

■ [www.energy.sintef.no](http://www.energy.sintef.no) ■



**SINTEF Energiforskning AS**

Postadresse: 7465 Trondheim  
Resepsjon: Sem Sælands vei 11  
Telefon: 73 59 72 00  
Telefaks: 73 59 72 50

www.energy.sintef.no

Foretaksregisteret:  
NO 939 350 675 MVA

**TEKNISK RAPPORT**

SAK/OPPGAVE (tittel)

**Valg mellom naturlig, hybrid og mekanisk ventilasjon**

SAKSBEARBEIDER(E)

Hans Martin Mathisen, Jacob Stang, Tommy Kleiven, Per Olaf Tjelflaat

OPPDRAUGSGIVER(E)

Norges forskningsråd, YIT Building Systems, Gunnar Karlsen AS, Systemair, PM-Luft, Interconsult ASA, Forsvarsbygg

TR NR.	DATO	OPPDRAUGSGIVER(E)S REF.	PROSJEKTNR.
* F5993	2004-06-15	Harald Rikheim	16x39203
ELEKTRONISK ARKIVKODE	PROSJEKTANSVARLIG (NAVN, SIGN.)	GRADERING	
040212hmm153039	Monica Berner <i>Monica Berner</i>	*Fortrolig	
ISBN NR.	RAPPORTTYPE	FORSKNINGSSJEF (NAVN, SIGN.)	OPPLAG      SIDER
82-594-2687-0		Inge R. Gran <i>Inge R. Gran</i>	30              58
AVDELING	BESØKSADRESSE	LOKAL TELEFAKS	
Energiprosesser	Kolbjørn Hejes v. 1D	73 59 39 50	

RESULTAT (sammendrag)

Hovedkonklusjonen for bruk av ulike løsninger:

- Ren naturlig ventilasjon uten bruk av vifter vil ikke kunne tilfredstille krav til inneklimate og/eller energibruk i skoler.
- Mekanisk ventilasjon kan utføres slik at den tilfredstiller alle krav til inneklimate og energibruk.
- Hybrid ventilasjon kan også utføres slik at den tilfredstiller alle krav til inneklimate og energibruk, men den krever da viftedrift større eller mindre deler av brukstiden.
- Kombinerte løsninger kan også tilfredstille kravene nevnt ovenfor.

Pålitelige og sammenlignbare tall for installasjons- og driftskostnader for mekanisk og naturlig/hybrid ventilasjon eksisterer i liten grad.

\* Rapporten er gradert åpen etter avtale med oppdragsgiver (2005-06-06)

**STIKKORD**

EGENVALGTE	Ventilasjon	Inneklimate
	Skoler	Hybrid



## **FORORD**

Denne rapporten er utarbeidet for medlemmene i Det climatekniske laboratorium (DKL).

Det overordnede målet med DKL er å etablere en langsiktig, kontinuerlig og tidsmessig FoU-aktivitet innen climateknikk til nytte for næringsliv, offentlig forvaltning, studenter og forsknings- og utdanningsmiljøer. Kompetansen knyttet til climatekniske installasjoner i bygninger og inneklima skal heves hos den norske bransjen generelt, og hos medlemmene spesielt, slik at resultatet blir et sunt og god innemiljø med god energieffektivitet.

DKL er finansiert av Norges forskningsråd, YIT Building Systems, Gunnar Karlsen AS, Systemair, PM-Luft, Forsvarsbygg og Interconsult ASA.



## INNHOLDSFORTEGNELSE

	Side
1 INNLEDNING .....	7
2 SAMMENDRAG .....	9
3 KLASSIFISERING AV VENTILASJONSLØSNINGER .....	10
4 KONSEKVENSER AV Å VELGE EN VENTILASJONSLØSNING .....	12
4.1 BESKRIVELSE AV TRE VENTILASJONSPRINSIPPER.....	12
4.1.1 Mekanisk ventilasjon.....	12
4.1.2 Naturlig ventilasjon .....	12
4.1.3 Hybrid ventilasjon .....	14
4.1.4 Kombinerte løsninger .....	14
4.2 SAMMENLIGNING AV LØSNINGER .....	15
4.2.1 Krav til termisk komfort.....	16
4.2.2 Krav til luftkvalitet .....	20
4.2.3 Krav til rengjøring .....	24
4.2.4 Krav til luftinntak og avkast.....	26
4.2.5 Krav til støy .....	28
4.2.6 Krav til driftskostnader og energibruk.....	30
4.2.7 Krav til sikkerhet .....	36
4.2.8 Utnyttelsesgrad .....	38
4.2.9 Transportveier.....	40
4.2.10 Investerings og driftskostnader.....	42
Sammenligning mellom ventilasjonsprinsipper: Investerings og driftskostnader .....	43
4.2.11 Løsningens påvirkning på arkitekturen .....	46
5 KONKLUSJONER .....	49
5.1.1 Konklusjon naturlig ventilasjon.....	49
5.1.2 Konklusjon hybrid ventilasjon .....	49
5.1.3 Konklusjon mekanisk ventilasjon.....	49
5.1.4 Generelt .....	49
6 REFERANSER .....	50
VEDLEGG B – KARAKTERISERING AV NATURLIG, HYBRID OG MEKANISK VENTILASJON ETTER TRYKK.....	52
VEDLEGG C – DRIVKREFTER FOR VENTILASJON .....	53
VEDLEGG D – KOMBINASJON AV DRIVKREFTER FRA VIND OG OPPDRIFT.....	54
VEDLEGG D – ARKITEKTONISKE FØLGER AV NATURLIG OG HYBRID VENTILASJON .....	56





## 1 INNLEDNING

Hensikten med rapporten er å beskrive forskjellene mellom naturlig, hybrid og mekanisk ventilasjon og å avklare hvordan kriterier for inneklimate og energibruk oppfylles av de ulike løsningene. Rapporten omhandler skolebygninger fordi det er der naturlig og hybrid ventilasjon i hovedsak har blitt anvendt i Norge.

I de seneste år har en del skoler blitt bygd med hybrid ventilasjon i Norge. I Sverige har slike skoler blitt bygd i større omfang, og de har lengre erfaring med slike løsninger. Til tross for det finnes det få undersøkelser som dokumenterer inneklimate og helse i disse skolene, sammenlignet med skoler med mekanisk ventilasjon. På den annen side finnes det omfattende litteratur om design og dimensjonering av naturlig og hybrid ventilasjon. Dette har vært et av mest populære temaene på internasjonale vitenskapelige konferanser de siste årene.

Først beskriver rapporten karakteristiske kjennetegn ved naturlig, hybrid og mekanisk ventilasjon. Deretter har vi valgt å definere et sett med kriterier som kan skille mellom de ulike løsningene. Disse kriteriene samsvarer med krav som vanligvis stilles til inneklimate og energibruk i norske skoler. Hoveddelen av rapporten er i hovedsak en sammenligning av løsningene opp mot kriteriene. Økonomisk sammenligning av løsninger er vanskelig da slike data er pr i dag mangelfulle.



## 2 SAMMENDRAG

Denne rapporten er ment som en avklaring rundt valg av naturlig/mekanisk ventilasjon og gir en gjennomgang av hvilke konsekvenser valg av ulike ventilasjonsløsninger medfører. Den er skrevet som en del av prosjektet "Det klimatekniske laboratorium". Ved utarbeidelse av rapporten har det deltatt personer med erfaring fra forskningsarbeid knyttet til mekanisk og/eller hybrid ventilasjon. Rapporten omhandler skolebygninger fordi det er der naturlig og hybrid ventilasjon i hovedsak har blitt anvendt.

Definisjoner:

- *Naturlig ventilasjon*. De eneste drivkrefter for transport av luft er oppdriftskraft som skyldes at varm inneluft er lettere enn kald uteluft og/eller vind som presser luft gjennom bygningen.
- *Mekanisk ventilasjon* er ventilasjon hvor vifter er den eneste drivkraften for ventilasjon.
- *Hybrid ventilasjon* benytter naturlige drivkrefter når disse gir tilstrekkelig drivkraft, ellers benyttes vifter. Det benyttes samme føringsvei enten drivkraften er mekanisk eller naturlig.
- *Kombinerte løsninger* bruker mekaniske og naturlige drivkrefter i atskilte føringsveier.

Hovedkonklusjonen for valg mellom ulike ventilasjonsprinsipper:

- Ren naturlig ventilasjon uten bruk av vifter vil ikke kunne tilfredsstille krav til inneklimate og/eller energibruk i skoler.
- Mekanisk ventilasjon kan utføres slik at den tilfredsstiller alle krav til inneklimate og energibruk.
- Hybrid ventilasjon kan også utføres slik at den tilfredsstiller alle krav til inneklimate og energibruk.
- Kombinerte løsninger mellom mekanisk og naturlig ventilasjon kan også tilfredsstille kravene nevnt ovenfor.
- Installasjons- og driftskostnader er ikke godt nok avklart for skoler. Det bør kartlegges bedre hva som er virkelige installasjons- og driftskostnader for skolebygninger med de ulike løsninger.
- Data viser meget stor variasjon i energibruk mellom hybridventilerte skoler. Spredningen er nesten like stor som for et utvalg av 650 norske skolebygninger med gjennomsnittsalder på ca 36 år.

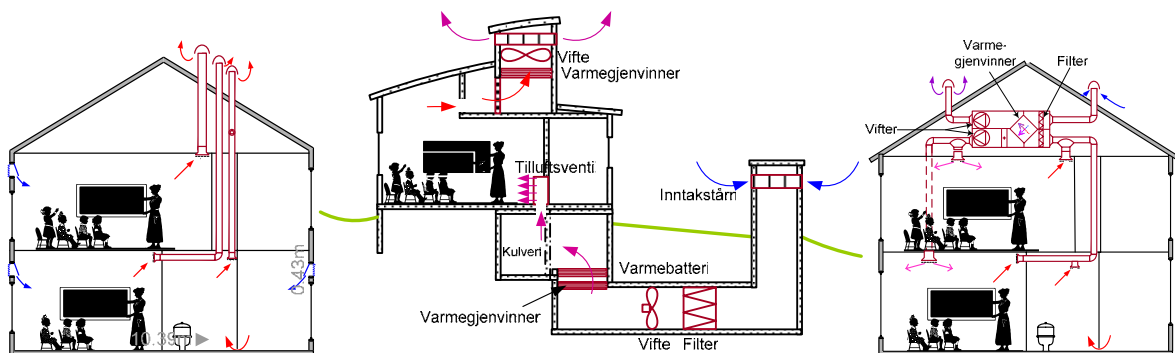
### 3 KLASSIFISERING AV VENTILASJONSLØSNINGER

Skillet mellom *naturlig* og *mekanisk ventilasjon* ligger i hvilke drivkrefter som brukes:

- Naturlige drivkrefter fra oppdrift og vind. Naturlig ventilasjon kan være alt fra enkle løsninger med manuelle ventiler i yttervegg supplert med vinduslufting til mer avanserte løsninger med forvarming av ventilasjonsluft og automatikk for styring av luftmengder.
- Mekaniske krefter fra vifter. Mekanisk ventilasjon kan være alt fra enkle løsninger med kun avtrekksvifte til balansert ventilasjon med vifter for tilluft og avtrekk, varmegjenvinning og behandling av tillufta.

*Hybrid ventilasjon* benytter seg av både mekaniske og naturlige krefter i samme løsning/installasjon. Det vil si at føringsvei og eventuelt kanalsystem (i hovedsak) er det samme uansett hvilken drivkraft som brukes.

Figur 1 viser prinsippet for noen av ventilasjonsløsningene.



Figur 1. Ventilasjonsløsninger. Naturlig med oppdrift, hybrid og mekanisk.

