

# Avanserte versus enkle tekniske systemer

## Fordeler og ulemper



 OLA ROALD

---

Veileder fra Grønn Byggallianse

---

Utgitt mars 2016.  
Utarbeidet av Arne Førland-Larsen og Ingrid D. Halderaker.

Forsidefoto: Statsbygg Campus Evenstad - Ole Roald Arkitekter AS  
Campus Evenstad er prosjektert med forenklete tekniske systemer.

# Innholdsfortegnelse

1.	Innledning .....	5
2.	Hvorfor forenklede tekniske systemer .....	6
3.	Eksempelbygg med maksimal forenkling - prinsipper og muligheter i norsk kontekst.....	7
4.	Optimal utforming av bygg med forenklede tekniske systemer .....	13
4.1	Omgivelser og plassering av bygget.....	13
4.1.1	Solskjerming.....	13
4.1.2	Støy utenfra og luftforurensninger .....	13
4.1.3	Vindforhold.....	15
5.	Passiv design i bygg med forenklede tekniske systemer .....	15
5.1	Naturlig og hybrid ventilasjon – prinsipper og muligheter.....	16
5.1.1	Hvorfor ventilere?.....	16
5.1.2	Definisjon av ulike ventilasjonsprinsipper.....	16
5.1.3	Prinsipper for naturlig ventilasjon.....	17
5.1.4	Bygningsgeometri - planløsning.....	19
5.1.5	Bygningsgeometri - snitt og høyder .....	19
5.1.6	Bygningsgeometri - fasader og vindu.....	20
5.2	Byggets overflater og materialer.....	20
5.3	Rehabiliteringsprosjekter.....	21
5.4	Innredning og fleksibilitet.....	21
6.	Glassgårder .....	24
7.	Hybrid ventilasjon som grep for å øke arealeffektivitet og fleksibilitet i brede bygg .....	25
8.	Forenklede løsninger for fleksibelt oppvarmingssystem.....	27

9.	Ulike grader av forenkling - eksempler .....	28
9.1	Alternativ 1 - naturlig ventilasjon.....	29
9.2	Alternativ 2 og 3 - hybrid ventilasjon med ulike andeler balansert mekanisk ventilasjon .....	29
9.3	Alternativ 4 - Balansert mekanisk ventilasjon med luftpåvarming.....	31
10.	Hvordan oppnå et godt inn klima .....	31
10.1	Tilfredsstillende innetemperatur sommer og vinter .....	32
10.2	Luftkvalitet, lokalt klima, trekk og lufthastigheter.....	33
10.3	Akustikk .....	38
11.	Hvordan oppnå lav energibruk .....	40
12.	Hvordan oppnå lav LCC-kostnad.....	42
13.	Kompleksitet for fire alternative ventilasjonsstrategier .....	43
14.	Referanser .....	45
15.	Vedlegg 1 - Sammenligning av 4 ulike ventilasjonsstrategier.....	46
16.	Vedlegg 2 - Veiledende krav til omgivelser, bygg og krav fra leietakere.....	53
17.	Vedlegg 3 - Forenkling og utfordringer i TEK og veiledninger til TEK.....	55
18.	Vedlegg 4 - Forenkling og utfordringer i forhold til Arbeidstilsynets veiledninger .....	62
19.	Vedlegg 5 - Forenkling og krav fra leietaker .....	64
20.	Vedlegg 6 - Forutsetninger for LCC-beregninger .....	65
21.	Vedlegg 7 - Forutsetninger for kompleksitet beregninger.....	67

De fleste moderne kontorbygg har omfattende tekniske installasjoner. Mange byggeiere opplever at dagens kompliserte tekniske anlegg ikke fungerer som de skal. De ender med å få reklamasjoner, høyt energiforbruk og klager på inneklima. Kan en kraftig forenkling av ventilasjons-, oppvarmings- og kjølesystem være en smart løsning for å oppnå mer kostnadseffektive og miljøvennlige bygg?

Vi tror ulike grader av forenkling av tekniske anlegg er vel verdt å overveie. Målet med denne veilederen er å gi utbyggere råd om hvilken grad av forenkling som passer hvor, for å sikre bygg som er fleksible, har godt inneklima, lavt energibruk og som fungerer.

Robuste og fleksible løsninger er viktige grep for bærekraftige bygg. Kraftig forenkling av ventilasjons-, oppvarmings- og kjølesystem kan være en smart løsning for å oppnå dette. Riktig prosjektert og utført kan denne tilnærmingen også gi veldig lavt energibruk og godt inneklima. Avanserte ventilasjonssystem kan gi samme resultat, men mange byggeiere opplever at dagens kompliserte tekniske anlegg ikke fungerer som de skal. Mange byggeiere ønsker derfor svar på om det finnes alternativer.

## 1. Innledning

I Lustenau i Østerrike har arkitektfirmaet Baumschlager Eberle utviklet et bygg med maksimalt forenklete tekniske systemer, kalt "2226-bygget". Bygget har verken tradisjonelt oppvarmingssystem, mekanisk ventilasjon eller kjøling. Likevel er det mulig å holde innertemperaturen mellom 22 og 26°C året rundt og CO<sub>2</sub> nivået akseptabelt. Bygget har total målt energibruk første driftsår på rundt 40 kWh/m<sup>2</sup> år, uten egen energiproduksjon på bygget.

Å bygge etter prinsippet fra 2226 krever at man tenker på inneklima på en ny måte. Det er trolig ikke mulig å gå så langt i alle prosjekter, men også mindre ekstreme prosjekter vil ha nytte av å tenke forenkling for å oppnå mer kostnadseffektive og fleksible bygg.

Denne veilederen beskriver:

- muligheter for forenkling i en norsk kontekst, med fordeler og utfordringer
- forenklingkonsepter i forhold til inneklimakrav
- forenklingkonsepter i forhold til å oppnå lav energibruk i reell drift
- forenklingkonsepter i forhold til å oppnå lav LCC-kostnad
- forenklingkonsepter i forhold til fleksibilitet og generalitet
- konkrete forslag til hvordan man kan forenkle
- sjekkliste for når forenkling er egnet, mulig eller krevende å få til

## 2. Hvorfor forenklete tekniske systemer

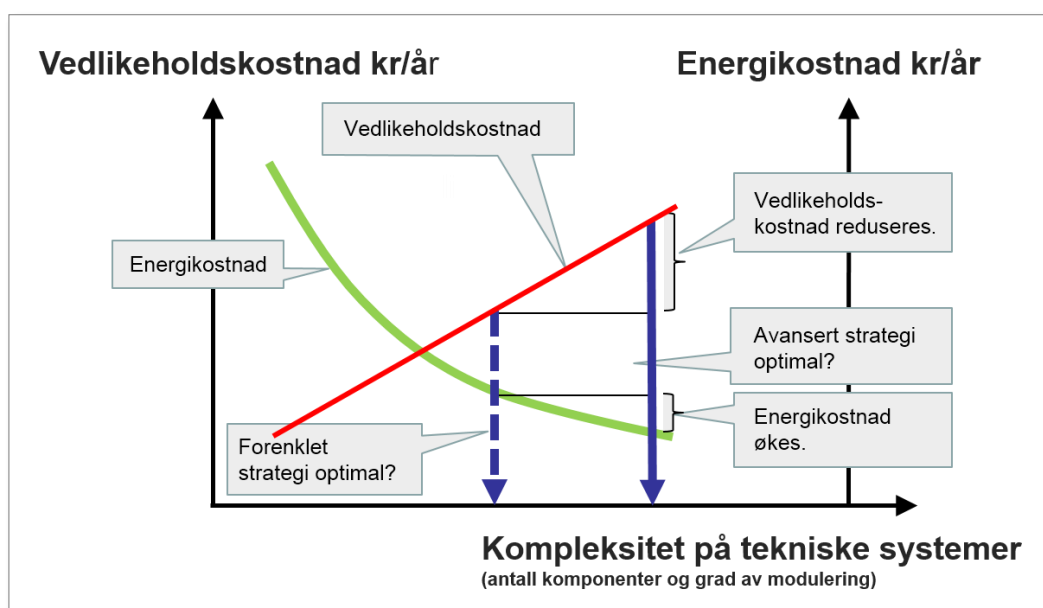
Forenkling av ventilasjons-, oppvarmings- og kjølesystem kan være en smart løsning for å oppnå lavt energibruk, godt inneklima, lave driftskostnader og stor grad av fleksibilitet og generalitet. Men teknisk avanserte systemer har også mange fordeler. De kan være en forenkling i seg selv fordi de dekker flere funksjoner, f.eks. kan ventilasjonssystemet brukes til både oppvarming og kjøling. Det er ikke et enten eller, men heller et både og. Den optimale løsningen i hvert prosjekt avhenger av prosjektforutsetningene, byggets beliggenhet, byggets funksjon, byggets brukere og byggets energikvalitet.

Når skal man velge et avansert og når skal man velge et forenklet prinsipp? Det finnes ikke en generell løsning. Man må finne den løsningen som ut fra en helhetsvurdering er optimal i det enkelte prosjektet. I noen prosjekter vil en avansert løsning være det optimale, i andre prosjekter vil en forenklet løsning være optimal og noen ganger vil det være mest optimalt med kombinasjoner.

