videre har vi foreslått måltall for energifleksibiliteten og innført en "Energifleksibilitetsfaktor". Faktoren uttrykker hvor mye av byggets totale energiforbruk som kan dekkes av annen energi enn elenergi. Faktorene er definert som følger:

EN: Totalt energiforbruk til energi

EL: Elektrisitetsavhengig energiforbruk

Dersom varmedistribusjonssystemet og oppvarming av ventilasjonsluft er elektrisitetsbasert vil energibehovet til dette inngå i EL. For øvrig omfatter EL energi til lys, utstyr, vifter, pumper og kjølemaskiner.

"Energifleksibilitetsfaktor":  $(\text{EN}-\text{EL})/\text{EN}$

Faktoren varierer mellom 0 og 1. Den vil være henimot 0 for et bygg med rent el.basert oppvarming og kunne nærme seg 0,75 for et bygg der en har lagt stor vekt på lavt energiforbruk til vifter, pumper, utstyr og lys samt energifleksibel varmedistribusjon.

---

### Energimål

Da dette prosjektet (Blindern Barnehage) skulle vise framtidsrettede miljøløsninger følgende mål for prosjektet foreslått:

Totalt årlig kjøpt energi, EN	100 kWh/m <sup>2</sup>
Årlig elektrisitetsavhengig forbruk, EL	45 kWh/m <sup>2</sup>
Energifleksibilitetsfaktor	0,55
Varmeenergidistribusjon	Vannbårent

Differensen mellom totalt årlig kjøpt energi og årlig elektrisitetsavhengig forbruk er termisk energi som kan dekket av fjernvarme, elektrisitet eller egen kjel. Denne andelen kan også dekket av solvarmeanlegg. Dersom vi søker å dekke denne andelen med varmepumpe vil det elektrisitetsavhengige forbruket øke.

Det finnes lite sammenlignbare verdier for barnehager, men bruken av en barnehage kan på mange måter sammenlignes med en skole. Typiske verdier for nye skoler er (Normtallsperm fra ENFO korrigert iht nye forskrifter mhp ventilasjon):

Totalt årlig energiforbruk	175 kWh/m <sup>2</sup>
Årlig elektrisitetsavhengig forbruk	50 kWh/m <sup>2</sup>
Varmeenergidistribusjon	Elektrisk med mindre det er pålegg om annet

### Energibruk

Bygget skal ikke ha mekanisk kjøling og verdiene til tappevann er hentet fra Normtallspermen fra tidligere Norenergi, nå ENFO. Energiforbruket forøvrig er beregnet med klima og energiberegningsprogrammet FRES.

De viktigste faktorene som påvirker energibruken i bygg er byggets varmeisolerende egenskaper, ventilasjonsmengde og løsning, internvarme fra lys og utstyr samt driftstider og bruk av bygget. Vi har i dette prosjektet tatt utgangspunkt i en isolasjonsstandard basert på nye byggeforskrifter og internvarme hentet fra NS3031 for skoler. Variasjonsparametrene har vært ventilasjonssystem og behovstyring av ventilasjon.

### **Ventilasjonsprinsipper:**

Som diskutert tidligere regnes ventilasjonsluften lik for alle systemalternativer.