Det kan også lages *kombinerte løsninger* som bruker separate føringsveier/kanaler for lufta avhengig av om ventilasjonen er mekanisk eller naturlig. Løsningene kan skilles på flere måter:

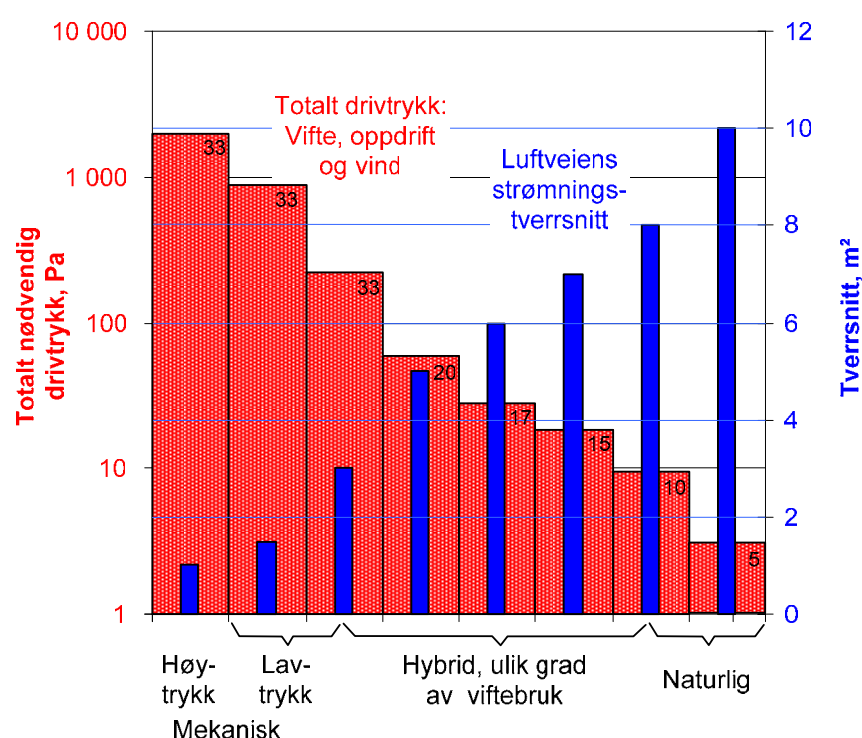
- Etter tilgjengeligheten av naturlige drivkrefter. For eksempel at det brukes et oppdriftsanlegg basert dobbeltfasade om vinteren, mens det om sommeren brukes et konvensjonelt mekanisk ventilasjonsanlegg.
- Etter sted i bygningen. For eksempel at rom langs fasaden er basert på vinduslufting eller annen form for naturlig ventilasjon mens rom i kjernen har mekanisk ventilasjon.

Det er ikke kjent at løsningene a) eller b) er benyttet i skoler i Norge, men i andre land har de en viss utbredelse i kontorbygg. Den ganske vanlige praksis med at brukerne i en bygning som har mekanisk ventilasjon supplerer med vinduslufting om sommeren kan sies å være en form for kombinert løsning.

Figur 2 har vi forøkt å illustrere forskjellen mellom mekanisk, naturlig og hybrid ventilasjon. Den viser sammenheng mellom trykktapskoeffisienter, totalt drivtrykk og nødvendig tverrsnittsareal. Tverrsnittsarealet bestemmer luftas hastighet, slik at hastigheten ved mekanisk høytrykksventilasjon

her er 8 ganger høyere enn ved den naturlige ventilasjonen med lavest hastighet. Trykktapskoeffisienten som er brukt for mekanisk høytrykksventilasjon gir en løsning som krever relativt høy effekt til drift av vifter (SFP=3). Dersom vi definerer mekanisk ventilasjon til ren viftedrift og naturlig til ingen bruk av vifter, så ser vi at hybrid dekker alt fra løsninger som for en stor del er basert på naturlig ventilasjon til systemer som nesten alltid bruker vifte og bare i liten grad utnytter oppdriftskrefter.

For at en løsning med rette skal kunne kalles hybrid så bør den i vesentlig grad utnytte oppdrifts- og/eller vindkrefter, minimum slik at den kan klare seg uten viftedrift i deler av brukstiden. For å få til dette så ser vi av figuren at trykktapene må gjøres vesentlig lavere enn ved mekanisk ventilasjon og at tverrsnittet på strømningsveiene økes vesentlig.



Figur 2. Prinsipiell sammenheng mellom drivtrykk og strømningsveiens tverrsnitt ved gitt føringsvei, luftmengde, utetemperatur og høyde. Trykktapskoeffisienten varierer fra 33 til 5, se angivelse på stolpene. I vedlegg er det vist hvilke verdier som ligger til grunn for diagrammet.

## 4 KONSEKVENSER AV Å VELGE EN VENTILASJONSLØSNING

I dette kapitlet ser vi på konsekvenser av å velge en ventilasjonsløsning, naturlig, hybrid eller mekanisk. Det vurderes først og fremst *konsekvenser og begrensinger* i forhold til bygningsmessig utforming.

Det er skoler som er lagt til grunn fordi det er slike bygninger hvor naturlig og hybrid ventilasjon i noen grad blir anvendt i Norge.

I kapittel 4.1 gis en beskrivelse av de ulike ventilasjonsprinsippene, i 4.2 gjøres enn sammenligning av prinsippene.

*Det forutsettes at forskriftskrav med veiledninger tilfredsstilles med hensyn til inneklimate og energibruk.* Krav til inneklimate, sikkerhet og energibruk er vist i kapittel 4.2.

### 4.1 BESKRIVELSE AV TRE VENTILASJONSPRINSIPPER

I dette kapitlet beskrives kort virkemåten for mekanisk, naturlig og hybrid ventilasjon.

#### 4.1.1 Mekanisk ventilasjon

Mekanisk ventilasjon baseres på bruk av vifter som drivkraft og er derfor uavhengig av uteforholdene. Ved balansert ventilasjon blåses lufta gjennom kanaler fram til rommene. I hvert rom er det en eller flere ventiler som fordeler lufta i rommet. Deretter suger avtrekksvifta lufta ut gjennom et kanalsystem. Sammen med viftene er det plassert utstyr som renser, varmer opp og overfører energi fra den brukte til den friske lufta.

#### 4.1.2 Naturlig ventilasjon

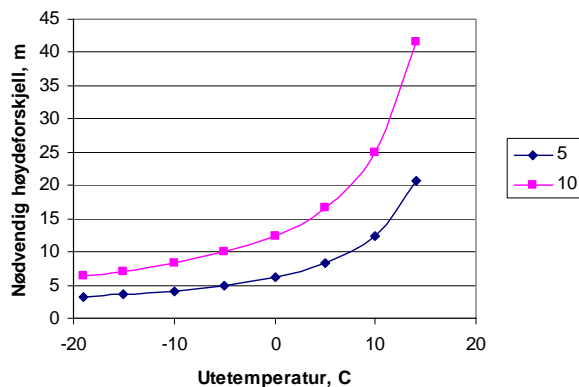
I sin enkleste form er naturlig ventilasjon lufting gjennom vinduer, ventiler i yttervegg og utettheter, uten et rommene er koplet til et felles system med åpninger mellom rom eller kanaler. Dersom ventilasjon av et rom skjer gjennom åpninger mot en fasade vil det kun være temperaturforskjellen mellom ute inne som gir drivkraft. Det kreves da store åpninger sommerstid (vinduslufting). Vinterstid vil ventilasjonen gi trekk fordi luften ikke er oppvarmet før den slippes inn. Har rommet åpninger mot to fasader vil ventilasjonen forsterkes av vind, noe som er gunstig ved høye utetemperaturer, men ugunstig om vinteren.

For å oppnå bedre kontroll med luftmengder og redusert trekk kan det benyttes løsninger som omfatter hele bygget. Da kan oppdriftskreftene forsterkes noe og luftmengdene til en viss grad kontrolleres ved hjelp av spjeld. Det er også mulig å få til forvarming av luften. Allikevel har man ingen mulighet for kontrollert ventilasjon på varme dager med lite vind, og energiforbruket til ventilasjon vil bli høyt fordi det ikke kan gjenvinnes varme fra den brukte luften.

Naturlig ventilasjon har større utbredelse i sydligere land fordi man der ikke behøver bekymre seg over trekk på samme måte som vi må i vårt kalde klima. I varmere klima er det vanlig å bruke kryssventilasjon ("gjennomtrekk") og tunge bygningsmaterialer som kjøles ned om natten.

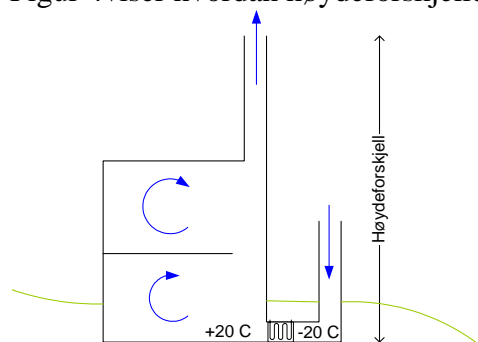
### Følger for bygningshøyde gitt av drivkrefter

Drivkreftene for naturlig ventilasjon er oppdrift og vind. Oppdriften øker med høyden og temperatordifferensen mellom inne og ute. Nødvendig høydeforskjell som funksjon av utetemperaturen er vist i Figur 3. Av dette ser vi at dersom vil skal ha tilstrekkelig drivtrykk ved 10 °C utetemperatur og har et totalt trykktap på 10 Pa så kreves det ca 25 meter i høydeforskjell mellom det laveste punkt med utetemperatur og toppen av avtrekket. På side 53 er grunnlaget for dette nærmere forklart.



Figur 3. Nødvendig høydeforskjell for å oppnå ulike drivtrykk ved ulike temperaturer. Drivtrykket er 5 og 10 Pa.

Figur 4 viser hvordan høydeforskjellen kan økes for å øke oppdriftskraften.

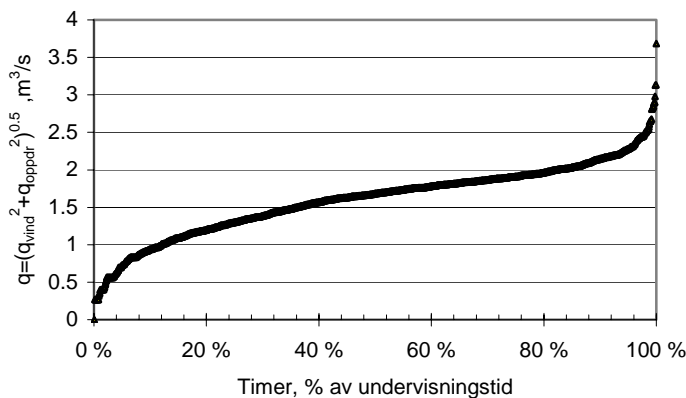


Figur 4. Oppdriftskraften kan økes ved å plassere punktet hvor lufta varmes opp lavt, og å bruke termisk isolert skorstein.

#### 4.1.2.1 Samvirkning mellom vind og oppdriftskrefter

Ofte vil oppdrifts- og vindkrefter virke sammen slik som illustrert i Figur 5. Beregningen er basert på et klimaår for Oslo. Det forutsettes at oppdrift og vind utnyttes optimalt, for eksempel at vinden er like tilgjengelig uansett vindretning. Grunnlaget for beregningen er vist på side 54.

Av figuren framgår det at det deler av året tilføres for lite luft, slik at kriteriet som stiller krav til luftkvalitet vanskelig kan oppfylles. I andre deler av året blir drivkreftene sterke. For å unngå trekk og unødvendig store luftmengder er det i slike perioder nødvendig med struping av luftmengdene. Dette kan føre til støy som overskrider støykriteriene.



Figur 5. Tilgjengelighet av oppdrift og vind for Oslo.  $q$  er summen av luftmengde fra oppdrift og vind. 10 meter høydeforskjell for oppdrift. .  $C_p=0.4$ ,  $C_d=0.6$ ,  $A=1 \text{ m}^2$ .