Viktigst er det at det tekniske systemet utvikles i en tett integrert designprosess, hvor:

- det velges en oppvarmings- og ventilasjonsstrategi som er en integrert del av bygningens design
- det velges høyest grad av forenkling uten at dette går på kompromiss med godt inneklima og lavt energibruk
- det velges den "akkurat tilstrekkelige" kompleksitet på tekniske systemer og "den akkurat tilstrekkelige automatikkløsning"

Overordnet prinsipp for forenkling er vist i Figur 1.



Figur 1: Sammenheng mellom energibruk, kompleksitet av tekniske systemer og LCC-kostnad. (Drift og vedlikehold, ombygging ved nye leietakere ved byttefrekvens ned til 5 år)

### 3. Eksempelbygg med maksimal forenkling - prinsipper og muligheter i norsk kontekst

I Lustenau i Østerrike har arkitektfirmaet Baumschlager Eberle utviklet et bygg med maksimalt forenklede tekniske systemer. På tross av at bygget verken har oppvarming, mekanisk ventilasjon eller kjøling, er det mulig å holde innertemperaturen mellom 22 og 26 °C året rundt. Temperaturgrensene har gitt bygget navnet 2226. En løsning basert på designforutsetningene til 2226 vil trolig kunne realiseres med samme ytelse i norsk klima. Løsningen vil kunne gi lav reelt energibruk i drift, men vil ikke oppfylle gjeldende energikrav i TEK. Utfordringer som må håndteres for å få tilfredsstillende brukertilfredshet i det norske leiemarkedet, er brukeraksept for lufting av bygget på kalde dager, tilstrekkelig termisk lagring kombinert med tilfredsstillende romakustikk, demping av støv og forurensninger utenfra og forskriftskrav.

Løsningen i 2226 gir høy fleksibilitet og generalitet gjennom valg av tidløse og robuste materialer, gjennom relativ stor fleksibilitet og generalitet i innredning og funksjoner i bygget og gjennom valg av enkle tekniske systemer.

2226-bygget har høy fleksibilitet og generalitet på grunn av tidløse og robuste materialer, åpen planløsning, installasjonsgulv og fravær av tekniske føringer.



Figur 2: Fasade på 2226 i Lustenau

2226-bygget har et fotavtrykk på 24x24 m<sup>2</sup>. Ytterveggene er 76 cm tykke. Himlingshøydene er 4,6 m i første etasje og 3,6 m i de øvrige etasjene. Dette er et grep som er valgt for å «buffre» tung og forurenset luft øverst i rommet og for å effektivisere den naturlige ventilasjonen av bygget. Høye vinduer gir lys langt inn i bygget. Høye lufteluker i samme høyde som vinduene sikrer effektiv ventilasjon av bygget både i situasjoner med luft inn og ut av samme fasade (ensidig ventilasjon), og i situasjoner med ventilasjon inn og ut av ulike fasader (kryssventilasjon). Styringen av vinduslufting og belysning skjer med Algoritmus software, som styrer etter CO<sub>2</sub> og temperatur i rommet.



Ytterveggenes tykkelse bestemmer vindusnisjenes dybde. Plasseringen av vinduene i den tykke ytterveggen og luftelukenes plassering i vindusfeltet, gir tilsammen en god passiv bygningsintegrert skjerming av direkte sollys. Supplerende innvendige gardiner gir brukeren mulighet til å skjerme av for sjenerende blanding på arbeidsplassen.

Bygget har svært høy varmelagring, med tunge eksponerte konstruksjoner i himling, vegger og gulv. Det bidrar til å sikre lavere temperaturer om sommeren og til å lagre energi fra dag til natt i vinterperioder og perioder med oppvarmingsbehov. Ytterveggene er Porotherm teglvegger, som både gir god isolasjon og god varmelagring. En løsning med sandwich betongelementer kan gi samme eller noe bedre varmelagring, og er derfor et alternativ. Velges en slik sandwich-løsning, må det trolig suppleres med utvendig solavskjerming.



Figur 3: Interiørbilde fra 2226. De eksponerte overflatene sikrer god termisk lagring fra dag til natt og omvendt.

Høy varmelagring kommer ofte i konflikt med akustikkkrav. I 2226 er dette løst med tepper/gardiner på vegger, akustisk demping i inventar og bokreoler i bygget.

Kunstig belysning har samlet effekt på  $17 \text{ W/m}^2$  og belysningen brukes til supplerende oppvarming (i tillegg til internlaste og personer) i kalde perioder. Vanlig effektbehov for energieffektiv belysning i Norge er vesentlig lavere, rundt  $4\text{-}5 \text{ W/m}^2$  for kontorbygg. I 2226 er det bevisst valgt «dårlig effektivitet» for å dekke et oppvarmingsbehov. Et alternativ som trolig vil gi lavere energibruk er å velge et effektivt belysningssystem i kombinasjon med mindre panelovner. Med dette prinsippet vil energibruken til belysning reduseres, mens energibruken til supplerende oppvarming vil være uendret. Panelovner kan da plasseres ved fasaden for å redusere kaldraset i forbindelse med luftingen. Prinsippet er trolig ikke valgt fordi det øker omfanget av de tekniske systemene i et prosjekt som ønsker å unngå disse.

I beregningene og simuleringen av energibruk og inneklime er det forutsatt en persontetthet på 1 person pr.  $14 \text{ m}^2$ , hvor hver person har en Laptop og to skjermer med et samlet effektbehov på  $230 \text{ W/person}$ . Brukerprofilen for belastningene er i henhold til «SIA 2024; Standard «Nutzungsbedingungen für die Energie- und Gebäudetechnik», 2006».

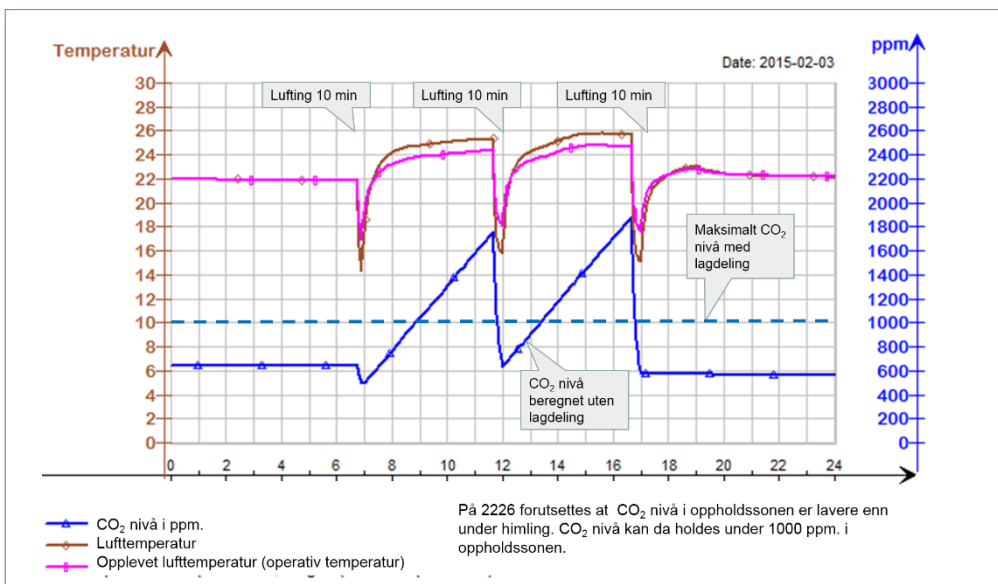


Bygget er 100 % naturlig ventilert og ventileres gjennom mekanisk styrte lufteluker i fasaden, se Figur 4. Luftingen begrenses mest mulig i kalde perioder av CO<sub>2</sub> styringen. I kalde perioder er det en forutsetning at brukerne aksepterer at lufttemperaturen faller under komforttemperaturen i lufteperioden.



Figur 4: Lufteluker i 2226-bygget i Lustenau. Motorer er kjettingsmotorer integrert i karmen på vinduene.

I sommerperioder ventileres bygget kontinuerlig etter CO<sub>2</sub> og temperatur. I vinterperioder ventileres bygget tre ganger om dagen (luker åpnes) med pulser på 5 - 10 min. Det styres ikke etter en spesifikk kontinuerlig luftmengde som er vanlig strategi for tradisjonell balansert mekanisk ventilasjon. I 2226 er det valgt å ventilere etter fast skjema på vinteren. Ventilasjonen skjer på morgenen før brukstid, i lunsjpausen, og på ettermiddagen utenfor brukstiden for å gi minst kald trekk for brukerne. Figur 5 viser typisk temperatur- og CO<sub>2</sub>-forløp ved lufting om vinteren (resultater fra simulering og ikke fra målinger i bygget).