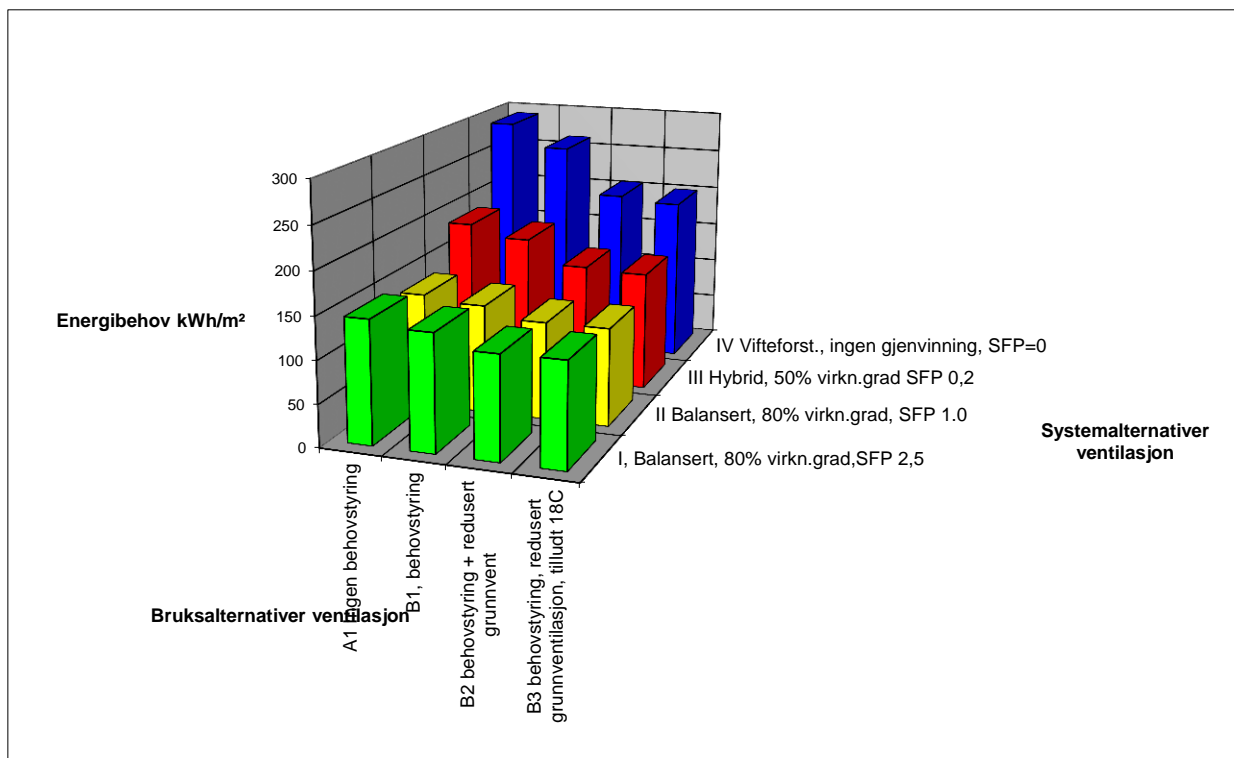
- I Balansert ventilasjon med varmegjenvinner med 80 % gjenvinning og SFP på 2.5 kW/m<sup>3</sup>/s.

- II Balansert ventilasjon med varmegjenvinner med 80 % gjenvinning og SFP på 1 kW/m<sup>3</sup>/s.
- III Hybrid ventilasjon med 50% gjenvinning og SFP på ca 0,2.
- IV Vifteforsterket oppdriftsventilasjon. Ingen gjenvinning og SFP  $\approx$  0

### Bruksalternativer Ventilasjon:

Det er regnet på energibehovet med og uten behovstyring av ventilasjonen. Behovstyringen kan i praksis enten styres manuelt eller v.h.j.a CO<sub>2</sub> følere.

- A1 Ingen behovstyring av ventilasjon: 2312 m<sup>3</sup>/h fra 8-17 mandag til fredag, 731 m<sup>3</sup>/h resten.
- B1 Behovstyring: 2312 m<sup>3</sup>/h fra 8-10+12-15 mandag til fredag, 731 m<sup>3</sup>/h resten.
- B2 Behovstyring og redusert ventilasjon utenom brukstid: 2312 m<sup>3</sup>/h fra 8-10+12-15 mandag til fredag, 354 m<sup>3</sup>/h resten. 354m<sup>3</sup>/h for de to avdelingene samt personalavdelingen er en lav grunnventilasjon tatt i betraktning at den dekker 6 toaletter, to baderom, to garderober og et våtrom. En slik luftmengde vil være nødvendig for å sikre at en unngår fukt og muggproblemer.
- B3 Redusert tilluftstemperatur: Tilluftstemperatur 18°C samt behovstyring og redusert ventilasjon utenom brukstid som i B2.