#### 4.1.2.2 Måter å øke tilgjengeligheten av ventilasjon

Drivkraften fra oppdrift og vind kan forsterkes ved for eksempel:

- Solskorstein hvor solen brukes til å varme opp avtrekksluften slik at det også kan skapes oppdrift når kjølebehovet øker. Disse vil øke byggehøyden og påvirke byggets profil.
- Ved å øke byggehøyden øker oppdriften slik at minimum luftmengde kan opprettholdes over større del av året. For skoler er det sjelden aktuelt å bygge mer enn to etasjer slik at det er begrenset hva som kan oppnås med denne løsningen.
- Det kan bygges avtrekkstårn som kan utnytte vindkreftene bedre. Spesielt i innlandsstrøk er det imidlertid lite vind når det er godt vær og størst behov for ventilasjon.

Ved å øke strømningsverrsnittet ved høye utetemperaturer gjennom åpning av vinduer, dører og luker kan ventilasjonsluftmengden økes. Dette krever manuell innsats eller utstrakt bruk av motorstyringer.

### 4.1.3 Hybrid ventilasjon

#### 4.1.3.1 Begrensninger gitt av drivkrefter

Dersom man for eksempel ønsker å basere seg fullstendig på oppdrift opp til en utetemperatur på 0°C med en hybrid løsning som har en totalt strømningsstap på for eksempel 20 Pa krever det en høydeforskjell på 25 meter. Begrenses høydeforskjellen til 10 meter og så vil man kun ha ren oppdrift når temperaturen er lavere enn -30 °C. Det er derfor svært begrenset hva man sparer av vifte-drift fordi driftstid uten viftedrift blir kort.

I praksis kan driftstiden med naturlig drivkrefter utvides betydelig. I skoler (og kontorbygg) er det vanlig å dimensjonere ventilasjonsanlegget ut fra at alle rom brukes. Det er imidlertid sjelden at alle rom er i bruk samtidig, hvis anlegget er styrt med behovsstyrt ventilasjon kan total luftmengde minskes. Det betyr at lufthastigheter og trykktap for luften reduseres betydelig og nok til at oppdrift/vind kan drive ventilasjonen i større deler av året.

#### 4.1.4 Kombinerte løsninger

Kombinasjon av mekanisk og naturlig ventilasjon vil ha de samme fordeler og ulemper som beskrevet under naturlig og mekanisk ventilasjon.



## **4.2 SAMMENLIGNING AV LØSNINGER**

På de neste sider følger en sammenligning av ulike ventilasjonsprinsippene. Sammenligningene er gjort ut fra krav til inneklima, energibruk, kostnader og arkitektur.

Det finnes svært få nye norske skoler med naturlig ventilasjon (ett tilbygg til en skole i Vanse). Av skoler med hybrid ventilasjon finnes det i dag trolig mellom 20 og 30 ferdig bygde og under prosjektering. Flere av disse er tilbygg til eksisterende skoler. Det er få av disse hvor det har blitt gjort utførlig etterprøving av inneklima og energibruk. Det hadde vært ønskelig med flere oppfølgingsprosjekter, både av hybridventilerte og mekanisk ventilerte skoler slik at kunnskapen om reelle forskjeller mellom ventilasjonsprinsippene kunne styrkes. Dette ville også styrke grunnlaget for å prosjektere riktig og å unngå typiske feil.

#### 4.2.1 Krav til termisk komfort

##### Krav til romtemperatur om vinteren

Kriterier som er lagt til grunn for sammenligning av ulike løsninger i denne rapporten er i henhold til Byggforsk byggdetaljblad 421.505 Krav til innemiljøet i yrkes- og servicebygninger, samt prNS 3563, Ventilasjon i bygninger - Dimensjoneringsmetoder for inneklimate. Tabellen har tre kategorier som klassifiserer inneklimateets kvalitet. Disse er forklart i Tabell 1. Kategori 2 er den som vanligvis blir valgt og som stemmer best med byggdetaljbladet: 552.311 Ventilasjon og inneklimate i skoler. Disse er også i overensstemmelse med prNS 3563, Ventilasjon i bygninger - Dimensjoneringsmetoder for inneklimate.

	Kategori	Operativ temperatur °C	Maksimal lufthastighet m/s
Klasserom	1	$22,0 \pm 1,0$	0,15
	2	$22,0 \pm 2,0$	0,18
	3	$22,0 \pm 3,0$	0,21

Tabell 1. Inneklimatekategorier.

Kategori	Termisk tilstand for kroppen som helhet		Lokalt termisk ubehag			
	Ventet andel av misnøye	Predicted Mean Vote	Andel misnøye pga. trekk	Andel misnøye pga. vertikal temperaturforskjell	Andel misnøye pga. varmt eller kaldt golv	Andel misnøye pga. strålingsasymmetri
	%	%	%	%	%	%
1	< 6	$-0,2 < PMV < +0,2$	< 15	< 3	< 10	< 5
2	< 10	$-0,5 < PMV < +0,5$	< 20	< 5	< 10	< 5
3	< 15	$-0,7 < PMV < +0,7$	< 25	< 10	< 15	< 10

I tillegg gjelder følgende (Ren teknisk 1997, 3. utgave april 2003) : "Lufttemperaturforskjell over 3 °C mellom føtter og hode gir uakseptabelt ubehag, likeså daglig eller periodisk temperaturvariasjon utover ca. 4 °C." Dersom temperaturen ligger innenfor toleransene i prNS 3563, Ventilasjon i bygninger - Dimensjoneringsmetoder for inneklimate, så tilfredsstilles det siste punktet.

**Sammenligning mellom ventilasjonsprinsipper: Krav til romtemperatur om vinteren**

Karakteristikk	Kriteriumsoppfyllelse
<p><i>Naturlig ventilasjon</i></p> <p>I sin enkleste form tilføres lufta gjennom åpninger i yttervegg. I klasserom kreves mye luft og en slik løsning vil derfor føre til trekk. Tilføres lufta direkte til oppholdssonen må den tilføres med en temperatur på minimum 18 til 19 °C.</p> <p>Ved forvarming i kulvert kan riktig temperatur oppnås, men en kulvertløsning gir som regel så store trykktap at luftmengdekravene ikke kan oppfylles. Det er da nødvendig med vifte som drivkraft og løsningen blir da hybrid.</p>	<p>Det er svært vanskelig å oppfylle dette kravet for alle utetemperaturer og vindforhold.</p>
<p><i>Mekanisk ventilasjon:</i></p> <p>Generelt byr det ikke på problemer å oppfylle kravene til termisk komfort da lufta tilføres med en temperatur som forhindrer trekk. Trekkfølelsen reduseres også ved at den som regel tilføres gjennom ventiler utenfor oppholdssonen.</p>	<p>Oppfylles</p>
<p><i>Hybrid ventilasjon:</i></p> <p>I løsninger med kulvert formvarmes lufta før den føres inn rommene. Lufta tilføres som regel direkte til oppholdssonen med såkalt fortrengningsventilasjon.</p> <p>Hybrid ventilasjon med tilluft gjennom fasaden er lite brukt i norske skoler. For å unngå trekk krever en slik løsning lokal oppvarming av lufta. Avhengig av hvilken løsning som velges for tilluft til rommet må den formvarmes til 16 til 19 °C. Kommersielle løsninger lagd for norsk klima og med tilstrekkelig kapasitet for klasserom er ikke tilgjengelig i dag.</p>	<p>Oppfylles i de tilfeller det brukes kulvert og god nøyaktighet på regulering av tilluftstemperaturen.</p>

#### 4.2.1.1 Krav til romtemperatur om sommeren

Kriterier som er lagt til grunn for sammenligning av ulike løsninger i denne rapporten er i henhold til Byggforsk byggdetaljblad 421.505 Krav til innemiljøet i yrkes- og servicebygninger, se Tabell 2. Tabellen har tre kategorier som klassifiserer inneklimateets kvalitet. Disse er forklart i Tabell 1, side 16. Kategori 2 er den som vanligvis blir valgt og som stemmer best med byggdetaljbladet: 552.311 Ventilasjon og inn klima i skoler

Tabell 2. Inneklimakrav for skoler

	Kate- gori	Operativ temperatur °C	Maksimal lufthastig- het m/s
Klasserom	1	$24,5 \pm 0,5$	0,18
	2	$24,5 \pm 1,5$	0,22
	3	$24,5 \pm 2,5$	0,25

I tillegg gjelder følgende (Ren teknisk 1997, 3. utgave april 2003) :

- Lufttemperaturforskjell over 3 °C mellom føtter og hode gir uakseptabelt ubehag, likeså daglig eller periodisk temperaturvariasjon utover ca. 4 °C
- Overskridelse av den høyeste grensen bør derfor kunne aksepteres i varme sommerperioder med utelufttemperatur over den som overskrides med 50 timer i et normalår (se meteorologiske statistiske data for maksimaltemperaturer).

Generelt gjelder det at det kan være fornuftig å redusere overtemperatur i varme perioder ved å utnytte termisk masse og døgnakkumulering ved at uteluften benyttes til nedkjøling om natten. Det kan da oppnås en betydelig senkning av romtemperaturen om dagen. Dette forutsetter at det brukes store flater med høy termisk treghet, noe som betyr materialer med stor egenvekt, høy spesifikk varmekapasitet og god varmeledningsevne (betong). Materialene må være i god kontakt med romlufta, noe som betyr at de ikke kan isoleres, dekkes av paneler eller lignende. Det at ventilasjonslufta brukes til nedkjøling av bygningen om natten kalles ofte for passiv kjøling eller frikjøling. Denne effekten kan utnyttes uavhengig av ventilasjonsprinsipp.

**Sammenligning mellom ventilasjonsprinsipper: Krav til romtemperatur om sommeren**

<b>Karakteristikk</b>	<b>Kriteriumsoppfyllelse</b>
<p><i>Naturlig ventilasjon:</i> Det vil være vanskelig å kombinere naturlig ventilasjon med mekanisk kjøling av ventilasjonslufta. For å få til mekanisk kjøling må det derfor eventuelt benyttes kjøleinnretning plassert i rommet. Disse må kunne håndtere kondens som oppstår på kalde flater.</p>	<p>Krav til romtemperatur kan oppfylles dersom bygningen har store, eksponerte flater med tunge materialer.</p>
<p><i>Mekanisk ventilasjon:</i> Mekanisk ventilasjon egner seg godt for mekanisk kjøling gjennom kjølebatteri innebygd i tilluftsaggregat. Kjøling kan også plasseres lokalt i rommene som skal kjøles fordi mekanisk ventilasjon gir mulighet til å redusere fuktighetsinnholdet i lufta før den tilføres rommene, slik at kondensasjon unngås.</p> <p>Det oppnås best nedkjøling om natten dersom tilført energi fra tillufts-viften ikke er for høy, dvs lav SFP.</p>	<p>Krav til maksimal temperatur kan oppfylles på ulike vis med mekanisk ventilasjon.</p>
<p><i>Hybrid ventilasjon:</i> Ved hybrid ventilasjon benyttes vanligvis fortrenningsventilasjon fordi det er relativt enkelt å oppnå lavt trykktap med denne løsningen. Erfaring med fortrenningsventilasjon viser imidlertid at den krever nøyaktig regulering av og kontroll av tilluftstemperaturen for å unngå trekk. Brukerne vil også kunne oppleve trekk dersom møblering endres i forhold til planlagt løsninger, for eksempel slik at skap stilles foran tilluftsåpningen eller brukerne sitter for nær åpningene.</p> <p>Hybrid ventilasjon egner seg ikke spesielt godt for mekanisk kjøling fordi et kjølebatteri vil gi ekstra strømningsmotstand. Er det plassert i kulvert vil det dessuten gi redusert oppdrift.</p>	<p>Krav til romtemperatur kan oppfylles dersom bygningen har store, eksponerte flater med tunge materialer.</p>

## 4.2.2 Krav til luftkvalitet

God luftkvalitet krever at lufta som tilføres rommet er ren og at den tilføres i tilstrekkelig mengde til tynne ut/fortrenge forurensninger.