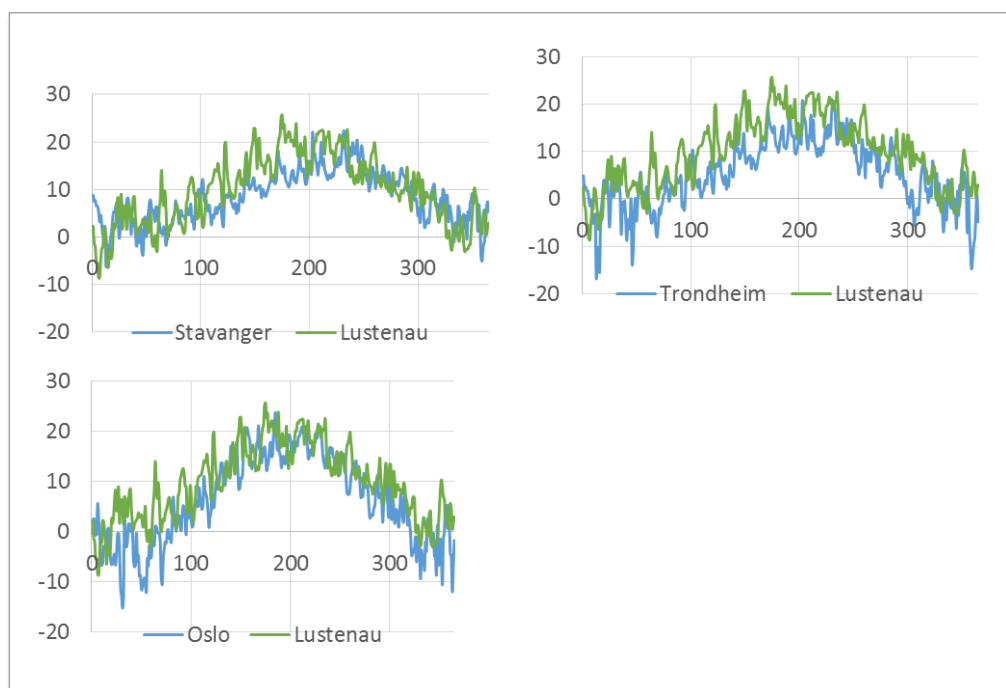
Figur 5: Simulering av temperaturer og CO<sub>2</sub> i bygget en typisk vinterdag i 2226.

Figur 5 viser simulering av ventilasjonsstrategien med tre luftinger daglig; morgen, lunsj og ettermiddag. Romtemperaturen i luftepausene synker til et relativt lavt nivå på ca 14°C for lufttemperaturen og ca 17°C for den opplevde temperaturen (middelverdi av romoverflatetemperatur og lufttemperatur).

Simuleringen i figur 5 har ikke med lagdeling av forurensninger i rommet, der man finner høyest CO<sub>2</sub>-konsentrasjon oppunder himlingen. Simuleringen gir derfor høyere CO<sub>2</sub>-verdier enn det som normalt aksepteres i Norge. I prosjektet er CO<sub>2</sub>-nivået også beregnet med et simuleringsprogram som medregner lagdeling og da viser beregningene at CO<sub>2</sub>-nivået i oppholdssonen kan holdes under terskelverdien på 1000 ppm.

Målinger av CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen i bygget viser lavere verdier enn det som er simulert i Figur 5. De lavere målte verdiene kan forklares med en lavere personbelastning enn den som ligger til grunn i forutsetningene, eller at den store romhøyden faktisk gir en lagdeling av forurensninger i rommet. Sjiktingen kan redusere det daglige antallet luftinger betraktelig, samtidig som den reduserer energibruken til oppvarming av erstatningsluft (mindre lufting gir mindre energibruk til oppvarming av luft). Sjiktingen er derfor en avgjørende faktor for å lykkes med å varme opp bygget kun med intern varme fra belysning, utstyr og personer.

Norsk klima varierer mye i ulike deler av landet. Figur 6 sammenligner årlige døgnmiddelterperaturer og viser at sammenlignet med Lustenau har Stavanger mildere vinter og kjøligere sommer, mens Trondheim og Oslo har kjøligere sommer og kaldere vinter. Flyttet til et typisk vestlandsklima vil 2226-bygget trolig ikke ha noe oppvarmingsbehov, mens det i Oslo og Trondheim ville trengs noe oppvarming. Oppvarmingsbehovet vil da trolig kunne dekkes av en effekt på 17 W/m<sup>2</sup>, tilsvarende belysningen i 2226. Ettersom de tre norske byene har kjøligere sommer enn Lustenau, vil man i Norge ha bedre forutsetninger for å oppnå en tilfredsstillende innetemperatur om sommeren.



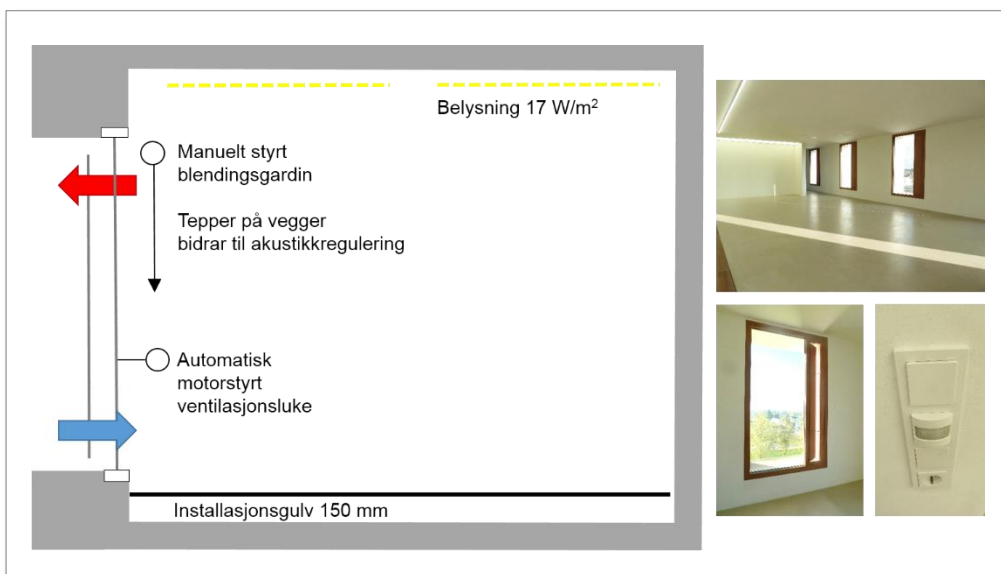
Figur 6: Årlige døgnmiddelterperaturer i tre norske byer sammenlignet med Lustenau (klimadata for Lustenau er Bregenz data i 15 km avstand).

En vesentlig forutsetning for beregningene er at bygget ikke ventileres utenom driftstid og at det oppnås en sjikting i rommet som reduserer ventilasjonsbehovet om vinteren. I beregningsreglene for energikravene i TEK må man bruke standarden NS 3031 og regne med ventilasjon utenfor driftstiden. Dette medfører at det beregnede energiforbruket økes betraktelig og at bygget teoretisk ikke klarer å oppfylle energikravene. Forskjellen er vesentlig og er vist i Tabell 4 1.

	Energibruk beregnet med prosjekt forutsetninger	Energibruk beregnet med norske energiregler	
	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	
1a Romoppvarming	0	104	NS 3031 1 person pr. 20 m <sup>2</sup>
1b Ventilasjonsvarme	0	0	
2 Varmtvann (tappevann)	2	5	Anslag for 2226 og fast verdi fra NS 3031
3a Vifter	0	0	
3b Pumper	0	0	
4 Belysning	18	16	Forutsatt belysning med 5 W/m <sup>2</sup>
5 Teknisk utstyr	30	34	Fast verdi fra NS 3031
6a Romkjøling	0	0	
6b Ventilasjonskjøling	0	0	
<b>Totalt netto energibehov</b>	<b>50</b>	<b>159</b>	

Tabell 3-1: Sammenligning av energibruk i et bygg tilsvarende 2226-bygget beregnet med forventede reelle forutsetninger og energibruk beregnet etter NS 3031. Her har vi antatt noen prosjektforutsetninger, og det kan være avvik mellom Baum-schlager Eberle sine energiberegninger og vår energiberegning.

Det er opplyst at 2226-bygget i det første driftsåret hadde et målt samlet energiforbruk på 39 kWh/m<sup>2</sup> år<sup>-1</sup>. I denne perioden var bygget ikke fullt i bruk. Byggets øverste etasjer var ikke i bruk, og første etasje brukes til utstillinger og kantine. Ca. 70% av bygget var i bruk til kontor. Simuleres bygget med denne bruken, prosjektforutsetninger som beskrevet over og Bregenz klimadata, får man en årlig energibruk på ca. 34 kWh/m<sup>2</sup> år. Vi mener derfor at det er realistisk at man kan oppnå en reell energibruk på ca 50 kWh/m<sup>2</sup> med et slikt kontorbygg i full drift selv om en teoretisk NS 3031 beregning gir et helt annet resultat.



Figur 7. 2226 er et bygg med svært forenklede tekniske systemer, og representerer et ytterpunkt for maksimal forenkling.

Alle lufteluker (byggets ventilasjonssystem) i 2226 kan styres individuelt, og det gjør at den tekniske griden er én sone per vindu. Et installasjonsgulv på 150 mm i hele bygget gir

<sup>1)</sup> Opplyst i forbindelse med Futurebuilt studietur til Lustenau våren 2014

fleksibilitet i innredning og plassering av arbeidsplasser. Installasjonsgulvet benyttes som føringsveier dersom bygget skal fungere som bolig. Baumschlagel Eberle har vist hvordan funksjonen for en etasje enkelt kan endres fra kontor til bolig. Kombinasjonen av stor termisk masse og effektiv nattekjøling gir høy passiv kjøleeffekt i bygget uten at dette går på kompromiss med godt inneklima.