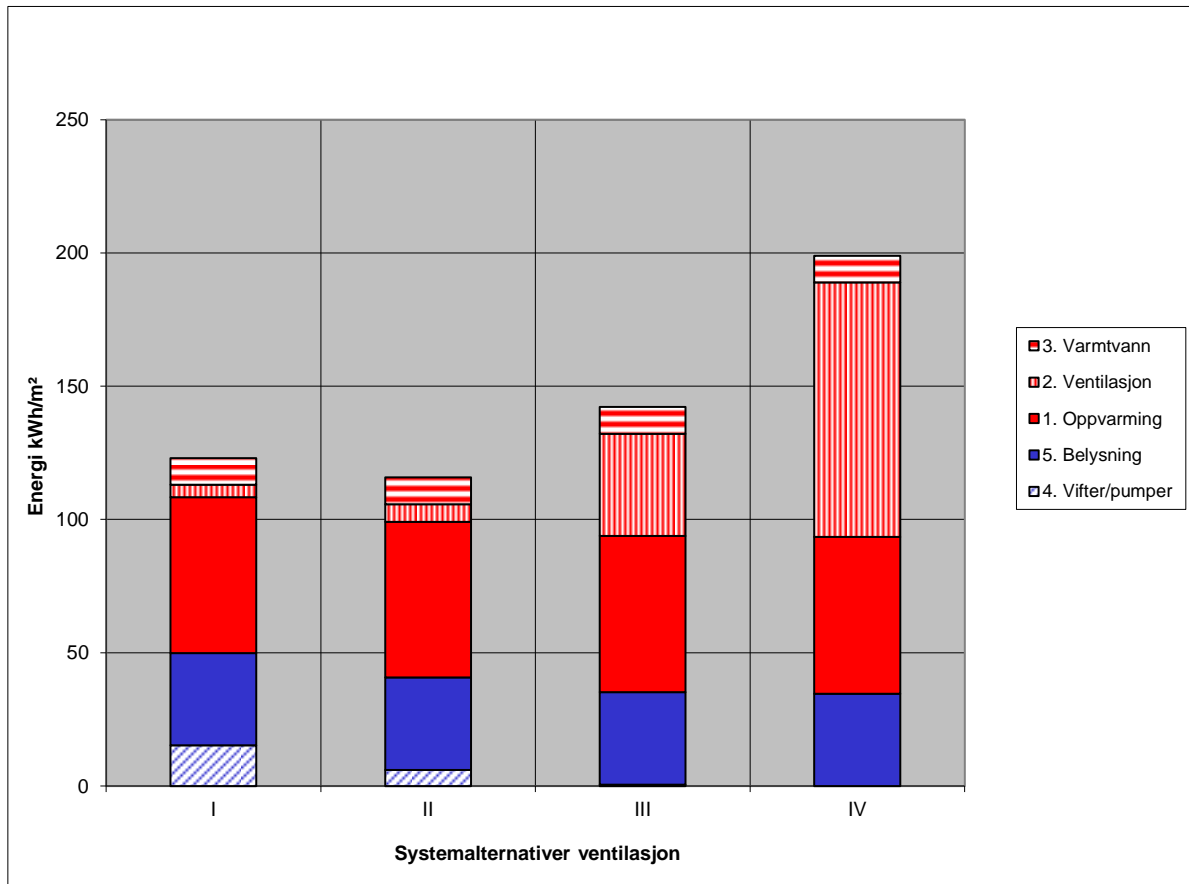
Figur 9 Energibehov i barnehagen for de ulike bruksalternativene

Det totale energibehovet til barnehagen er vist for de ulike system- og bruksalternativene for ventilasjon i figur 8.

Det høyeste energiforbruket finner vi for alternativ IV-A1, dvs vifteforsterket ventilasjon uten behovsstyring på 290 kWh/m<sup>2</sup>. Med behovsstyring, redusert grunnventilasjon og tilluftstemperatur på 18°C kommer energiforbruket ned på 199 kWh/m<sup>2</sup> for alternativ IV-B3. Lav tilluftstemperatur er energimessig gunstig i forbindelse med vifteforsterket oppdriftsventilasjon for å utnytte internvarmen.

Det laveste energiforbruket på 115 kWh/m<sup>2</sup> finner vi for systemalternativet med balansert ventilasjon, behovsstyring og redusert grunnventilasjon (II-B2). Med gjenvinner er det mest lønnsomt med tilluftstemperatur som er nærmest mulig romluftstemperaturen for å utnytte gjenvinneren best mulig.

---



Figur 10 Energibruk til elektrisitet (5+4) og termisk energi (1-3) for de ulike ventilasjonsalternativene med behovsstyring og redusert grunnventilasjon (B3)

Energiforbruket fordelt på elektrisitet til lys, vifter og utstyr samt varme til oppvarming av rom og ventilasjon samt varmtvann er vist i figur 9.

Som det fremkommer er elektrisitetsbehovet høyest for balansert ventilasjon med SFP 2.5 (I), det er 15 kWh/m<sup>2</sup> høyere enn for vifteforsterket ventilasjon. Varmebehovet til oppvarming av rom og ventilasjon størst for vifteforsterket ventilasjon (IV), hele 92 kWh/m<sup>2</sup> høyere enn for alternativ II som har det laveste energiforbruket. Det laveste energiforbruket for alternativ II er beregnet til 116 kWh/m<sup>2</sup>, mens vifteforsterket ventilasjon er på 199 kWh/m<sup>2</sup> (regnet for bruksalternativ B3). Totalt er energibehovet for vifteforsterket ventilasjon (IV) 83 kWh/m<sup>2</sup> høyere enn for balansert ventilasjon med SFP 1 (II).