### 4.2.2.1 Krav til luftkvalitet

Kriterier som er lagt til grunn for sammenligning av ulike løsninger i denne rapporten er i henhold til Byggforsk byggdetaljblad 421.505 Krav til innemiljøet i yrkes- og servicebygninger, se Tabell 3. Tabellen har tre kategorier som klassifiserer inneklimatets kvalitet. Disse er forklart i tabell, side 16. Kategori 2 er den som vanligvis blir valgt og som stemmer best med byggdetaljbladet: 552.311 Ventilasjon og inneklimate i skoler.

Tabell 3. Inneklimatekrav for skole, luftkvalitet.

	Person- belastning person/m <sup>2</sup>	Kate- gori	Tilført luftmengde l/s pr. m <sup>2</sup>
			Lav-emitterende materialer
Klasserom		1	6,0
	0,5	2	4,2
		3	2,4

I Ren teknisk 1997, 3. utgave april 2003 er dette alternativt angitt som:

- Luftkvalitet tilsvarende 7 l/s person og, avhengig av om det velges henholdsvis ”dokumentert lavemitterende materialer”, ”kjente og godt utprøvde materialer som er bedømt å være lavemitterende” eller ”udokumenterte materialer”, et tillegg på 0,7, 1,0 eller 2 l/sm<sup>2</sup> gulv.

Dersom dette kravet følges med dimensjonering av luftmengden etter lavemitterende materialer, så vil utåndingsluften fra personene i rommet gi en konsentrasjon på ca 1000 ppm CO<sub>2</sub>. CO<sub>2</sub> kan derfor brukes som en indikator på om luftkvaliteten i et rom er god.

I forhold til olf- og decipolbegrepene medfører en luktfri tilluftsluftmengde på ca 7 liter per sekund og person i et rom uten andre luktemisjoner at 20 % eller mindre av personene som besøker rommet vil være misfornøyd med luftkvaliteten. (Fanger, P. O. Introduction of the olf and the decipol Units to Quantify Air Pollution Perceived by Humans Indoors and Outdoors. Energy and Buildings, 12 (1988) 1 – 6).

Dersom luftmengden reduseres i forhold til 4.2 l/s pr m<sup>2</sup> stiger antall misfornøyde, med en luftmengde på 2,4 l/s m<sup>2</sup> blir det 30 % misfornøyde personer.

**Sammenligning mellom ventilasjonsprinsipper: Krav til luftkvalitet**

<b>Karakteristikk</b>	<b>Kriteriumsoppfyllelse</b>
<i>Naturlig ventilasjon:</i> Med ren naturlig ventilasjon vil det være vanskelig å oppnå tilfredsstillende luftmengder hele året fordi luftmengden er bestemt av uteklimaet. Vindstille og høy utetemperatur gir svært lite ventilasjon mens lave utetemperaturer gir fare for trekk og for høy energibruk dersom luftkvaliteten skal tilfredsstilles.	Nei
<i>Mekanisk ventilasjon:</i> Luftkvaliteten er uavhengig av uteforholdene og vil være god så lenge renhold og vedlikehold er godt.	Ja
<i>Hybrid ventilasjon:</i> Hybrid ventilasjon med vifter er uavhengig av uteforholdene dersom den er dimensjonert for å tilfredsstille kravene til luftmengde og vil være god så lenge renhold og vedlikehold er godt.	Ja

**Krav til luftas partikkelinnhold**

Ren teknisk 1997, 2. utgave april 1999, Kap. VII sier:

”Vanlig støv innendørs kan være sammensatt av f.eks partikler av jord, sand, mineraler, sot, matavfall, hudavfall, soppsporer, pollen m m, flere av dem kjente allergener. Støvpartiklene kan også fungere som absorpsjonskjerner for andre stoffer som bakterier, virus og kjemiske eller radioaktive stoffer. Høyt partikkelinnhold i romlufta utgjør en potensiell helsefare, og spesielt partikkelstørrelsen er av betydning.”

Med tanke på personer med astma, allergi og overfølsomhetsreaksjoner er det særlig viktig at det ikke tilføres pollen til innelufta.



**Sammenligning mellom ventilasjonsprinsipper: Krav til luftas partikkelinnhold**

<b>Karakteristikk</b>	<b>Kriteriumsoppfyllelse</b>
<p><i>Naturlig ventilasjon:</i> På grunn av de lave drivtrykkene kan det ikke brukes konvensjonelle filtre ved naturlig ventilasjon.</p> <p>Ved å bruke lange kulverter eller kamre kan større partikler sedimentere. Dette er vist i Schild (2002). Ved at store partikler sedimenterer minsker massen av støv i lufta betydelig, men respirabelt støv vil fortsatt befinne seg i lufta.</p> <p>Luftkvaliteten kan bedres ved å hente frisklufta høyt og føre den uoppvarmet ned til et lavt plassert oppvarmingspunkt.</p>	<p>Det må aldri finnes forurensninger i uteluft som kan skape problemer med luftkvaliteten innendørs.</p> <p>Strengt krav til renhold/hygiene i eventuell kulvert er nødvendig. Sentralstøvsuger i kulvert nødvendig.</p> <p>Med mindre spesielle tiltak gjennomføres tilsier krav til luftkvalitet at naturlig ventilasjon ikke kan benyttes i forurensede omgivelser.</p>
<p><i>Mekanisk ventilasjon:</i> Mekanisk ventilasjon har alltid filtre mellom luftinntak og aggregat. Ofte er det også et filter etter aggregat. Også før avtrekksaggregat er det montert filter for å hindre nedsmussing av dette.</p>	<p>Filter brukes for å gi ren luft og rene installasjoner.</p>
<p><i>Hybrid ventilasjon:</i> Hybrid ventilasjon kan utstyres med konvensjonelle filtre. Disse vil vanligvis være den komponent som gir størst trykktap og det finnes derfor en del skoler med hybrid ventilasjon som ikke har filter. Da gjelder de samme begrensninger som for naturlig ventilasjon.</p> <p>Kulverter har som regel så stort tverrsnitt at de kan rengjøres med støvsuger</p>	<p>Kan utstyres med filter. Hvis ikke gjelder de samme krav som for naturlig ventilasjon.</p> <p>Uten filter er sentralstøvsuger i eventuell kulvert nødvendig.</p> <p>Det må stilles strenge krav til renhold/hygiene i kulverter.</p>

### **4.2.3 Krav til rengjøring**

Luftinntak, aggregater og kanaler/kulverter må være rene innvendig for at innelufta skal få god kvalitet.

Det skal ikke være mer enn ti meter mellom inspeksjonsluker i kanaler for mekanisk ventilasjon. Ved bend skal det også være tilgang slik at rengjøring kan gjøres. (Ren teknisk 1997, 3. utgave april 2003, Kap. IX, Installasjoner)

**Sammenligning mellom ventilasjonsprinsipper: Krav til rengjøring**

<b>Karakteristikk</b>	<b>Kriteriumsoppfyllelse</b>
<p><i>Naturlig ventilasjon:</i></p>	<p>Krav til rengjøring oppfylles dersom tilgjengeligheten til føringsveiene er god.</p>
<p><i>Mekanisk ventilasjon:</i></p> <p>Renhold løses ved at anlegget utstyres med filter som holder kanalene rene, og at alle deler gjøres godt tilgjengelig for innvendig renhold. Siden kanaler som regel har så små tverrsnitt at de ikke er tilgjengelig innenfra, så må bygningen utføres slik at det sikres god tilgang til luker og åpninger.</p> <p>Rengjøring krever spesialutstyr, men dersom anlegget er utstyrt med filter vil behovet for rengjøring være beskjedent.</p>	<p>Krav til rengjøring tilfredsstilles dersom kanaler utstyres med forskriftsmessige luker og at det bygningsmessig sørges for tilgang til disse.</p>
<p><i>Hybrid ventilasjon:</i></p>	<p>Krav til rengjøring oppfylles dersom tilgjengeligheten til føringsveiene er god.</p>

#### **4.2.4 Krav til luftinntak og avkast**

Luftinntak stiller krav til plassering i forhold til høyde over bakken, solinnstråling, utendørs forurensningskilder og inntakets størrelse. Avkast for brukt luft må plasseres slik at forurensset luft ikke kan suges inn i inntaket.

**Sammenligning mellom ventilasjonsprinsipper: Krav til luftinntak og avkast**

<b>Karakteristikk</b>	<b>Kriteriumsoppfyllelse</b>
<i>Naturlig ventilasjon:</i> Naturlig ventilasjon med kulvertløsning: Inntakstårn som benyttes i forbindelse med kulvertløsninger plasseres ofte som "små hus" et stykke fra bygget. Avtrekkstårn framstår som påbygg på tak. En vellykket løsning krever godt samarbeid mellom prosjekterende ingeniør for ventilasjon og arkitekt.	Kriteriene oppfylles dersom det er god tilgang til luftinntaket
<i>Mekanisk ventilasjon:</i> En vellykket løsning krever godt samarbeid mellom prosjekterende ingeniør for ventilasjon og arkitekt.	Det må legges vekt på å unngå kortslutning mellom inntak og avkast.
<i>Hybrid ventilasjon:</i> For hybrid med kulvert, se kommentarer for naturlig ventilasjon ovenfor.	Kriteriene oppfylles dersom det er god tilgang til luftinntaket

#### **4.2.5 Krav til støy**

Krav til innendørs lydnivå fra tekniske installasjoner er gitt i NS 8175. Det opereres med fire lyd-klasser. Klasse C angir de grenseverdiene for nybygde hus som tilsvarer intensjoner for minstekrav i TEK. Inntil 20 % av berørte personer i boliger kan forventes å bli forstyrret av lyd og støy. For undervisningsrom, klasserom, møterom er dette kravet 32 dB(A).

**Sammenligning mellom ventilasjonsprinsipper: Krav til støy**

<b>Karakteristikk</b>	<b>Kriteriumsoppfyllelse</b>
<p><i>Naturlig ventilasjon:</i>            Naturlig ventilasjon er i seg selv støyfri, med unntak for forhold ved sterk vind.</p> <p>Naturlig ventilasjon gir begrensinger i muligheten til bruk av lydfeller eller andre tiltak for å dempe støy som kommer inn gjennom luftinntak. I de tilfeller vinduer/luker benyttes er det ingen mulighet for støydemping. For å unngå problemet kan luftinntak legges i innelukket gårdsrom, men da reduseres muligheten for å utnytte vind på tilluftssiden til ventilasjon som-merstid.</p> <p>Fordi luften må strømme gjennom bygningen med lav motstand, blir også lyddempingen mellom rom dårlig.</p>	<p>Krav til støy i støyende om-givelser kan oppfylles ved at luftinntaket plasseres høyt over gatenivå.</p> <p>Struping for forhold med sterk vind må utformes om-hyggelig</p>
<p><i>Mekanisk ventilasjon:</i>            Vifter generer støy, det kan også luft som strømmer gjennom for eksempel spjeld og ventiler gjøre. Det kreves derfor som regel at mekanisk ventilasjon utstyres med lydfeller. Dette er utstyr som krever plass, spesielt i aggregatrom. I kanalnett kan lydfeller komme til å stille krav til ekstra himlingshøyde. Dessuten lar støyen seg sjelden helt fjerne med rimelige kostnader, slik at bygninger med mekanisk ventilasjon kan ha en viss bakgrunns-støy selv om kravet på 32 dB(A) er oppfylt.</p>	<p>Oppfylles ved riktig dimen-sjonert kanalnett/komponent-er og bruk av lydfeller.</p>
<p><i>Hybrid ventilasjon:</i>            På grunn av lave turtall på vifter og lave lufthastighet er hybrid ventilasjon lydsvak. Dersom det brukes tilluft gjennom fasader kan krav til støy utenfra gjøre at løsningen ikke kan benyttes i trafikkerte områder. Brukes det lufttilførsel gjennom kulvert vil dempingen av støy utenfra være god.</p> <p>Impulslyd fra luker som åpner og lukker kan være distraherende.</p> <p>Fordi luften må strømme gjennom bygningen med lav motstand, blir også lyddempingen mellom rom dårlig.</p>	<p>Oppfylles</p>