Oppsummerte sentrale forutsetninger og grep for 2226-bygget:

- Kubisk bygg 24x24x24 m gir et svært kompakt bygg
- Moderat vindusareal er på ca. 16% av BRA
- Bygget har meget godt isolerte vinduer, trelags energiglass ( $U_{gl} = 0,50$ ), super-isolert spacer og isolert karm. U-verdi samlet for vinduer er ca.  $0,65 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Yttervegg er godt isolert med U-verdi på  $0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$ , utført lett-tegl i bærende og isolerende kvalitet, totalt 76 cm tykk
- Det er lite kuldebroer pga. utvendig isolering (isolerende teglblokker)
- Lufteluker er meget godt isolert med vakuumisolasjon
- Bygget har lavt lekkasjetall
- Alle overflater er eksponerte for maksimal utnyttelse av varmelagring i konstruksjonen
- Bygget har naturlig ventilasjon med avansert styring etter  $\text{CO}_2$ , temperatur og uteklima, der brukerne har mulighet for overstyring via display i hver sone
- Bygget har landlig beliggenhet, med lite utendørs støy og god luftkvalitet
- Det er høy brutto etasjehøyde på 4,6 m i 1. etasje og 3,75 m i 2.-6. etasje
- Det er forutsatt bufring av forurenset luft, som reduserer lufteintervaller til tre daglige luftinger på vinteren (avgjørende for å nå lavt energiforbruk)
- Trekk i forbindelse med lufting aksepteres – men reduseres ved å legge luftinger umiddelbart før brukstid på morgenen, i lunsjpauser og umiddelbart etter brukstid om ettermiddagen
- Det er ingen ventilasjon utenom driftstid om vinteren. Om sommeren brukes nattekjøling utenom brukstid for å kjøle ned konstruksjonen
- Belysning brukes som oppvarming når det ikke er tilstrekkelig energi fra personer og utstyr

## 4. Optimal utforming av bygg med forenklete tekniske systemer

Bygg med forenklete tekniske systemer fungerer best dersom bygget er tilrettelagt for det, gjennom byggets plassering, orientering, form, utforming, innredning og bygningsmessige egenskaper. Bygg som er mindre forberedt vil kreve mer av de tekniske systemene, men krav til bygget ikke er absolutte. I mindre tilrettelagde bygg, må løsningene tilpasses det aktuelle byggets design.

De følgende avsnittene går gjennom vurderinger som er nødvendige i forenklet design. Avsnittet er tenkt som inspirasjon og er ikke en fullstendig prosjekteringsveileder.

I vedlegg 2 er det gitt en tabell med veiledende beslutningsparametere for når ulike prinsipper for forenklet design er mulig.

### 4.1 Omgivelser og plassering av bygget

**Byggets plassering har stor betydning for solinnstråling, vindforhold, forurensninger fra uteluften og støy fra omgivelsene. Det er avgjørende at disse forholdene vurderes i tidlig prosjektfase og at det vurderes hvilke forenklinger som er mulige med byggets lokalisering og kontekst.**

#### 4.1.1 Solskjerming

Skygger fra omkringliggende bygninger, trær og lignende vil redusere energitilskuddet fra solen i oppvarmings sesongen. For velisolerte bygg (passivhusnivå) med vanlige internbelastninger i driftstiden har det ikke avgjørende betydning (Quist & Molzen, 2016). For bygg med stort oppvarmingsbehov har skygge større betydning. Mye skygge vil trolig øke energibruken til oppvarming.

Simuleringer av 2226-bygget med norske klimadata, viser at det er mulig å oppnå akseptable temperaturnivåer og tilfredsstillende inneklime i sommersesongen både i Oslo og med vestlandsklima uten annen solavskjerming enn tykke vegger og innvendig gardin som aktiveres i driftstiden (Quist & Molzen, 2016). Avgjørende forutsetninger er at bygget ventileres med effektiv nattekjøling, har stor kuldagringskapasitet og at brukeren bruker den innvendige solavskjerming aktivt i brukstiden. Spesielt er det viktig at solavskjermingen aktiveres tidligst mulig på morgenen på østvendte fasader.

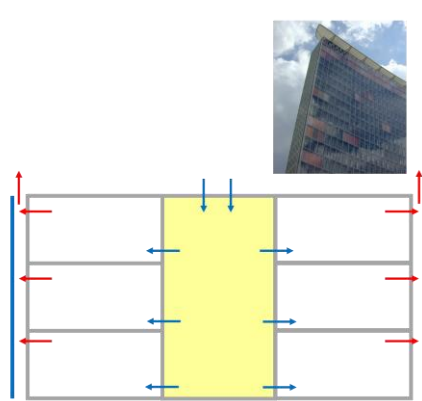
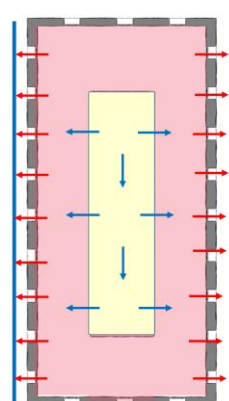
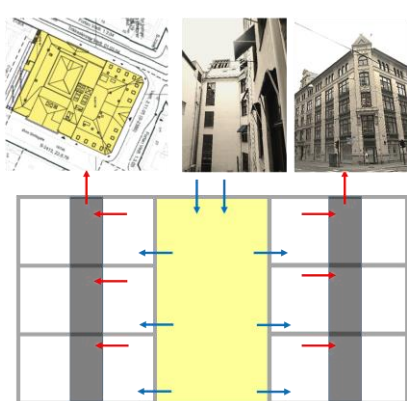
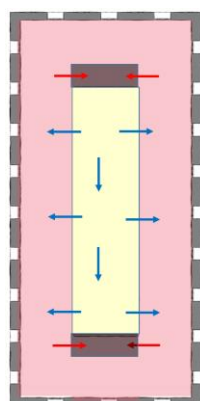
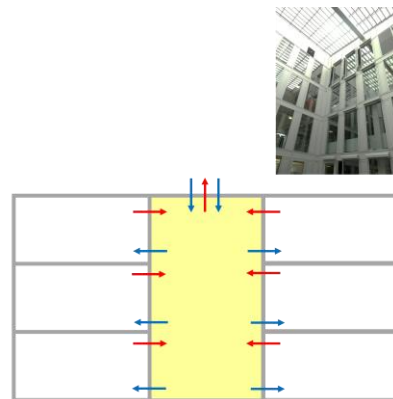
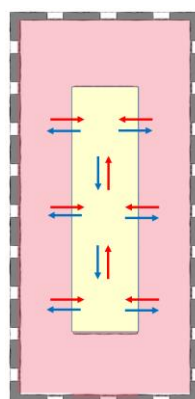
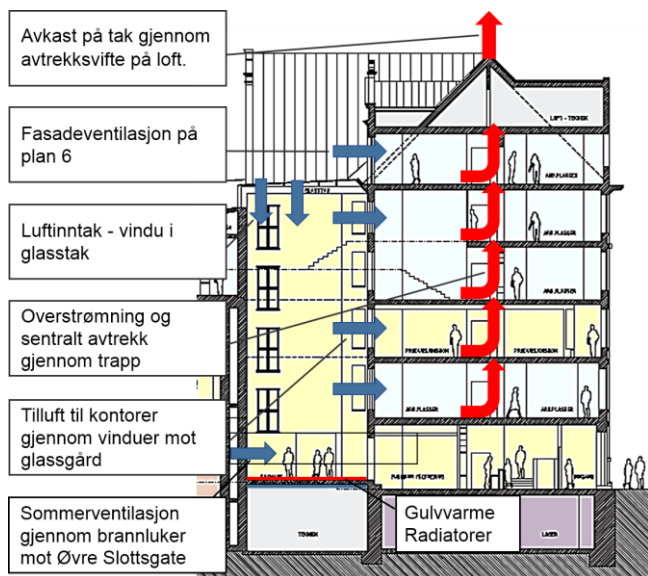
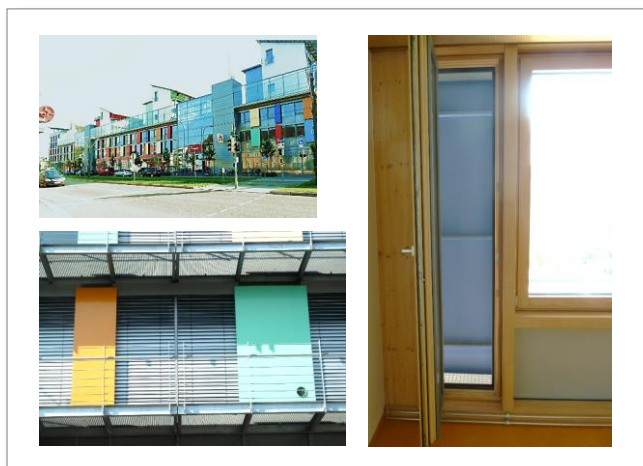
#### 4.1.2 Støy utenfra og luftforurensninger

Støy og luftforurensninger finnes i byområder med tett trafikk. Bygget bør tilrettelegges slik at luftinntak ikke orienteres direkte mot forurensede og støyende gater. Støy kan reduseres ved bruk av spesielle inntaksåpninger med støydemping eller doble fasader.