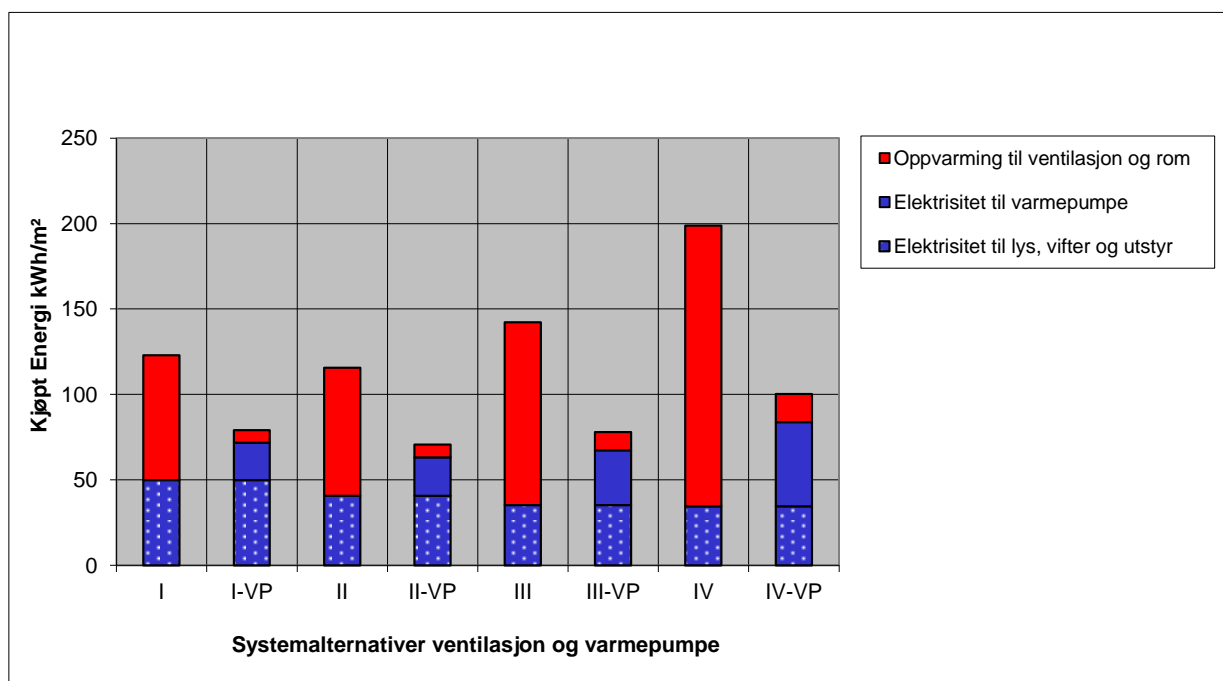
### Energidistribusjon

Bygget bør ha et vann eller luftbåret varmeanlegg. Det legges opp til lavtemperert gulvarme med temperaturstyring for hvert rom. Barnehagen har bl.a flere tørkeskap, vask og

oppvaskmaskiner som bør tilrettelegges for vannbåren varme for å utnytte eventuell varmepumpe og sikre god energifleksibilitet.

### Energiforsyning

Da ingen av alternativene har et energiforbruk under 100 kWh/m<sup>2</sup>, det laveste er på 116 kWh/m<sup>2</sup>, vurderes varmepumpe for alle alternativene. Varmepumpa regnes å dekke 90% av energibehovet til oppvarming av rom, ventilasjonsluft og tappevann og å ha en varmfaktor på 3. Det er her ikke tatt stilling til hvilken varmekilde varmepumpa skal benytte da dette er mest et kostnads og praktisk spørsmål.



Figur 11 Energibruk til elektrisitet og oppvarming for de ulike ventilasjonsalternativene med og uten varmepumpe. Behovstyring B3

Energiforbruket til elektrisitet og kjøpt varme er satt opp i figur 10 for de ulike systemalternativene på ventilasjon. Det er regnet med behovstyrt ventilasjon, redusert grunnventilasjon og tilluftstemperatur 18°C.

Vi kommer da ned på et totalenergiforbruk på 71 kWh/m<sup>2</sup> for alternativ II og 100 kWh/m<sup>2</sup> for alternativ IV. Begge oppfyller mao målsetningen om et energiforbruk på 100 kWh/m<sup>2</sup> eller lavere. Elektrisitetsforbruket blir hhv 64 kWh/m<sup>2</sup> og 84 kWh/m<sup>2</sup>. Dvs ingen oppfyller målsetningen om 45 kWh/m<sup>2</sup> og alternativ IV ligger hele 34 kWh/m<sup>2</sup> høyere. For å nå den nevnte målsetningen på 45 kWh/m<sup>2</sup> til elforbruk er sannsynligvis effektiv lysarmatur og behovstyring av lys det viktigste tiltaket å kombinere med ventilasjonsalternativ II.

### 6.3 Oppsummering energi

For skolealternativet er balansert ventilasjon det mest energiriktige for dagens situasjon. For barnehagen er det kun balansert ventilasjon med SFP faktor 1.0 som kan oppfylle energikravene.

Med varmepumpe kommer vi for barnehagen ned i 70 kWh/m<sup>2</sup> mot 120 kWh/m<sup>2</sup> uten varmepumpe, men denne løsningen fører til økt elektrisitetsavhengighet og medfører miljøbelastning pga klimagasser knyttet til kjølemedier. Vi har her regnet idealisert på varmepumpa. For virkelige forhold får en ofte et svært høyt energiforbruk til pumpe og viftedrift rundt kjølemaskiner og varmepumper slik at elektrisitetsbruken kan bli enda høyere..