## **4.2.6 Krav til driftskostnader og energibruk**

### **4.2.6.1 Krav til varmegjenvinning**

Ren teknisk 1997 sier i § 9-31 *Utførelse av ventilasjonsanlegg* .....avsnitt om *Energiøkonomisering*:

*I alle bygninger med mekanisk ventilasjon bør varmegjenvinning vurderes. Anlegget skal for øvrig gjøres så effekt- og energiøkonomisk som mulig så lenge det ikke går ut over et forsvarlig innemiljø.*

Med mindre man bruker energirammemetoden er det ikke nevnt varmegjenvinning i dagens veiledning utenom det som er sitert ovenfor. Dette vil høyst sannsynlig endre seg når nye forskrifter/veiledninger med basis i EUs direktiv for "Directive of the European Parliament and the council on the energy performance of buildings" må legges til grunn. Dette blir relativt likt energirammetoden som er et av alternativene i dag, med mulighet for teknisk bytte. Teknisk bytte betyr at man for eksempel kan man velge bort varmegjenvinning med 60% virkningsgrad dersom man kompensere med bedre isolasjon, slik at total energiramme ikke endres



**Sammenligning mellom ventilasjonsprinsipper: Varmegjenvinning**

<b>Karakteristikk</b>	<b>Kriteriumsoppfyllelse</b>
<i>Naturlig ventilasjon:</i> Avtrekksluft inneholder store energimengder. Det er derfor et krav at denne energien gjenvinnes. Alle former for varmegjenvinnere innebærer en så stor strømningsmotstand at det ikke er forenlig med de små drivkreftene til naturlig ventilasjon.	Isolert sett kan krav til energibruk til ventilasjon ikke oppfylles.
<i>Mekanisk ventilasjon:</i> Mekanisk ventilasjon legger godt til rette for bruk av varmegjenvinner. Disse har høy virkningsgrad slik at det meste av energien i avtrekksluften kan gjenvinnes. Mekanisk ventilasjon kan derfor gi mulighet for ventilerings med store friskluftsmengder.	Godt egnet til varmegjenvinning.
<i>Hybrid ventilasjon:</i> For hybrid ventilasjon med sentral luftbehandling ligger det godt til rette for varmegjenvinning fra energi i avtrekksluften, men det må brukes væskekoplet gjenvinner med relativt lav virkningsgrad.  Hybrid ventilasjon gir mulighet for ventilerings med store friskluftsmengder, men energiforbruket blir større enn for mekanisk ventilasjon på grunn av den lavere virkningsgraden til gjenvinneren.	Godt egnet til varmegjenvinning.

#### 4.2.6.2 Krav til elektrisitet til drift av vifter

Det anbefales at det settes følgende krav til spesifikk vifteeffekt (Byggdetaljblad 552.335 Prosjektering av energieffektive ventilasjonsanlegg):

- SFP < 2,0 for nye bygninger med begrenset driftstid (under 4 000 timer/år)
- SFP < 1,5 for nye bygninger med døgntkontinuerlig drift
- SFP < 2,5 ved nyinstallasjoner i eksisterende bygninger
- SFP < 4,0 ved nyinstallasjoner i eksisterende bygninger med spesielt trange tekniske rom og vanskelige føringer

For VAV-anlegg (anlegg med variabel luftmengde) økes SFP med 1,0 ved maksimal luftmengde. Disse verdiene kan komme til å bli endret når nytt EU-direktiv innføres.

SFP er definert som:

$$SFP = \frac{\sum P}{\dot{V}}$$

hvor  $\dot{V}$  er volumstrøm i m<sup>3</sup>/s og  $P$  er summen av alle vifteeffekter i kW.

SFP kan forenklet skrives som:

$$SFP \approx \frac{\dot{V} \Delta p_{tot}}{\dot{V} \eta_{tot}} = \frac{\Delta p_{tot}}{\eta_{tot}}$$

hvor  $\Delta p_{tot}$  er totaltrykkfallet målt i kPa og  $\eta_{tot}$  er totalvirkningsgrad.

**Sammenligning mellom ventilasjonsprinsipper: Elektrisitet til drift av vifter**

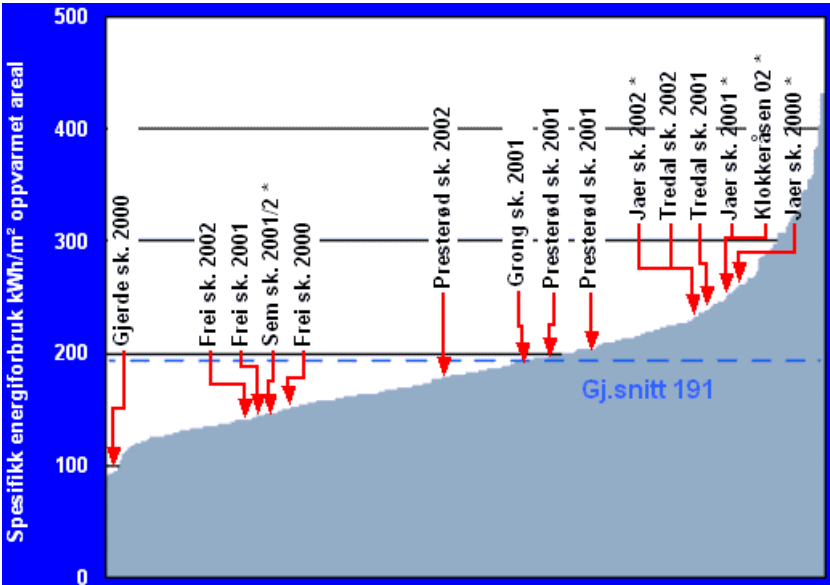
Karakteristikk	Kriteriumsoppfyllelse
<i>Naturlig ventilasjon:</i>	Ja
<p><i>Mekanisk ventilasjon:</i></p> <p>Slik som mekanisk ventilasjon har vært utført de siste tiår, så har det blitt benyttet relativt høye hastigheter i kanaler med derpå følgende høye trykktap. På grunn av dette kreves mye elektrisk energi til drift av vifter. Undersøkelser utført av Byggforsk tyder på at ca 15 til 20% av energibruken i moderne næringsbygg går til dette. Det er imidlertid lett å halvere dette forbruket ved å redusere lufthastigheten og å velge komponenter og utforming med lavt trykktap.</p> <p>Brukes behovsstyrt ventilasjon, dvs ventilasjon hvor luftmengden er bestemt av antall personer som er tilstede og/eller romluftstemperaturen, så vil luftmengdene reduseres betydelig i store deler av driftstiden. Dette reduserer energibruk til drift av vifter betydelig dersom disse er utstyrt med egnet regulering.</p> <p>For å hindre nedsmussing av aggregater og kanaler, samt sikre god luftkvalitet, så utføres alle mekaniske anlegg med filter før og etter tilluftsaggregat og før avtrekksaggregat.</p> <p>Tilsmussede filtre gir økte driftskostnader fordi de medfører større trykktap, noe som gjør at viftene bruker mer strøm.</p>	Ja, dersom det benyttes lav SFP-faktor.
<p><i>Hybrid ventilasjon:</i></p> <p>Selv om viftene går det meste av året, blir el-forbruket til drift av vifter lavt på grunn av det lave trykkfallet. Energimessig er det lite å spare på at viftene stopper i perioder.</p>	Ja

#### **4.2.6.3 Sammenligning mellom ventilasjonsprinsipper: Totale driftskostnader**

##### **4.2.6.4**

Utenom krav som er stilt i forskrifter er det opp til byggherren å stille andre krav. I dag er det ikke stilt spesielle krav til driftskostnader i regelverket. Indirekte vil det nye EU-direktivet sette krav ved at det settes en grense for hvor mye energi ulike bygningstyper har anledning til å bruke. (Kravene settes vanligvis i kWh/m<sup>2</sup>.)

## Sammenligning mellom ventilasjonsprinsipper: Totale driftskostnader

Karakteristikk	Kriteriumsoppfyllelse
<p><i>Naturlig ventilasjon:</i> Avhengig av løsning vil det være behov for rengjøring av felles kulvert.</p> <p>Se ellers tabellene foran.</p>	
<p><i>Mekanisk ventilasjon:</i> For å hindre nedsmussing av aggregater og kanaler, samt sikre god luftkvalitet, så utføres alle mekaniske anlegg med filter før og etter tilluftsaggregat og før avtrekksaggregat. Dette krever plass i aggregatrom.</p> <p>For å holde driftskostnader til viftedrift lave og opprettholde god luftkvalitet skiftes filtrene minimum en gang per år.</p> <p>Se ellers tabellene foran.</p>	
<p><i>Hybrid ventilasjon:</i> For å hindre nedsmussing av aggregater og kanaler, samt sikre god luftkvalitet, så kan hybride anlegg utføres med filter. Filter må skiftes minimum en gang per år og medfører en driftskostnad. Denne kostnaden blir større for hybrid enn for mekanisk ventilasjon fordi kanaltverrsnittet er så stort.</p> <p>Figur 6 viser en sammenligning mellom noen hybridventilerte skoler og andre norske skoler. Som vi ser er spredningen stor. Gjerde skole som ligger lavest har varmepumpe. Skolene som ikke er hybridventilerte er av alle aldre, med hovedvekt på bygg fra 1955 til 1987. En stor del er ombygd etter 1994. (Bygningsnettverkets årsrapport 2001 viser for øvrig at energibruken i skoler ikke er avhengig av byggeår)</p> 	

#### **4.2.7 Krav til sikkerhet**

Dersom man avviker fra preaksepterte løsninger må man dokumentere at det totale sikkerhetsnivået er ivarettatt.

Moderne barne- og ungdomsskoler har som regel åpne løsninger med fellesarealer. Skolen har ofte kun en etasje. Hvert klassetrinn og har gjerne sin inngang og egne garderomer i tilknytning til dette arealet. Rømningsveiene blir derfor korte før man er ute i det fri, selv om branncellene kan bli store.

**Sammenligning mellom ventilasjonsprinsipper: Krav til sikkerhet**

<b>Karakteristikk</b>	<b>Kriteriumsoppfyllelse</b>
<p><i>Naturlig ventilasjon:</i> De åpne løsningene som må benyttes ved naturlig ventilasjon setter begrensninger ved i hvor store uavgrensede volumer den kan benyttes og hvor mange etasjer som kan bygges.</p> <p>I tilfeller med åpning mellom undervisningsarealer i flere etasjer må sikkerhetsnivået opprettholdes ved at det gjennomføres andre tiltak, noe som kan medføre økte kostnader.</p> <p>Ventilasjonsluker og åpninger gir mulighet for innbrudd og må sikres. Dette kan påvirke utformingen av disse.</p>	<p>I tilfeller hvor preaksepterte løsninger ikke oppfylles må sikkerhetsnivået opprettholdes ved at det gjennomføres andre tiltak.</p>
<p><i>Mekanisk ventilasjon:</i> Ventilasjonskanaler sikres mot brannspredning ved hjelp av brannisolering og eventuelle brannspjeld slik at krav til brannceller og brannseksjonering oppfylles.</p>	<p>Ja</p>
<p><i>Hybrid ventilasjon:</i> I tilfeller med åpning for lufttransport mellom to eller flere etasjer som gjør at røyk/brann kan spres seg fra en etasje til en annen (eller mellom brannceller på samme etasje) må sikkerhetsnivået opprettholdes ved at det gjennomføres andre tiltak, noe som kan medføre økte kostnader.</p>	<p>I tilfeller hvor preaksepterte løsninger ikke oppfylles må sikkerhetsnivået opprettholdes ved at det gjennomføres andre tiltak.</p>

#### **4.2.8 Utnyttelsesgrad**

For å holde kostnadene lavest mulig er det ønskelig å ha størst mulig nyttbart nettoareal i forhold til bruttoarealet. For å angi hvor effektivt arealet utnyttes angis ofte forholdet mellom brutto- og nettoareal som en brutto/nettofaktor. En kulvertløsning for et enetasjes skolebygg vil øke bruttoarealet med 10 til 20% for en en-etasjes skolebygning.