Luftforurensninger må reduseres gjennom plasseringen av inntak. Inntaket kan plasseres høyt opp på fasaden, de kan plasseres på fasader mot bakgården av bygget, mot godt ventilerte glassgårder eller i fasader som ikke vender ut mot trafikkerte gater.



Figur 8: Eksempel på støy-redusert lufteluke mot trafik-kert gate i Freiburg, Tysk-land. Ventilasjonssystemet er et hybrid system med desentralisert mekanisk balansert ventilasjon og supplerende vinduslufting for nattekjøling og varme dager.



Figur 9: Eksempler på alternative løsninger for å ta inn ren tilluft i byområder. Hovedprinsippet er at luftvinduer plasseres på fasader som ikke er orientert mot veien, og at gårdsrommet integreres i løsningen som et klimatiseringskammer. Tilluft til klimatiseringskammeret kan suppleres med mekanisk ventilasjon i en hybrid løsning. Øverst til høyre: Luft inn og ut fra klimatiseringskammer (Heinrich Boll Foundation Berlin). Nede til venstre: Luft inn i klimatiseringskammer og mekanisk avtrekk via trapper (Sparebank Stiftelsen Akersgate/Tollbugate Oslo). Nederst til høyre: luft inn fra klimatiseringskammer og avtrekk gjennom dobbelfasade (GSW bygget i Berlin har avtrekk gjennom dobbelfasade). For den siste løsningen kan en dobbelfasade også gi støyskjerming.

Figuren øverst til venstre viser Oslo Sparebank i Øvre Slottsgate som er designet for bruk av naturlig ventilasjon. Et tidligere gårdsrom er ved rehabiliteringen endret til glassgård og benyttes som tilluftkammer for ventilasjon av soner mot glassgården. Kontorer mot glassgården ventileres gjennom automatiserte luker i fasaden. Avtrekk fra kontorer går via overstrømning til trapperom og sentral avtrekksvifte. Om sommeren kommer tilluften til glassgården gjennom lavt sittende brannluker i fasaden mot Øvre Slottsgate. Om vinteren kommer tilluften gjennom luker i taket. Om sommeren nattkjøles glassgården med naturlig ventilasjon inn gjennom brannluker mot Øvre Slottsgate, og ut gjennom luker i tak. Energien (kulden) magasineres i eksponerte teglvegger i glassgården. Magasinert energi brukes til kjøling av tilluft til kontorer på dagen.

Pollen kan være en utfordring. Balansert mekanisk ventilasjon reduserer pollen i tilluften (men ikke 100%) og gir lavere polleninnhold enn luft direkte gjennom vindu. Pollen tilføres ikke kun gjennom tilluften til bygget, men også deponert i klær og hår på personer som går inn og ut av bygget. Det finnes derfor trolig ikke 100 % pollenfrie miljøer uansett hvilket ventilasjonsprinsipp som anvendes. En finsk undersøkelse av pollentransport konkluderer med at det største bidraget til pollentransport inn i boliger er klær og at transporten gjennom dører og vinduer trolig ikke gir det største bidrag (Jantunen, 2011).

#### 4.1.3 Vindforhold

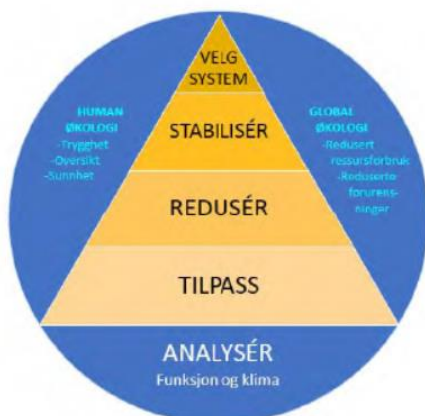
Vindhastighet og vindretning påvirkes av omkringliggende bygninger. I tette bystrøk vil vindens innflytelse på drivkreftene for naturlig ventilasjon være mindre enn bygg som er frittliggende.

## 5. Passiv design i bygg med forenklete tekniske systemer

**Bygg med forenklete tekniske systemer må planlegges og designes i en helhet der bygg og tekniske systemer er integrert og byggets passive kvaliteter kan utnyttes. Forenkling av tekniske systemer bør vurderes i alle bygg, nybygg og rehabilitering, selv om maksimal forenkling ikke vil være mulig.**

Lima-pyramiden er et eksempel på en passiv designstrategi (Berge, 2014).

Formålet med passiv klimatisering er å redusere energibruken og avhengigheten av avanserte tekniske systemer. Det er viktig at energibehovet til drift og vedlikehold av systemene er inkludert i vurderingene. I tillegg bør man være oppmerksom på at brukerstyring er viktig for å oppnå lav energiforbruk. Flere undersøkelser peker på at brukerstyring i seg selv gir større tilfredshet med inneklimate. Dermed kan man i praksis variere temperaturer over et bredere spekter uten at det går ut over opplevd komfort.



Figur 10: LIMA-pyramiden er utviklet som et verktøy for tidligfase-planlegging av energieffektive bygninger. Formålet med metoden er å maksimere utnyttelsen av passive energitiltak og slik redusere behovet for tekniske installasjoner. Fra et analysenivå ledes man gjennom en sjekkliste på fire nivåer der aktuelle tiltak hentes ut og integreres i prosjektet fram til et helhetlig energikonsept.



## 5.1 Naturlig og hybrid ventilasjon – prinsipper og muligheter

**Naturlig ventilasjon kan tilrettelegges på mange måter og deles ofte i tre prinsipper; ensidig ventilasjon, kryssventilasjon og oppdriftsventilasjon. Naturlig ventilasjon kan kombineres med tradisjonelt balansert mekanisk ventilasjon eller avtrekksventilasjon. Dette defineres som hybrid eller mekanisk understøttet ventilasjon. Naturlig eller hybrid ventilasjon er mulige valg i en forenklet ventilasjonsstrategi.**

### 5.1.1 Hvorfor ventilere?

Målet for ventilasjon å få et godt inneklima (tilfredsstillende temperatur og luftkvalitet) med lavest mulig energibruk. Mer spesifikt er formålet tredelt:

- Fjerne forurensninger fra personer og materialer
- Stabilisere luftfuktigheten i området mellom RF 40-60 %
- Bidra til å forebygge overoppheting

### 5.1.2 Definisjon av ulike ventilasjonsprinsipper

I denne veilederen skilles det mellom fire ulike ventilasjonsprinsipper;

#### ***Naturlig ventilasjon***

For naturlig ventilasjon er drivkreftene i hovedsak naturlige og systemets energibruk er i hovedsak elektrisitet til motoriserte styringer.

#### ***Mekanisk understøttet naturlig ventilasjon***

For mekanisk understøttet naturlig ventilasjon er drivkreftene en kombinasjon av termisk og mekanisk avtrekk. Det samlede krav til drivtrykk ved maksimal belastning skal være mindre enn 10 Pa.

#### ***Balansert mekanisk ventilasjon***

I balansert mekanisk ventilasjon er drivkreftene mekaniske til både luftinntak og avtrekk.

#### ***Hybrid ventilasjon***

Naturlig ventilasjon kan kombineres med tradisjonell mekanisk ventilasjon, og dette defineres som hybrid ventilasjon. Naturlig ventilasjon er energieffektivt til ventilering i perioder med kjølebehov, men gir ikke varmegjenvinning i perioder med oppvarmingsbehov. Balansert mekanisk ventilasjon har derimot energieffektiv varmegjenvinning. Et hybrid system kombinerer fordelene ved de to ventilasjonsprinsippene.

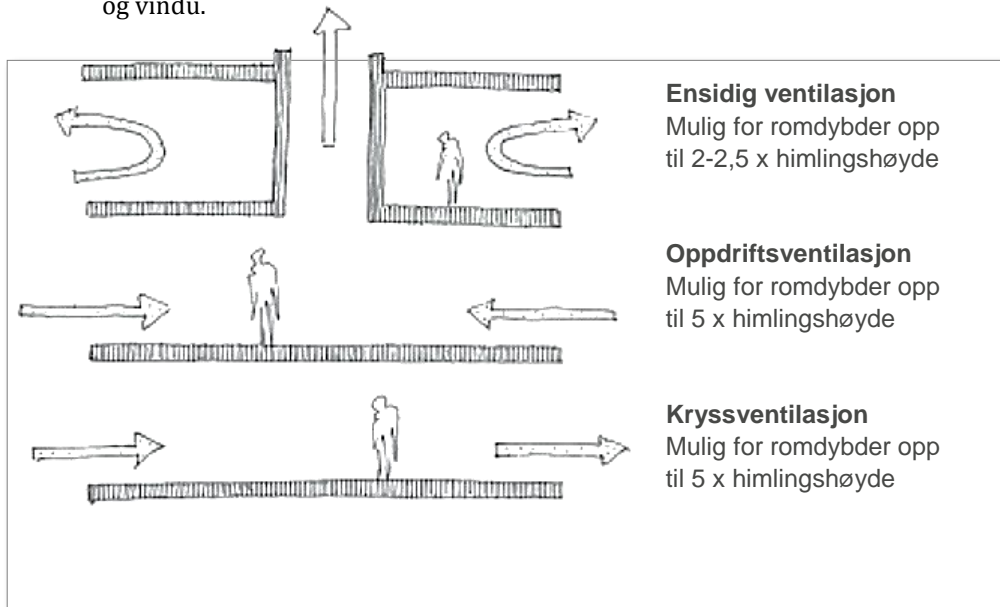
Hybrid ventilasjon kan designes slik at det mekaniske systemet dekker byggets basisventilasjon og krav til luftkvalitet. Den mekaniske ventilasjonen suppleres med energieffektiv nattekjøling av bygget (aktivering av termisk magasinering), naturlig kjøling av bygget i perioder med kjølebehov (mulighet for store luftutskiftinger uten energibruk til vifter) og morgenlufting.