Det er uansett alltid viktig å sette opp måltall for energibruken og kontrollere og etterprøve den i ulike faser av planlegging og drift. En må da regne på de virkelige verdier for pumper, vifter, lys og oppvarming.

Til sammenligning med de teoretiske betraktningene som er gjort her rapporterer Hult 97 følgende målt energiforbruk i skoler med naturlig ventilasjon, alle uten varmepumpe:

Skole	Totalt kjøpt energi kWh/m <sup>2</sup>
Fredkulla	172
Risberga	130 (ikke tappevann og entreer)
Garda	163
Karlshov	282

Tabell 2 Energibruk i skoler med naturlig ventilasjon i Sverige.

En har for de fleste av disse alternativene vesentlig lavere ventilasjonsluftmengder enn det vi har regnet med for våre alternativer.

Som vi ser er verdiene som ligner svært på normalverdiene for gamle Norske skoler. Skulle vi justert luftmengdene opp til de vi benytter i nye skoler i Norge ville nok gjennomsnittsforkonsumet komme langt over 200 kWh/m<sup>2</sup>. Resultatene fra skolene i Sverige dokumenterer det vi har dokumentert ved beregninger og som er vist i figur 6 og 9. Dette viser at skoler med naturlig ventilasjon lett blir energisluk og snarere miljøsvin enn økologiske pilotprosjekter.

Et høyt energiforbruk for skoler med kun naturlig ventilasjon bekreftes også av de resultatene som er fremkommet fra Jaer skole og Norsk film på Jar som vist i tabell 1.