Fordeling av luft fra ett sentralt plassert aggregat/luftinntak krever både horisontale og vertikale føringsveier. De horisontale føringsveiene kan redusere netto innvendig takhøyde i deler av bygningen, noe som kan føre til behov for økt etasjehøyde. Vertikale føringsveier vil redusere nyttbart gulvareal. Behovet for føringsveier kan reduseres ved at det benyttes flere, men mindre ventilasjonsaggregater/luftinntak. Av Wigenstad (2000) framkommer det at ventilasjonsløsninger som påvirker etasjehøyden har stor kostnadsmessige innflytelse i forhold til for eksempel sjaktstørrelse.

For å redusere behovet for lufttilførsel baserer ofte naturlig ventilerte/hybridventilerte skoler seg på bruk av store takhøyder. (I rom med stort volum reduseres luftkvaliteten langsommere enn i mindre rom med samme luftmengde. Ved lengre oppholdstider vil imidlertid luftkvaliteten bli den samme så lenge ventilasjonen er lik.) Stor takhøyde betyr økte bygningsmessige kostnader.



## Sammenligning mellom ventilasjonsprinsipper: Utnyttelsesgrad

### Karakteristikk

#### Naturlig ventilasjon:

Naturlig ventilerte bygninger uten kulverter kan i utgangspunktet ha høy utnyttelse av arealet. Dersom det benyttes nedgravd kulvert og kulvert under bygning øker bygningens bruttoareal. Det kan benyttes sjakter for å føre luft fram til det enkelte rom. Dette øker også bruttoarealet slik at utnyttelsesgraden avtar. Tilluftsåpninger for friskluft kan også være slik plassert at de reduserer det nyttbare gulvarealet. Ofte har bygg med naturlig ventilasjon har stor innvendig takhøyde, noe som fører til lavere utnyttelse i forhold til bygningens volum.

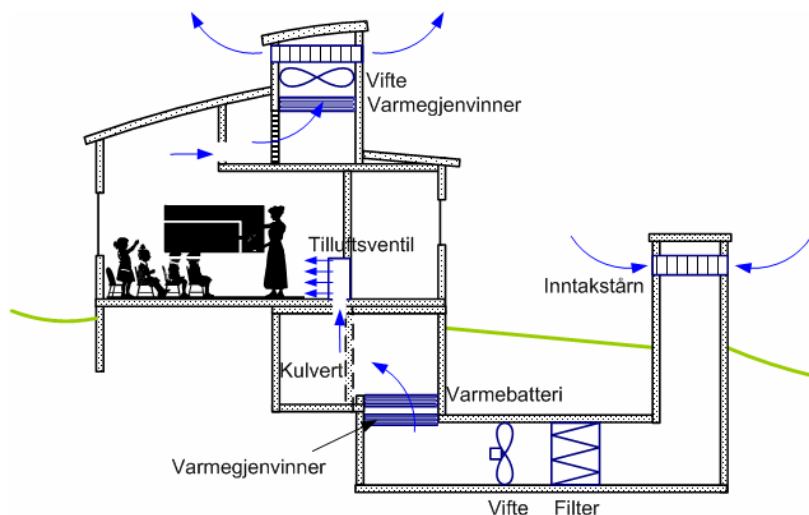
#### Mekanisk ventilasjon:

Ved fornuftig planlegging av føringsveier kan det ved mekanisk ventilasjon benyttes relativt lave etasjehøyder.

Krav til lav SFP kan føre til noe økte kanaldimensjoner, det kan derfor være fordelaktig å velge løsninger med flere mindre aggregater i skoler med store arealer i hver etasje.

#### Hybrid ventilasjon:

Ved hybride løsninger i Norge har det vært vanlig å benytte en nedgravd kulvert mellom inntakstårn og bygning. Kulverten fortsetter inn i kjelleren og lufta fordeles til de enkelte rom, se Figur 7. Slike løsninger gjør at forholdet mellom bruttoareal og nettoareal øker. En kulvert som er bygd ved HiNT i Levanger for 9200 m<sup>3</sup>/h har en pris på ca kr 4 500 per kvadratmeter eller i gjennomsnitt ca kr 9 500 per meter. (Bygd etter tilsvarende prinsipp som vist i Figur 7.



Figur 7. Prinsipp for hybrid ventilasjon med kulvert.

Et alternativ som ikke reduserer bruttoarealet er å ha lokal lufttilførsel gjennom fasaden for hvert rom. En slik vegg enhet må da inneholde minimum filter, varmebatteri og spjeld for luftmengde-regulering, vi kjenner ikke til at det i dag er tilgjengelig komplette kommersielle løsninger med tilstrekkelig kapasitet for bruk i skoler.

Ved hybrid ventilasjon brukes som regel fortrenningsventilasjon fordi denne kan bygges med lavt trykkfall. Denne løsningen legger begrensninger på møblering og innredning av lokalene da det blir en nærsone foran tilluftsåpningene ved gulv hvor det vil være så høye lufthastigheter at det oppleves som trekk.

#### **4.2.9 Transportveier**

Uansett ventilasjonsprinsipp så må utelufta passere klimaskjermen (yttervegg/vindu) før den når fram til rommet hvor luftutskiftingen skal skje. Dersom det benyttes ett felles luftinntak og forvarming av lufta for flere rom må den ledes og fordeles gjennom en eller annen form for kanal eller føringsvei.

**Sammenligning mellom ventilasjonsprinsipper: Transportveier**

<b>Karakteristikk</b>
<p><i>Naturlig ventilasjon:</i></p> <p>Ved naturlig ventilasjon må alle former for trykktap unngås og de disponible drivkreftene er svært små. I størst mulig grad benyttes derfor store åpninger som vinduer, åpne dører, rom og korridorer som transportvei. Lages det egne føringsveier må disse ha stort tverrsnitt.</p>
<p><i>Mekanisk ventilasjon:</i></p> <p>Ved mekanisk ventilasjon er det mest vanlig å bruke kanaler av stål. Mellom etasjer føres disse i spesielle sjakter. Horisontalt i etasjene føres de som regel oppunder tak, som regel skjult over en himling. Disse kanalene er lett tilgjengelig og kan skiftes ut uten at bygningskonstruksjonen berøres. Brukt luft fra rommene kan enten føres i kanaler fra rommene og ut til felle avtrekksvifte og ut. Det er også vanlig at fellesarealer og korridorer brukes som transportvei før lufta samles opp i felles avtrekkspunkter og føres til vifte. Lufta kan transporteres med relativt høy hastighet i kanalene slik at disse tar lite plass.</p>
<p><i>Hybrid ventilasjon:</i></p> <p>Her er det mulig å bruke vifter når drivkreftene blir små, tverrsnittet på føringsveiene er derfor ikke så kritisk som for naturlig ventilasjon. Også for denne typen ventilasjon er det vanlig å benytte bygningsmessig utførte føringsveier med stort tverrsnitt, selv om disse har høyere kostnad enn vanlige ventilasjonskanaler.</p>

#### **4.2.10 Investerings og driftskostnader**

Det er opp til byggherren å vurdere hva som er akseptable investerings- og driftskostnader, men det er de årskostnaden som i det lange løp avgjør hvor mye bygninger egentlig koster.

Det finnes lite pålitelige data på kostnader for skoler med rent naturlig ventilasjon da det er bygd svært få slike skoler i Norge i nyere tid. Også for hybride skoler finnes få pålitelige data. En sammenligning mellom ulike løsninger blir derfor vanskelig.

## Sammenligning mellom ventilasjonsprinsipper: Investerings og driftskostnader

### Karakteristikk

#### Naturlig ventilasjon:

Det finnes lite pålitelige data på kostnader for skoler med rent naturlig ventilasjon fordi det er bygd svært få slike skoler i Norge i nyere tid.

#### Mekanisk ventilasjon:

I tabellen nedenfor er det gjort en sammenligning mellom hybrid ventilasjon og mekaniske ventilasjon for kontorbygninger.

#### Hybrid ventilasjon:

Det finnes ikke mange detaljerte kostnadsberegninger hvor det er mulig å sammenligne ulike løsninger. Vik (2003) har gjennom en case-studie gjort en sammenligning av livsløpskostnader (LCC) for tre ulike ventilasjonsløsninger for et kontorbygg. Beregningene er basert på detaljerte kostnadstall. Tabell 4 viser hovedtall fra hans beregninger. Et kontorbygg er forskjellig fra en skole ved luftmengde per kvadratmeter kan være noe større i en skole. Et kontorbygg er som regel systematisk inndelt i like moduler med lufttilførsel for hver modul og har flere etasjer, mens en moderne skole i mindre grad følger en slik moduloppbygging.

Tabell 4. Årskostnader brutt ned på hovedkostnader

	Mekanisk balansert ventilasjon (MB)	Hybrid med nedgravd kulvert (HB)	Hybrid med luftinntak for hver modul gjennom fasade (HF)
	kr/m <sup>2</sup> år	kr/m <sup>2</sup> år	kr/m <sup>2</sup> år
Investeringskostnad	125	138	114
Energikostnad	12	16	23
Drifts- og vedlikeholdskostnad	108	103	96
Volumkostnad (sjakter, kulverter og lignende)	7	8	0.3
Sum	252	265	233

Noen av hovedforutsetningene i beregningene på foregående sider er:

- Bygningens bruttoareal er 1720 m<sup>2</sup> fordelt på tre etasjer, 22 cellekontorer og to møterom i hver etasje
- Den mekaniske løsningen er balansert og kun den har mekanisk kjøling
- Den hybride løsningen (HB) har væskekoplet gjenvinner med 50 % virkningsgrad, mens (HF) ikke har gjenvinning. Varmegjenvinner for mekanisk balansert (MB) har 90 % virkningsgrad
- SFP for MB er satt til 1,75
- Minimum luftmengde som gir en luftkvalitet tilsvarende 7 l/s og person og tillegg for gulvareal er benyttet, men for HB og HF er det brukt fortrenningsventilasjon og høyere ventilasjonseffektivitet (1.25 i cellekontorer), dvs at luftmengden er redusert i forhold til MB.
- Løsningene har VAV. For MB kan luftmengden økes fra 6000 til 13 500 m<sup>3</sup>/h og for HB og HF fra 4500 til 10500.
- Det er benyttet klimadata for Oslo
- Tap i produktivitet ved eventuelt dårlig inneklima er ikke tatt med i beregningene
- Vik har angitt prisene i €, de er her omregnet til kroner. (Da Vik gjorde sine beregninger var antagelig kronen sterkere enn det som er lagt til grunn her)
- Energiprisen er 0,50 kr/kWh.
- Kun energikostnader knyttet til ventilasjon er tatt med (oppvarming av ventilasjonsluft, drift av vifter og pumper, kjølemaskin)
- I drifts- og vedlikeholdskostnad er det inkludert design, administrasjon, transport, installasjon og commissioning
- Investeringskostnaden inkluderer også design, administrasjon, transport, installasjon og commissioning

Som det går fram av tabellen utgjør drifts- og vedlikeholdskostnadene en stor andel av totalen, og det er kanskje disse kostnadene det hefter størst usikkerhet til da det dreier seg levetider for et stort antall komponenter og hvilket nivå i renhold og vedlikehold driftsoperatøren legger seg på.

Med bakgrunn i dette arbeidet er konklusjonen at kostnadene er relativt like mellom de tre alternativene. Dette står i kontrast til priser som er beregnet for et kontorbygg med hybrid ventilasjon som er oppført ved HiNT i Levanger. Investeringskostnaden for hybrid ventilasjon er ca kr 112 per kvadratmeter og år med tilsvarende forutsetninger. Beregning av investeringskostnad for mekanisk ventilasjon er der ca kr 60 til 70 per kvadratmeter og år (Kirsten Lindberg, Foredrag VVS-landsmøte 2004).