Fordelingen mellom naturlig og mekanisk ventilasjon i en hybrid ventilert løsning kan variere i et relativt stort område på 20 – 80 %. Vanligvis vil fordelingen være ca 50 % naturlig og 50 % mekanisk ventilasjon.

### 5.1.3 Prinsipper for naturlig ventilasjon

Vanligvis deles naturlig ventilasjon i tre prinsipper vist på figuren over.

- Med ensidig ventilasjon går luften inn og ut av rommet gjennom samme fasade og vindu.



Figur 11: Prinsipper for naturlig ventilasjon.  
Illustrasjon (Kleiven, 2003)

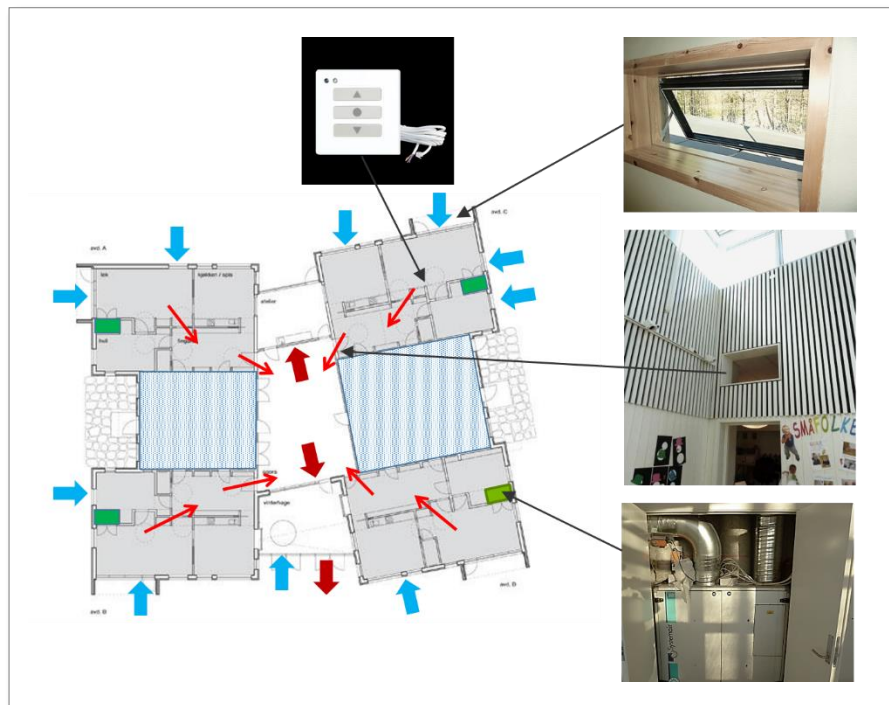
- Med oppdriftsventilasjon utnyttes termisk oppdrift og vind til å drive luften gjennom bygget. Avtrekksluften kan gå via en glassgård eller via egne bygningsmessige kanaler.
- Med kryssventilasjon ventileres bygget med tilluft gjennom en fasade og avtrekk gjennom en annen fasade. Kryssventilasjon er mer effektiv enn ensidig ventilasjon, men krever at det ventilerte rommet har minst to fasader med ulike orienteringer.

Ventilasjonsprinsippet for 2226 er naturlig ventilasjon, hvor luker er byggets ventilasjonssystem. Skal dette prinsippet fungere må en rekke bygningsmessige forutsetninger være oppfylt. Hvis ikke, kan hybrid ventilasjon være en løsning. Eksempler på bygg med hybrid ventilasjon er Solstad Barnehage i Larvik, se Figur 12 og Figur 13, og Mesterfjell-skole i Larvik se Figur 14.



Figur 12: Solstad Barnehage, Larvik. Bygget har hybrid ventilasjon, med kombinasjon av balansert mekanisk ventilasjon og naturlig vinduslufting.

Figur 13: Solstad Barnehage, Larvik. Bygget er designet for bruk av hybrid ventilasjon. Bygget har desentraliserte aggregater og sentralt naturlig avtrekk gjennom høysittende vindu i sentral agora. Bygget ble ferdigstilt i 2010. Driftserfaringer så langt er gode, med lavt energibruk og tilbakemeldinger fra brukerne om et godt inn klima.

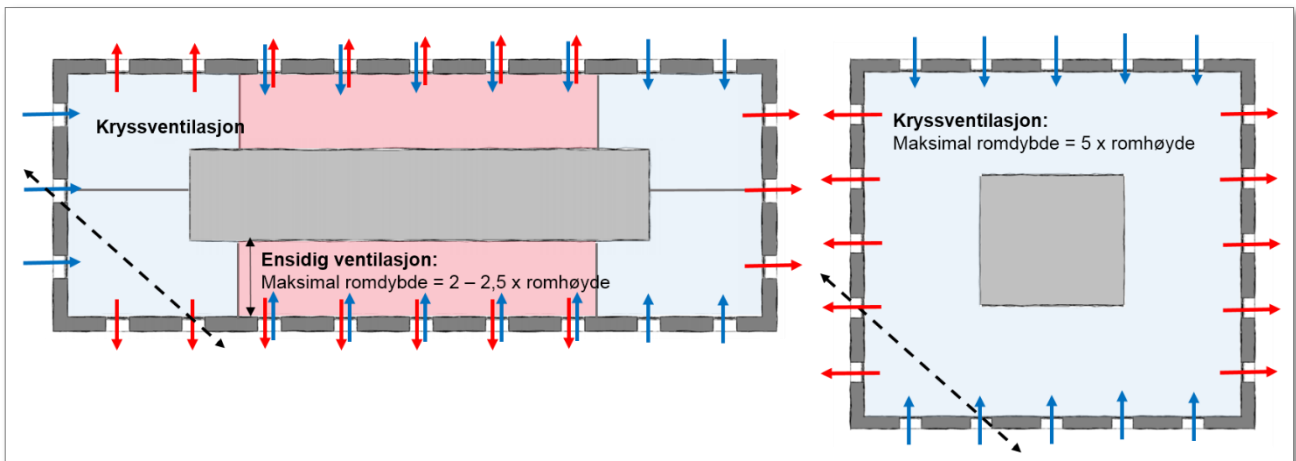


Figur 14: Mesterfjellet skole, Larvik. Bygget er designet for bruk av hybrid ventilasjon. Bygget har sentralt ventilasjonsaggregat med kapasitet på ca 60% av vanlig prosjektpraksis. Mekanisk ventilasjon suppleres av automatisk styrt vinduslufting. Bygget ble ferdigstilt i 2014. Også i dette prosjektet er brukerne fornøyde med inn klimaet. Målt energibruk første driftsår er 59 kWh/m<sup>2</sup> år.



#### 5.1.4 Bygningsgeometri - planløsning

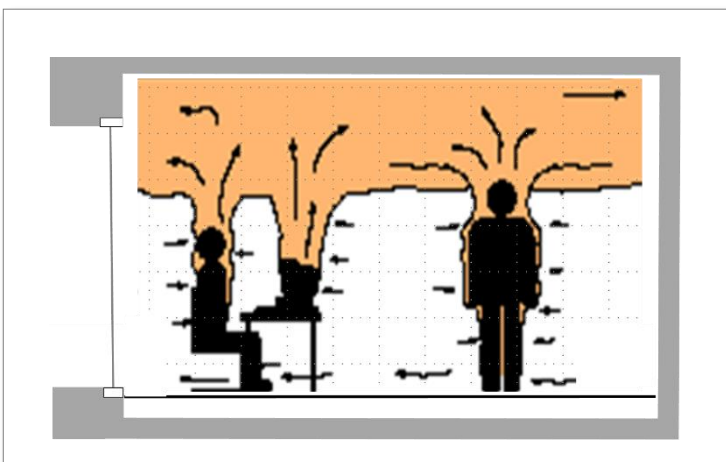
Byggets planløsning bestemmer muligheter og begrensninger for naturlig ventilasjon. I tillegg må man ta hensyn til krav til dagslys, utsyn og areal for den enkelte arbeidsplass. Summen av kravene medfører at det vanligvis er et område på maksimalt 7 m fra fasaden som kan defineres som lyst areal og som egner seg for permanente arbeidsplasser. Med himlingshøyder på minimum 2,7 m vil dette området kunne ventileres med naturlig ventilasjon.