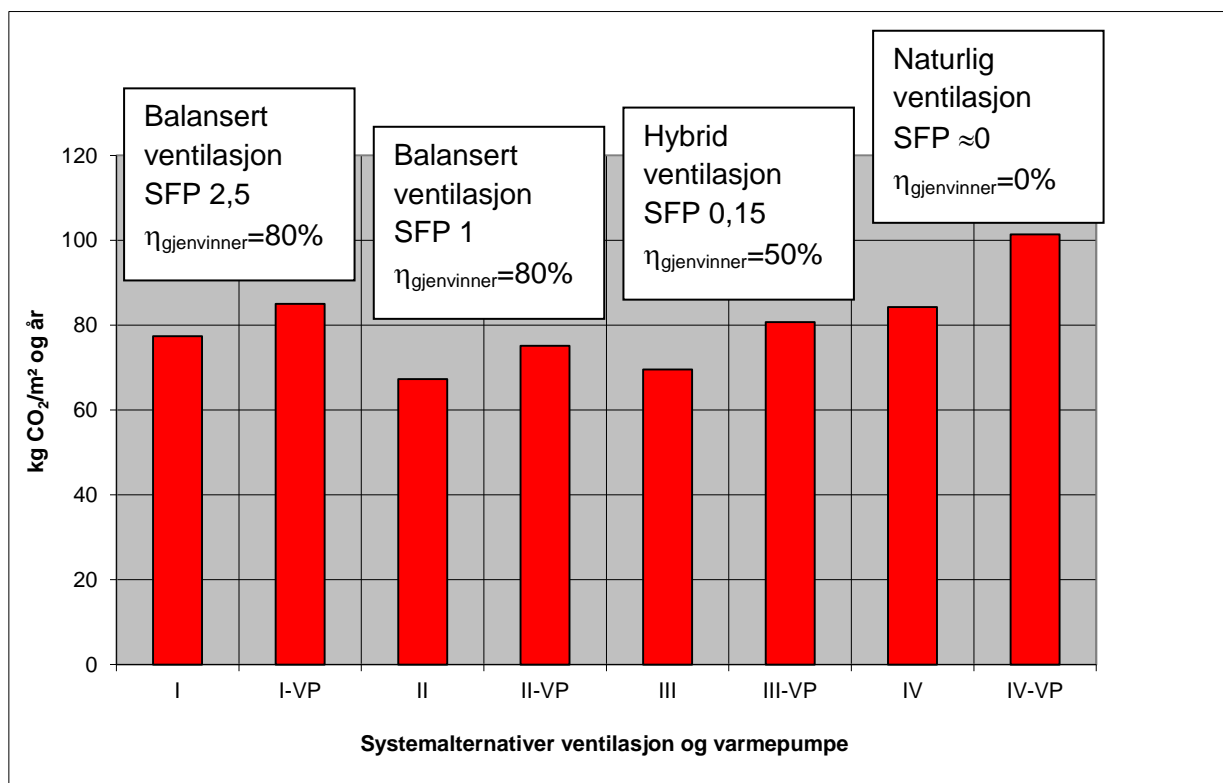
## 7 LIVSLØP OG MILJØBELASTNINGER

Sett i et livsløpsperspektiv er årlig energibruk til drift av bygget en av de viktigste miljøfaktorene. Beregninger utført for boliger i tre viser at energiforbruket til produksjon av bygget sjelden overstiger 5% av det bygget bruker i løpet av sin levetid (Nemeth Winther 98). Det regnes da over en periode på 30 år. For ekstreme lavenergiboliger kan prosentandelen komme opp i 30%. Byggforsk har gjort tilsvarende studier av kontorbygg i betong og stål (Fossdal 95) og kommer til verdier mellom 6 og 9 % på energi til produksjon av bygget i forhold til drift. Vi ser derfor at om vi kan f.eks halvere det årlige energiforbruket til bygninger er vi kommet svært langt med å redusere behov for nye kraftutbygginger og forbruk av olje.

Nemeth Winther gjorde også studier på enkeltkomponenter i anleggene, deriblant varmegjenvinnere. Studien viser at en gjenvinner for en bolig med 85% virkningsgrad har gjenvunnet den energien som gikk med til å produsere den i løpet av 3 måneder! Dette viser at varmegjenvinning av ventilasjonsluften kanskje er et av de viktigste miljøtiltakene for et bygg.

38.6% av energiforbruket i Norge gikk til bygninger i 1991. Denne sektoren er derfor av stor betydning og en ønsker å senke forbruket av energi. Fossdal rapporterer imidlertid at utslippene av CO<sub>2</sub> fra bygninger er små, i størrelsesorden 4-5%. Dette skyldes hovedsakelig at størstedelen av oppvarmingen er elektrisk.

I enkelte av de siste årene har vi måttet importere kullkraft fra Danmark. For å illustrere konsekvensen av dette har vi regnet på utslipp fra drift av barnehagen om en forutsetter at den





Figur 12 CO<sub>2</sub> utslipp ved ulike ventilasjons og varmepumpealternativer

varmes opp av fyringsolje og at all elektrisiteten kommer fra kullkraft. Resultatet er vist i figur 11.

Det gunstigste alternativet vi da får er alternativ II uten varmepumpe med et utslipp på i underkant av 70 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> år, mens det nest gunstigste og svært likt er hybrid ventilasjon uten varmepumpe. Den lave virkningsgraden på gjenvinneren som gir høye oppvarmingskostnader kompenseres av lavt energiforbruk på vifter for alternativ 3. Med en dårligere virkningsgrad ville det nærme se alternativ 4 som er vesentlig mer ugunstig.

Det ugunstigste alternativet er naturlig ventilasjon med varmepumpe som kommer ut med i overkant av 100 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>. Varmepumpeløsningene kommer dårlig ut fordi vi regner elektrisiteten produsert i kullkraftverk med 30% virkningsgrad. Med disse forutsetningene for energiproduksjon er derfor naturlig ventilasjon med varmepumpe den mest miljøbelastende løsningen av alle!

## 8 DRIFT OG VEDLIKEHOLD

De erfaringer som er blitt formidlet fra anlegg med naturlig og hybrid ventilasjon er at de ofte har problemer med automatikken i startfasen og at det er mange og spredte komponenter som allerede i startfasen krever mer tilsyn og vedlikehold enn standard anlegg.

Kontroll av ytelse på disse anleggene blir vanskeligere enn i balanserte anlegg og en bør sannsynligvis basere seg på kontinuerlig logging av en rekke parametre i store deler av bygget. Fordi anlegget er vanskeligere å dokumentere mhp ytelse er bortsetting (Outsourcing) av drift og vedlikehold også vanskeligere enn på balanserte anlegg.

De standard løsninger som benyttes i dag er industrifremstilt og inneholder ikke de svakheter som skreddersøm kan ha. De er utviklet og forbedret over lang tid mhp ytelse, drift og vedlikehold. Dagens anlegg er kraftig forbedret i forhold til for bare 5 år siden. Ved å velge en god og utprøvd balansert løsning reduserer en risikoen for problemer i forbindelse med drift og vedlikehold til det minimale. Fordi det er en standardisert løsning er det også enkelt å sette bort drift og vedlikeholdsansvar til andre.

Leverandører av automatikk og driftspersonale har også hevdet at naturlige og hybride anleggene er mer kompliserte enn balanserte anlegg og krever derfor høyere kompetanse på driftspersonalet enn der hvor standard løsninger velges.

På den annen side er det på tide at man erkjenner at drift og vedlikehold av tekniske anlegg krever relativt høy teknisk kompetanse dersom en forventer å oppnå godt inneklime, lavt energibruk og opprettholde anleggenes verdi over tid. Tilstanden til de tekniske anleggene blir for øvrig over tid ikke bedre enn kompetansen til driftspersonellet.