#### **4.2.11 Løsningens påvirkning på arkitekturen**

Arkitektur handler om riktig utforming av bygningen i forhold til den oppgaven den skal løse. Samtidig skal estetiske forhold ivaretas.

Tekniske løsninger krever plass og kan gi begrensninger i utforming av bygninger. Uansett type teknisk løsning er det viktig at samarbeidet mellom arkitekt, bygningsingeniør og de som prosjekterer tekniske løsninger starter tidlig slik at den beste totalløsningen kan finnes.



## Sammenligning av løsninger: Løsningens påvirkning på arkitekturen

### Karakteristikk

#### *Naturlig ventilasjon:*

Utnyttelse av naturlig ventilasjon påvirker arkitektur primært på følgende tre hovedområder:

- Fasadene
- Takform/silhuett
- Utforming og organisering av innvendige rom

Fasadene kan påvirkes av ventilasjonsåpninger og karakteristiske ventilasjonselementer for naturlig ventilasjon som for eksempel dobbeltfasader og solskorsteiner. Et annet moment som kan ha betydning for fasadeutforming er at det i naturlig ventilerte bygninger ikke er behov for nedforet himling til kanalføring. Dette kan gi større frihet for vindusutforming og plassering av vinduer.

Takform/silhuett påvirkes ofte på bygninger som utnytter naturlig ventilasjon. Dette gjelder spesielt på enetasjes bygninger hvor lufta ledes gjennom avtrekksåpninger høyt oppe i bygningen for å forsterke oppdrifts- og eventuelt vindkrefter.

Utforming og organisering av innvendige rom påvirkes da de ofte benyttes som luftvei i bygninger fordi disse gir et lavt trykktap for de svake naturlige drivkreftene. Dette gir som konsekvens:

- Åpnere planløsninger for minst mulig trykktap.
- Rommene utgjør ”ledd i luftveis-lenken” hvilket gjør at ”nye” romlige sammenhenger og konstellasjoner kan oppstå.
- Rom med stor takhøyde ( gjerne over flere etasjer) egner seg godt som ”stacks”/avtrekks vei
- Fravær av kanaler gjør at nedsenkede himlinger kan unngås. Den fulle etasjehøyden kommer rommet/brukerne til gode.
- Tilluftsåpninger plassert lavt på vegg kan gi restriksjoner på hvor møbler og innredning kan plasseres.

I Vedlegg A, side 51 er dette temaet behandlet nærmere og illustrert med eksempler.

#### *Mekanisk ventilasjon:*

##### Utvendig:

- Dersom det velges en løsning med ventilasjonsrom plassert på taket vil dette sette sitt preg på bygningen/silhuetten
- Dersom kanalføringer legges nær yttervegger kan dette ha betydning for fasadeutforming (størrelse og plassering av vinduer)
- Mekanisk ventilasjon gir stor frihet ved valg av bygningsform da det ikke er nødvendig å ta hensyn til kulverter eller avstand til eventuell luftinntak i fasader.

##### Innvendig:

- Ventilasjonskanaler (horisontale og vertikale) krever innkledning/himling dersom de ikke skal eksponeres

*Hybrid ventilasjon:*

De bygningsmessige konsekvensene for hybrid ventilasjon blir nødvendigvis en kombinasjon av de bygningsmessige konsekvensene for naturlig og mekanisk ventilasjon avhengig av "blandingsforholdet".

Dersom den baseres på å utnytte oppdriftskrefter så betyr det at det stilles krav til minimum høydeforskjeller og tverrsnitt for luftstrømmen, slik som for naturlig ventilasjon.

Dersom den skal benytte vindkrefter så betyr det luftinntak og avkasttårn må utformes og plasseres gunstig i forhold til vind.

## **5 KONKLUSJONER**

### **5.1.1 Konklusjon naturlig ventilasjon**

- Det er ikke mulig å få til noen form for effektiv varmegjenvinning. Energibruk til ventilasjon vil derfor bli vesentlig høyere enn i andre bygninger med lik luftmengde.
- Fordi det er svært vanskelig å opprettholde krav til luftmengder hele året vil luftkvaliteten i perioder bli så redusert at naturlig ventilasjon uten noen bruk av vifter ikke lar seg bruke.
- Kan kun brukes i områder med ren uteluft da det ikke finnes noen mulighet for rensing av lufta.

Konklusjonen er derfor at naturlig ventilasjon alene ikke kan anbefales brukt i skolebygg.

### **5.1.2 Konklusjon hybrid ventilasjon**

- Hybrid ventilasjon kan utføres slik at den tilfredsstiller alle krav til inneklimate og energibruk.
- Data viser meget stor variasjon i energibruk mellom hybridventilerte skoler. Spredningen er like stor som for vanlige skoler med ulike byggeår.
- Besparselsen ved at vifter står i perioder hvor oppdriften er stor og/eller luftbehovet er lavt, er ubetydelig i forhold til andre driftskostnader.
- Kulvert i grunnen og under bygning utgjør en vesentlig investeringskostnad for hybrid ventilasjon.
- Driftskostnadene for hybrid ventilasjon blir høyere enn for mekanisk ventilasjon (med moderat/lav SFP) fordi det benyttes varmegjenvinning med lavere virkningsgrad (eller ingen varmegjenvinning)

### **5.1.3 Konklusjon mekanisk ventilasjon**

- Mekanisk ventilasjon kan utføres slik at den tilfredsstiller alle krav til inneklimate og energibruk.
- Kombinerte løsninger mellom mekanisk og naturlig ventilasjon kan også tilfredsstille kravene til inneklimate og energibruk.

### **5.1.4 Generelt**

- Det bør framskaffes flere sikre årskostnadsdata for mekanisk og hybrid ventilasjon for ulike skoler (basert på pålitelige målinger og virkelige kostnadstall fra eksisterende bygninger) slik at det kan gjøres reelle sammenligninger mellom løsningene. Det må også inkluderes i sammenligningen om skolene har like godt inneklimate ved ulike årstider.

## **6 REFERANSER**

Peter G. Schild, HYBRID VENTILATION OF JAER SCHOOL :  
RESULTS OF MONITORING, Hybrid Ventilation 2002 : 4th International Forum, May 14-15,  
2002, Montreal, Canada

Etheridge, D., Sandberg, M., Building Ventilation: Theory and Measurement, John Wiley & Sons  
Ltd, 1996, England

Wigenstad, T., Optimalisering av føringsveier for tekniske installasjoner i bygninger, Dr.ing.-av-  
handling 2000:62, Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi, Institutt for klima- og kuldeteknikk,  
2000

Kleiven, T., Natural Ventilation in Buildings, Architectural concepts, consequences and possibili-  
ties, Dr.ing.-avhandling 2003:13, Institutt for byggekunst, historie og teknologi, 2003

Vik, T.A., Life Cycle Cost Assessment of Natural Ventilation Systems, Dr.ing.-avhandling 2003:14,  
Institutt for byggekunst, historie og teknologi, 2003

## VEDLEGG A – BEGREP KNYTTET TIL NATURLIG VENTILASJON

Nedenfor følger definisjon av noen begrep somr benyttes særlig for naturlig/hybrid ventilasjon.

Lokale ventilasjonsåpninger: Ventilasjonsåpningene er distribuert utover bygnings-”skallet” –for eksempel i fasadene. Mange inntak som betjener arealene umiddelbart innenfor (for eksempel for hvert kontor). Dette prinsippet krever minimalt med innvendige kanaler/kammer/kulverter.

Sentrale ventilasjonsåpninger: En ventilasjonsåpning betjener et større areal (volum) i bygget. Dette prinsippet krever vanligvis et distribusjonsnett (kanaler) innvendig for å få lufta fram til ønskede lokaliteter i bygget.

Ensidig ventilasjon (single sided ventilation): Ventilasjon av et rom gjennom åpning på en vegg, for eksempel gjennom et åpent vindu. Det vil vanligvis være temperaturforskjellen mellom inne og ute som er drivkraften, men også vind kan gi bidrag.

Kryssventilasjon (cross ventilation): Lufta strømmes i hovedsak horisontalt gjennom bygget. Typisk inn gjennom vinduer på en fasade og ut gjennom vinduer på motstående fasade. I hovedsak vil vind være drivkraften.

Oppdriftsventilasjon (stack ventilation): Lufta strømmes i hovedsak vertikalt nedenfra og opp gjennom bygningen. Både oppdrift og vind kan være drivkrefter.

Karakteristiske ventilasjonselementer for naturlig ventilasjon: Bygningsdeler eller komponenter som har som oppgave å forsterke de naturlige drivkreftene og/eller utgjøre føringsvei for ventilasjonslufta. Eksempler er dobbeltfasade, venturi vinge, solskorstein etc.

Ventilasjonsstrategi: To strategier: Fortrengningsventilasjon og omrøringsventilasjon.

## VEDLEGG A

### KARAKTERISERING AV NATURLIG, HYBRID OG MEKANISK VENTILASJON ETTER TRYKK

Tabell en viser grunnlagsdata for Figur 2, side 11.

Tabell 5. Oversikt over verdier benyttet i

Figur 2. Luftmengden er lik for all typer, 10 m<sup>3</sup>/s. Tabellen viser også en verdi for SFP, antatt total virkningsgrad 0.66

Type ventilasjon	$\xi$	Luftveiens tverrsnitt m <sup>2</sup>	Totalt trykktap Pa	SFP kW/m <sup>3</sup> /s
Mekanisk høytrykk	33.3	1	2 000	3.0
Mekanisk lavtrykk	33.3	1.5	889	1.3
Hybrid	33.3	3	222	0.3
Hybrid	25	5	60	0.1
Hybrid	16.7	6	28	0.0
Hybrid	15	7	18	0.0
Naturlig	10	8	9	-
Naturlig	5	10	3	-

Beregningene ovenfor er basert på Etheridge (1996).

Totalt trykktap beregnes fra:

$$\Delta p = \xi \rho \frac{\dot{V}^2}{2A^2}$$

hvor:

$\xi$  – Ekvivalent trykktapskoeffisient, representerer summen av alle typer trykktap i systemet

$\rho$  – Luftas tetthet, kg/m<sup>3</sup>

$\dot{V}$  - Volumstrøm, m<sup>3</sup>/s

A – Ekvivalent areal, uttrykker her hvilken hastighet lufta vil ha gjennom systemet

## VEDLEGG B

### DRIVKREFTER FOR VENTILASJON

Drivkreftene for naturlig ventilasjon er oppdriftskrefter og vind. Oppdriftskraften kan beregnes fra følgende uttrykk (Etheridge (1996)):

$$\Delta p = \Delta p_1 + \Delta p_2 = (\rho_0 - \rho_i)gh = \Delta \rho gh$$

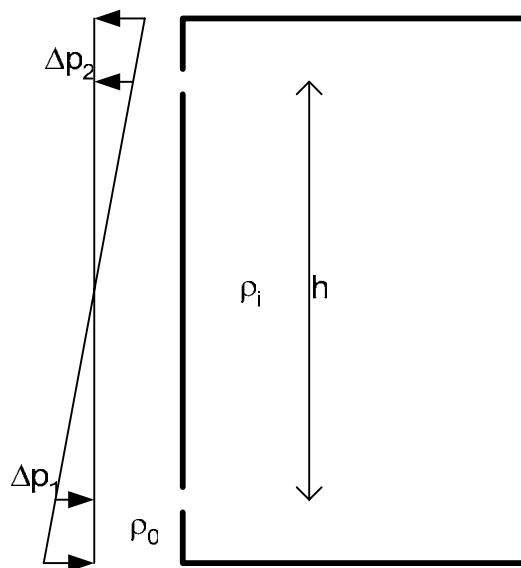
hvor:

$\Delta p_1 = \Delta p_2$  – trykkdifferanse over åpning, Pa

$h$  – høydeforskjell mellom åpningene, m

$\rho$  – tetthet, kg/m<sup>3</sup>

$g$  – tyngdens akselerasjon, m/s<sup>2</sup>



Figur 8. Betydningen av de ulike verdiene.