Figur 15: Ventilasjonsprinsipper for kvadratisk og rektangulær bygningskropp. Forutsatt åpne kontorlandskap i hele planen, kan det kryssventileres i et kvadratisk bygg. Det gir større ventilasjonskapasitet sammenlignet med områder som kun kan ventileres med ensidig ventilasjon. I et rektangulært bygg kan områder rundt endene kryssventileres, mens områder på bygges langsiden må ventileres ensidig. Mørke områder i midten av bygget er vanskelige å ventilere med naturlig ventilasjon. En løsning med hybrid ventilasjon kan ventilere mørke områder i byggets kjerner.

#### 5.1.5 Bygningsgeometri - snitt og høyder

Naturlige og hybride ventilasjonsløsninger reduserer plasskrav over systemhimlinger og man kan derfor oppnå høyere himlingshøyder med samme brutto etasjehøyde. Stor himlingshøyde er viktig for bygg med naturlig og hybrid ventilasjon og tilfører samtidig en romlig og estetisk kvalitet til bygget.



Figur 16: Stor himlingshøyde gir mulighet for å øke effekten av naturlig ventilasjon og samtidig redusere energibruken. Med stor himlingshøyde kan forurensninger og varm romluft samles i rommets øvre sjikt. Det gir økt effektivitet for luftinger med vindu. Illustrasjon delvis etter (Skistad, 2002)



### 5.1.6 Bygningsgeometri - fasader og vindu

Vindusgeometrien er viktig for velfungerende naturlige og hybride ventilerte systemer. Geometrien må velges i en helhet som også tar hensyn til det valgte prinsippet for naturlig ventilasjon (ensidig, kryss- eller oppdriftsventilasjon).

Vanlig preferanse er høytsittende vindu med en høyde på ca. 500 mm og lengde som tilpasses krav til kapasitet på luftesystemet. Kombineres høytsittende vindu med kryssventilasjon, oppnås en effektiv løsning med god kapasitet og sikring mot trekk ned til en utetemperatur på omkring 5 °C (WM, n.d.).

Brukes høytsittende vinduer i kombinasjon med ensidig ventilasjon, må luft inn i bunnen av vinduet og ut av toppen. Dette reduserer luftekapasiteten og vinduets evne til å redusere trekk. For å få størst mulig kapasitet med ensidig ventilasjon er det mest optimale å bruke loddrette vindu, som vinduene i 2226-bygget i Lustenau.



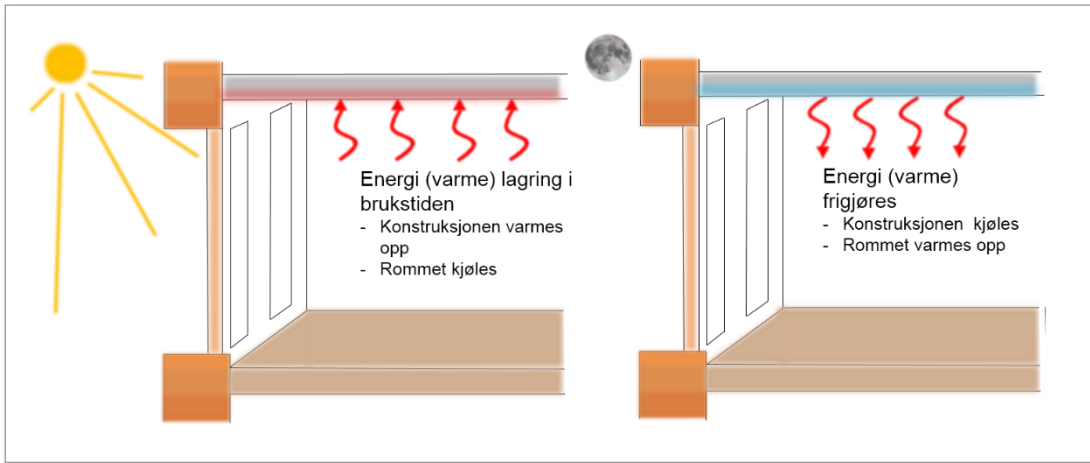
*Figur 17: Høytsittende lave vinduer (øverst til høyre) reduserer risiko for trekk og gir god kapasitet ved kryssløfting, men ved ensidig løfting oppnås ikke de samme fordelene. Store høye vinduer gir god luftekapasitet, men gir luft direkte inn i oppholdssonen og øker risiko for trekk. Styling av vindusåpning kan være manuell eller automatisk. Beste og mest kostnadseffektive løsning er trolig en kombinasjon av høytsittende vindu (for vinterløfting) og høye vinduer (for sommerløfting).*

## 5.2 Byggets overflater og materialer

Forurensninger i inneluften må reduseres ved å velge overflatebehandlinger og materialer som er dokumentert lavt eller svært lavt emitterende. Dette er et forskriftskrav.

Høye utetemperaturer, innstrålt solvarme og varmeutvikling fra mennesker, aktiviteter og utstyr kan føre til overoppheting. Overopphetingen kan forebygges ved bruk av temperatur-bufrende materialer i de innvendige overflatene. Disse bidrar til at temperaturvariasjonene dempes og strålingstemperaturen fra de innvendige overflatene synker. Temperatur-bufringen reduserer ventilasjons- og kjølebehovet, og effekten kan forsterkes i kombinasjon med naturlig nattekjøling.

Termisk lagring i materialer kan bidra til å redusere oppvarmingsbehovet. Varmelagringen kan ta vare på mer av innstrålt solenergi, menneskevarme og prosessvarme. Høyere temperatur på omgivende flater vil innebære at romtemperaturen kan senkes i fyringssesongen.



Figur 18: Prinsipp for termisk lagring fra dag til natt og omvendt.

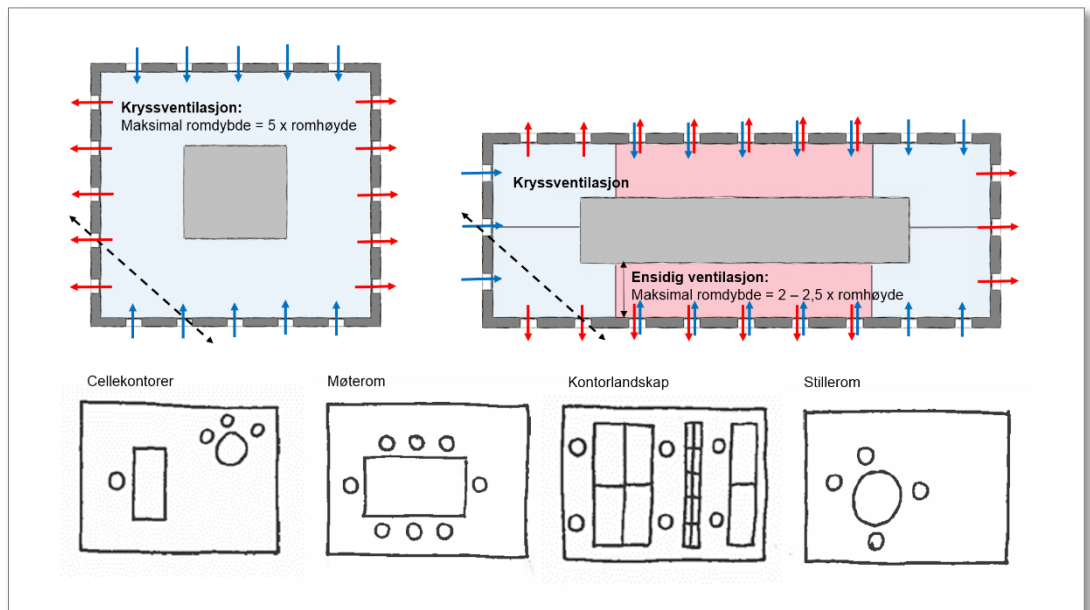
### 5.3 Rehabiliteringsprosjekter

Hovedparten av fremtidens bygg er allerede bygget, og det kan være teknisk vanskelig (innenfor en rimelig kostnadsramme) å nå passivhusnivå på alle eksisterende bygg. Eksisterende bygg kan ha potensial for forenkling, men i disse prosjektene kan som regel ikke den tekniske løsningen forenkles like mye som i bygg designet for forenklede tekniske systemer. Typisk må det velges hybrid ventilasjon i tillegg til at oppvarmingssystemet må ha større kapasitet og distribueres lengre ut i bygget.

### 5.4 Innredning og fleksibilitet

Områder som ligger mer enn 7 meter fra en fasade har ikke tilstrekkelig dagslys til at de kan brukes til arbeidsplasser. I kontorbygg brukes disse mørke arealene til trapper, kopirom, toaletter, møterom, stillerom og kjøkken.

I kontorbygg med balansert mekanisk ventilasjon kan kjernearealet enkelt ventileres, mens naturlig ventilerte bygg har noen begrensninger. Rektangulære naturlig ventilerte bygg har en optimal bredde på 12–18 m, mens kvadratiske bygg kan ha en bredde på 22–24 m (som 2226-bygget omtalt tidligere).