## 9 ØKONOMI

Denne innledende vurderingen er basert på eksemplet med barnehagen. Balansert ventilasjon med SFP faktor 1.0 ble vurdert videre med og uten varmpumpe. Med bakgrunn i et ønske fra arkitekt om å vurdere enkle systemer kostnadsberegnet vi også vifteforsterket oppdriftsventilasjon (naturlig ventilasjon) med varmpumpe.

Kostnadene for de ulike alternativene er basert på vurderinger fra rådgivere, priser på tidligere tilbud og overslag fra leverandører. For anlegg basert på vifteforsterket ventilasjon er det lite erfaringsmateriale å støtte seg på. Kostnadsdataene her baserer seg derfor stort sett på data fra leverandører og vurderinger.

Det er regnet på balansert og vifteforsterket ventilasjon med og uten varmpumpe. Det er også gjort kostnadsoverslag på vannbåret versus luftbåret gulvvarme.

### 9.1 Investeringskostnader

Balansert ventilasjon

En av forutsetningene for god driftsøkonomi er behovsstyring av ventilasjonen. Det er derfor lagt opp til fem uavhengige aggregater som styres uavhengig av hverandre som alternativ til ett samlet aggregat.

Anleggsdel	1 aggregat a 5040 m <sup>3</sup> /h
Ventilasjonsanlegg	324 000
Automatikk	100 000
Bygningsmessig ekstraarbeider	30 000
Nedgravde kanaler	25 000
Sum	479 000

Varmpumpe for dette alternativet vil komme på ca 101 000 kr inkl montasje og boring.

### Vifteforsterket oppdriftsventilasjon

Forslaget baserer seg på en løsning med en felles inntakskulvert med elektrostatfilter. Lufta tas inn på veggen på baksiden av barnehagen ved takhøyde. Fordelingen til hver avdeling vil ha eget varmebatteri. Det monteres 5 avtrekksvifter som styres fra hver avdeling. Avtrekksviftene samler avkastet til 3 avkasthetter.

Anleggsdel	
Tilluftskulvert	275 000
Tilluftsfiler	65 000
Varmebatteri	20 000
Bygningsmessig tilluft	31 600
Avtrekksvifter	6 500
Bygningsmessig avtrekk	120 000
Automatikk	150 000
Sum	668 100

Varmepumpe for dette alternativet vil komme på ca 183 000 kr inkl montasje og boring.

Som det fremkommer vil løsningen med naturlig ventilasjon falle dyrest ut pga høye kulvertkostnader og automatikk. Dette bekreftes også av erfaringer fra de skoler som er bygget. Kostnadene flyttes over fra ventilasjonstekniske installasjoner til bygningen, automatikk samt økte rørdimensjoner på en del av varmeanlegget.

	Balansert ventilasjon med SFP 1	Vifteforsterket oppdrift med kulvert
Investeringskostnad ventilasjon og varmepumpe	580 000	851 100

#### Årskostnader

På grunnlag av investeringskostnader og energiforbruk er årskostnader for de to ventilasjonsalternativene balansert og vifteforsterket avtrekk beregnet med og uten varmepumpe.

Det er regnet med en samfunnsøkonomisk rente på 7% og 15 år nedbetalingstid. Dette gir en annuitetsfaktor på 11 %. Det er forutsatt en energipris på 0,5 kr/kWh og drift/vedlikeholdsutgifter på 2 % av investeringen.

	Balansert u VP	Balansert m VP	Vifteforsterket u VP	Vifteforsterket m VP

	II kr/år	II-VP kr/år	IV kr/år	IV-VP kr/år
Kapital- kostnader	73 480	84 590	80 091	100 221
Drift og vedlikehold	13 360	15 380	14 562	18 222
Energi kostnader	26 054	15 927	44 762	22 582
Sum	112 894	115 897	139 415	141 025

Alternativet med balansert ventilasjon med SFP 1 uten varmpumpe har lavest årskostnader og nest lavest energiforbruk. Øker energiprisen til 0,6 kr/kWh blir varmpumpa lønnsom også. Med et tilskudd fra Oslo Energi Enøk vil derfor varmpumpe kunne bli lønnsomt. Vi foreslår at det planlegges for balansert ventilasjon med SFP på 1 og at det innhentes pris på varmpumpe.

## 10 KONKLUSJONER

Rapporten viser at det er uforsvarlig mhp inneklima å redusere luftmengdene ved alternative ventilasjonsløsninger fordi god luftkvalitet er avgjørende for både helse og produktivitet.

En vil som oftest også gå på akkord med forskriftskravet til ventilasjonsluftmengde dersom en kun styrer etter et CO<sub>2</sub> nivå på 1000 ppm. Det er i dag ingen gode metoder for å sikre at en til enhver tid har liten emisjon fra materialer og inventar. Det er derfor uforsvarlig å forutsette det som en del av planleggingen av ventilasjonen.