I en naturlig ventilert bygning kan vi anta at bygningskroppen for en stor del fungerer som føringsvei for lufta, derfor blir strømningsmotstanden liten. Lufta må imidlertid passere luftinntak og andre åpninger som vil gi en viss motstand. Om vi for eksempel antar at vi har fem slike like store og brå tverrsnittsendringer med en maksimalhastighet på 1 m/s så vil dette totalt gi en total motstand på ca 7 Pa. Dersom vi antar at oppdriftskreftene skal gi tilstrekkelig ventilasjon opp til en utetemperatur på 10 °C, så kan vi beregne nødvendig høydeforskjell mellom nedre punkt med utetemperatur og avkast:

$$h = \frac{\Delta p}{\Delta \rho g} = \frac{\Delta p}{\rho_i \frac{\Delta T}{T_i} g}$$

hvor:

$T$  – absolutt temperatur, K

Figur 3 side 13 viser nødvendig høydeforskjell for å oppå ulike drivtrykk.

## VEDLEGG C

### KOMBINASJON AV DRIVKREFTER FRA VIND OG OPPDRIFT

Figur 9 viser tilgjengeligheten av vind. Kurven gjelder for en tenkt, frittliggende bygning som kan utnytte vinden like godt fra alle retninger. Åpningene hvor lufta strømmer inn og ut er enkle skarp-kantede åpninger.

Luftmengde vist i Figur 9 side 54 er beregnet etter:

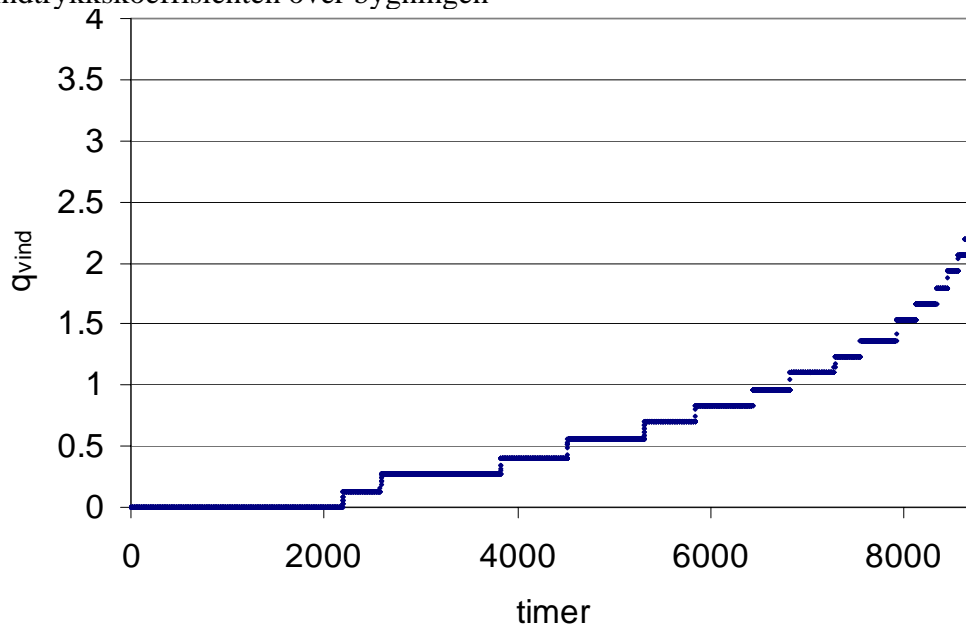
$$q = C_D A U_R \sqrt{\Delta C_p / 2}$$

$C_D$  – Uttrykker strømningsmotstanden gjennom åpning.

$A$  – Åpningenes tverrsnitt, m<sup>2</sup>

$U_R$  – Vindhastigheten, m/s

$\Delta C_p$  – Vindtrykkskoeffisienten over bygningen



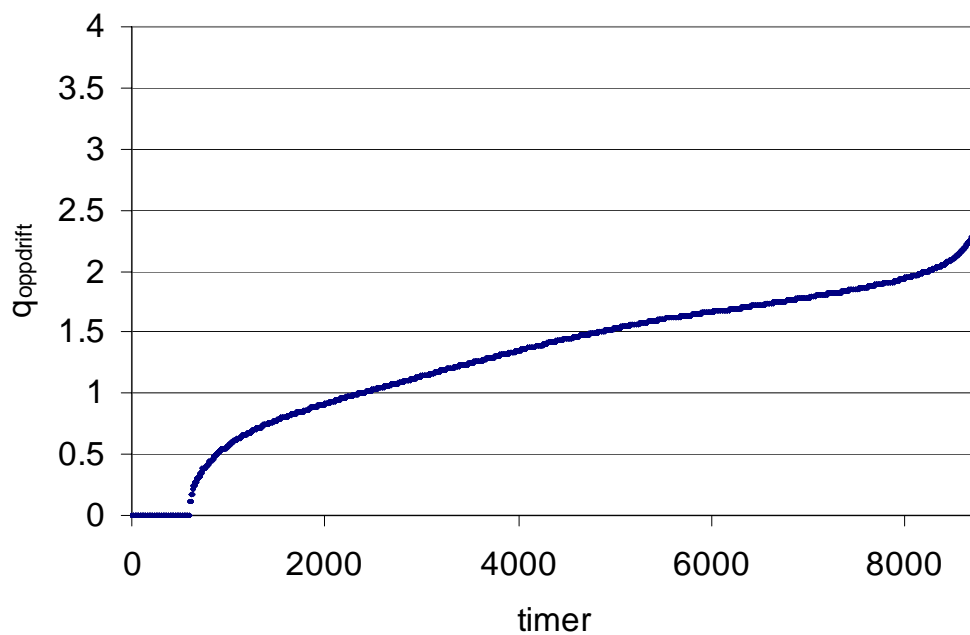
Figur 9. Maksimal tilgjengelighet av vind for Oslo,  $\Delta C_p=0.4$ ,  $C_d=0.6$ ,  $A=1\text{m}^2$ .

Figur 10 viser tilgjengeligheten av oppdriftskrefter. Bygningen har like åpninger oppe og nede og det er 10 meter høydeforskjell mellom åpningene.

Luftmengden for oppdrift er beregnet etter:

$$q = C_D A \sqrt{\Delta T g h / T_l}$$





Figur 10. Tilgjengelighet av oppdrift, Oslo. 10 meter høydeforskjell mellom innløps- og utløps-åpning.  $A=1\text{m}^2$ ,  $CD=0.6$

## VEDLEGG D

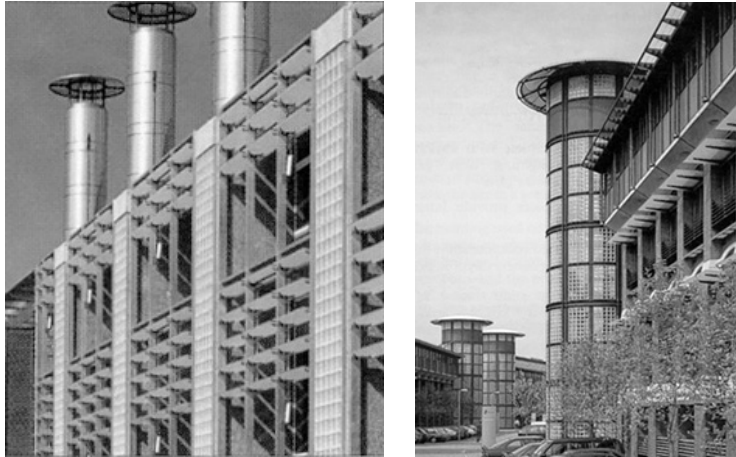
### ARKITEKTONISKE FØLGER AV NATURLIG OG HYBRID VENTILASJON

#### Arkitektoniske konsekvenser utvendig

**Fasadene** kan påvirkes av ventilasjonsåpninger (Figur 11) og karakteristiske ventilasjons elementer for naturlig ventilasjon som for eksempel dobbeltfasader (Figur 11) og solskorsteiner (Figur 12). Et annet moment som har betydning for fasadeutforming er at fraværet av innvendige kanaler og nedforet himling gir større frihet for vindus utforming og plassering av vinduer. I Bang & Olufsen sitt hovedkvarter i Struer, Danmark (1998) er dette essensielt får å få til det lette, -nesten vektløse, uttrykket i nord fasaden (Figur 13).



*Figur 11. Øst fasaden til høy-huset til GSW's hovedkontor (1999) i Berlin, Tyskland er "perforert" med ventilasjonsåpninger for tilluft (venstre). Dette er et eksempel på lokale ventilasjonsåpninger, se side 51 for forklaring av begrep . Vest fasaden på samme bygning har en dobbeltfasade som bl.a. fungerer som avtrekk for ventilasjonslufta (høyre). Dette er et eksempel på et karakteristisk ventilasjonselement for naturlig ventilasjon som påvirker arkitekturen.*



*Figur 12. Eksempler på bygninger med solskorsteiner i fasaden. BRE hovedkontor (1997) i Watford (UK) (venstre) og Innland Revenue hovedkontor (1994) i Nottingham, UK (høyre).*



*Figur 13. Nordfasaden til B&O sitt hovedkontor (1998) i Struer, Danmark får sitt arkitektoniske uttrykk i stor grad takket være fravær av ventilasjonskanaler og kunstig himling.*

**Tak form/silhuett** påvirkes ofte på bygninger som utnytter naturlig ventilasjon. Dette gjelder spesielt på enetasjes bygninger for å understøtte luftstrømning opp og ut gjennom avtrekksåpninger høyt oppe i bygningen. Grong barneskole på Grong i Nord-Trøndelag er et godt eksempel på dette (Figur 14).



*Figur 14. Takformen på Grong barneskole (1998) på Grong, Norge understøtter den naturlige luftsirkulasjonen der varm og forurenset inneluft trekkes ut gjennom det høyeste punktet i taket. Taket bidrar i så måte på å gi skolen sin noe uvanlige silhuett.*

Naturlig ventilerte bygninger som benytter ensidig- og kryssventilasjon forutsetter en smal bygningskropp, mens oppdriftsprinsippet ikke legger føringer på bygningsformen (i.e. de kan være "uendelig" dype).

### Arkitektoniske konsekvenser innvendig

**Utforming og organisering av innvendige rom** påvirkes fordi de ofte benyttes som luftvei i bygninger da disse gir et lavt trykktap for de naturlige drivkreftene. Disse er svake i forhold til drivkreftene som viftene i et mekanisk ventilasjonsanlegg produserer:

- åpnere planløsninger for minst mulig trykktap
- rommene utgjør "ledd i luftveis-lenken" hvilket gjør at "nye" romlige sammenhenger og konstellasjoner kan oppstå.
- rom med stor takhøyde ( gjerne over flere etasjer) egner seg godt som "stacks"/avtrekks vei (Figur 15).
- fravær av kanalføringer gjør at nedsenkede himlinger kan unngås. Den fulle etasjehøyden kommer rommet/beboerne til gode –romvolum.

- ...



*Figur 15. Eksempler på rom over flere etasjer som fungerer utmerket både som føringsvei for avtrekksluft og "skorstein for termisk oppdrift" (motor). Tax office (1996) i Enschede, Nederland (lengst til venstre), Pihl & Søn hovedkontor (1994) i Lyngby, Danmark (venstre), GSW hovedkontor (1999) i Berlin, Tyskland (høyre), og Debis Haus, Daimler Chrysler (1997) i Berlin, Tyskland (lengst til høyre).*

**SINTEF Energiforskning AS**  
Adresse: 7465 Trondheim  
Telefon: 73 59 72 00

**SINTEF Energy Research**  
Address: NO 7465 Trondheim  
Phone: + 47 73 59 72 00