Dersom en opprettholder høye luftmengder med naturlig ventilasjon fører det til ekstremt høyt energiforbruk med påfølgende miljøbelastninger.

Naturlig ventilasjon med varmepumpe er en lite miljøriktig løsning dersom en forutsetter at strømmen til varmepumpa er produsert med varmekraft og tar hensyn til skadelige klimagasser fra kuldemediet i varmepumpa. Dette er situasjonen for dagens varmepumper. Alternative løsninger for varmepumper med andre kuldemedier og som drives av varme (adsorpsjonskjøling) er under utvikling

Hybrid ventilasjon med varmegjenvinning kan gi et miljømessig godt resultat, men er like komplekst som et balansert mekanisk anlegg og mer kostbart i investering. Det forutsetter et godt samspill med arkitekturen slik at vi får høye rom, men dette kan en også oppnå med balansert ventilasjon.

Hybrid og naturlig ventilasjonsløsninger vil føre til økte drift og vedlikeholdskostnader pga mange komponenter spredt i bygget og lite standardiserte løsninger.

Balansert ventilasjon med høy virkningsgrad (80-85 %) på varmegjenvinning og lav SFP (1-1,5) avhengig av driftstid gir best inneklima og lavest energibruk samt innebærer minst risiko. Dette er derfor også den beste løsningen miljømessig.

For kjøling er det et hovedprinsipp å søke å unngå varmebelastningene og fjerne dem ved kilden.

Naturlig ventilasjon har den fordel at det kan kjøle uten bruk av strøm eller kjølemaskiner store deler av året. Dette er en fordel som kan utnyttes som et supplement til balansert ventilasjon der det ligger til rette for det. Pga dårlig uteluft og risiko for nedsmussing er dette imidlertid lite gunstig svært mange steder rundt større byer og tettsteder.

## REFERANSER

Aggerholm. 98. Energiriktigt Byggeri. Forskning-utvikling og forsøgsbyggeri 1998-2003  
VVS/VVB nr10 1998 Danmark.

Blomsterberg et.al. 97. Moderna självdragsventilerade skolor- utvärdering av ventilation och fukt. Anslagsrapport A13:1997. Byggeforskningsrådet. Sverige

Fanger et.al. 98. Impact of Temperature and Humidity on the Perception of Indoor Air Quality. Indoor Air. Munksgaard. Copenhagen

Hjerten et al. 96 Som man bygger får man ventilera. Arkus. Stockholm

Fossdal. 95. Energi og miljøregnskap for bygg Prosjektrapport 173-1995. Byggforsk

Hult. 97. Skolor med ventilation där självdrag används. Anslagsrapport A11:1997.  
Byggeforskningsrådet. Sverige

Jaakkola.J.K 95. Type of Ventilation System in Office Buildings and Sick Building Syndrome  
American Journal of Epidemiology.

Németh Winther. 98. En analyse av totalenergiforbruket i fem versjoner av en norsk bolig.  
Doktoringeniøravhandling. 1998:8. NTNU Trondheim.

Schild. 00. <http://www.byggforsk.no/HybVent/default.htm>. Byggforsk

Skåret og Nordvik. 98. Økonomiske konsekvenser av inneklimatebedringer i barnehager.  
Prosjektrapport 229-1998. Byggforsk. Oslo.

Søggen. 98. Bygningsnettverket-Enøk og energistatistikk-Årsrapport 1997. NVE's  
byggoperatør. Bergen

Valbjørn et.al. 95. Indeklimahåndboken SBI Anvisning 182. Statens byggeforskningsinstitutt.  
København.

Wargocki. 00. Effect of changing the ventilation rate in an office on perceived air quality, Sick Building Syndrome symptoms and productivity. Danmarks tekniske universitet.

---

Oslo, 13. november 2000  
*Erichsen & Horgen A/S*

Ida Bryn





## RÅDGIVERE MED SPISSKOMPETANSE

Erichsen & Horgen er et rådgiverselskap med spisskompetanse innen VVS, energi og klimateknikk, særlig for bygg i kaldt klima. Våre ingeniører leverer i tillegg et bredt spekter av tilgrensende spesialiserte tjenester for bygge- og eiendomsbransjen.

Vi yter rådgivning og prosjektering for alle prosjektfaser fra utvikling og utredning av muligheter, via detaljering av planer til bygging/implementering og drift.

Årlig utføres flere hundre store og små oppdrag innenfor følgende områder:

- Inneklima
- Dagslys
- Energibruk
- Miljø
- Bygningsfysikk
- Brannteknikk
- Sanitær og utendørs VVS
- Varmeanlegg
- Gass varmeanlegg
- Medisinsk gass og trykkluft
- Kuldeanlegg
- Luftbehandlingsanlegg
- Luftkjøleanlegg
- Automatikk og SD-anlegg
- Avfallsug og støvsugeranlegg