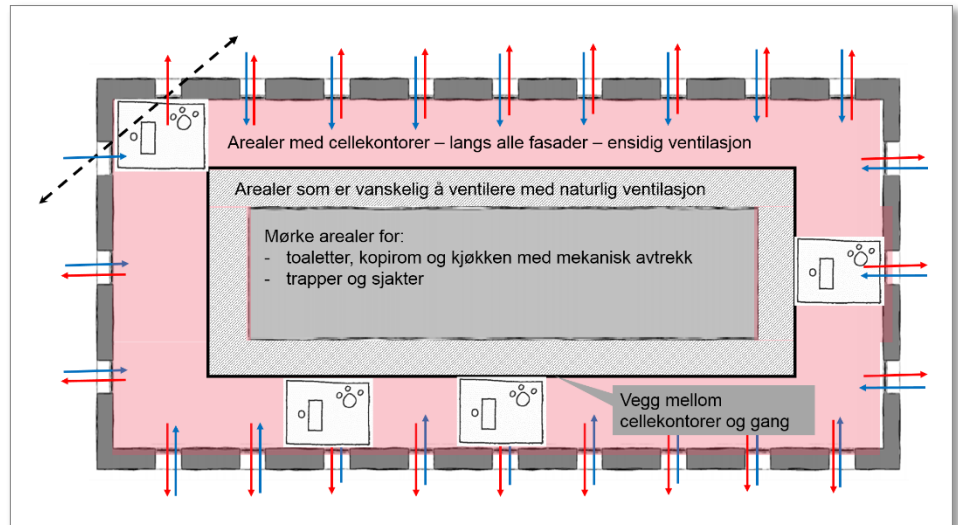
Figur 19: Naturlig ventilasjon krever at alle ventilerte rom er plassert ved vindu og fasade, og dette har betydning for arealutnyttelsen i brede bygg. Tradisjonelt plasseres møterom og stillerom i brede bygg i byggets kjerne for å spare de lyse arealene til arbeidsplasser. Dette er ikke mulig i naturlig ventilerte bygg. For å få det til må det gjennomføres kompenserende tiltak.



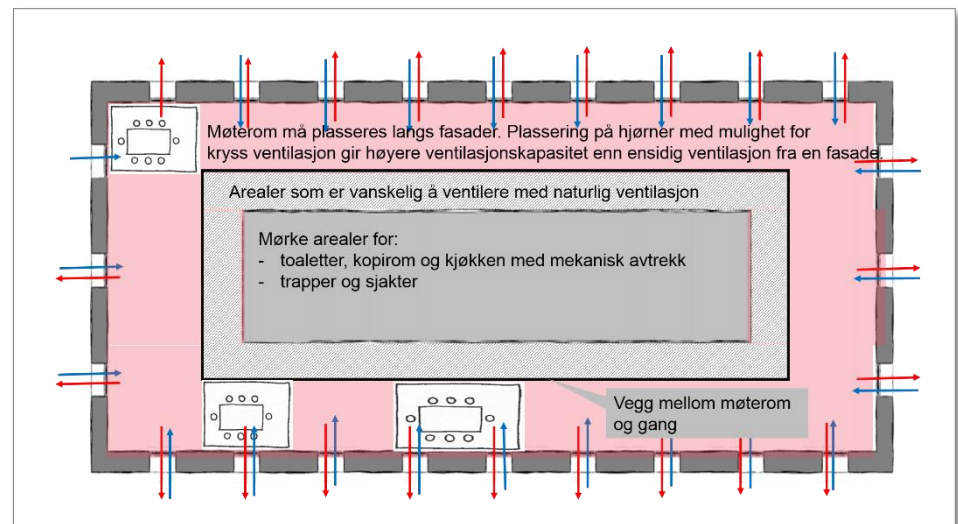
Figur 20: Tette vegger mellom kontor og gang vil redusere lufttilførselen til byggets kjerner. Her vil planets mørke areal være fra gangsone og inn. Det vil være en del arealer som ikke kan nyttiggjøres dersom byggets bredde er vesentlig over 12–15 m. Bildet til venstre viser B&O bygget i Struer (mekanisk understøttet naturlig ventilasjon) og til høyre administrasjonsbygning for Århus kommune (hybrid ventilert). Begge bygg er eksempel på design med relativt smal bygningsskropp. Araleffektiviteten i brede bygg kan økes med hybrid ventilasjon og/eller glassgårder. Illustrasjon for administrasjonsbygning fra SHL arkitekter.



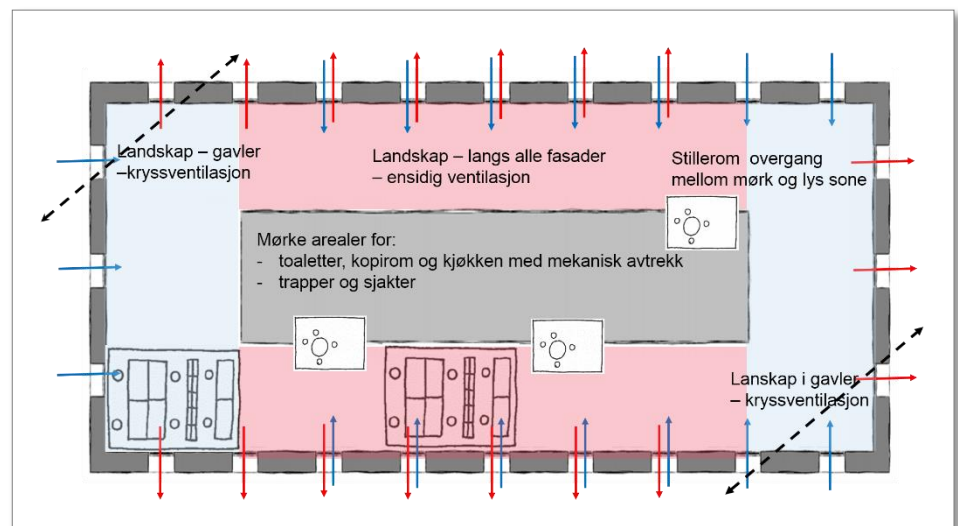
Figur 21: Tette vegger mellom kontor og gang vil redusere lufttilførselen til byggets kjerner. Her vil planets mørke areal være fra gangsoner og inn. Det vil være en del arealer som ikke kan nyttiggjøres dersom byggets bredde er vesentlig over 12–15 m. Bildet over viser B&O bygget i Struer (mekanisk understøttet naturlig ventilasjon) og administrasjonsbygning for Århus kommune (hybrid ventilert). Begge bygg er eksempel på design med relativ smal bygningskropp. Areeffektiviteten i brede bygg kan økes med hybrid ventilasjon og/eller glassgårder. Illustrasjon for administrasjonsbygning fra SHL arkitekter.



Figur 22: Bygg innredet med møterom vil redusere lufttilførselen til byggets kjerner. Her vil planets mørke areal være fra gangsoner og inn. Det vil være en del arealer som ikke kan nyttiggjøres dersom byggets bredde er over 18 m. Møterom kan være dypere enn cellekontorer og derfor kan bredere bygg nyttiggjøres. For møterom med store krav til internbelastninger og krav til høy ventilasjonskapasitet bør rommene plasseres i hjørnene av bygget eller med vegg mot ytre fasade og vegg mot indre glassgård for få størst mulig ventilasjonskapasitet. Areeffektiviteten i brede bygg kan økes med hybrid ventilasjon og/eller glassgårder.



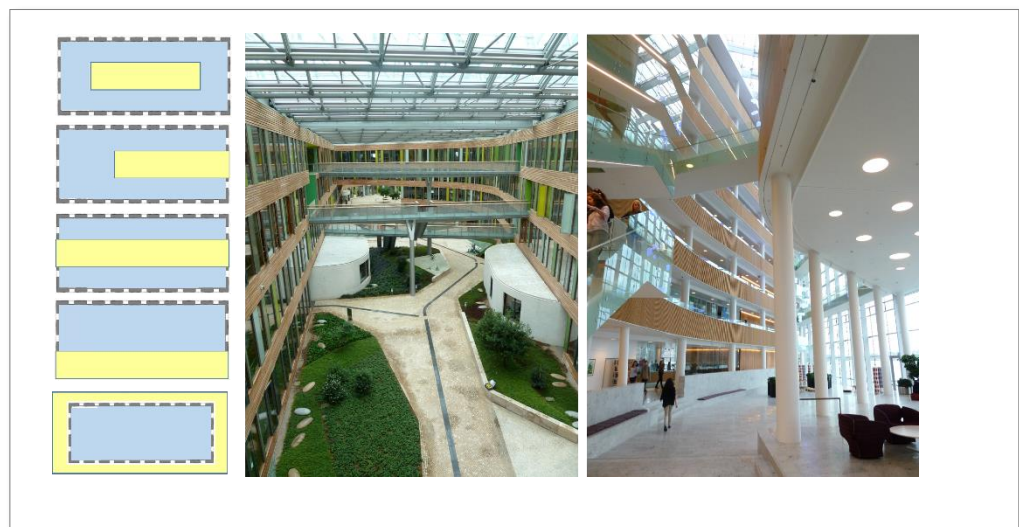
Figur 23: Åpent kontorlandskap gir maksimal arealeffektivitet for naturlig ventilasjon. Stillerom kan integreres som halvåpne bokser som ventileres fra kontorlandskapet. Ved smale bygningskropper kan deler av den midtre sonen nyttes til kjøkken og sosiale soner. Med kontorlandskap kan man oppnå god arealeffektivitet med bredder mellom 15 og 18 m. Areeffektivitet i brede bygg kan økes med hybrid ventilasjon og/eller glassgårder.



## 6. Glassgårder

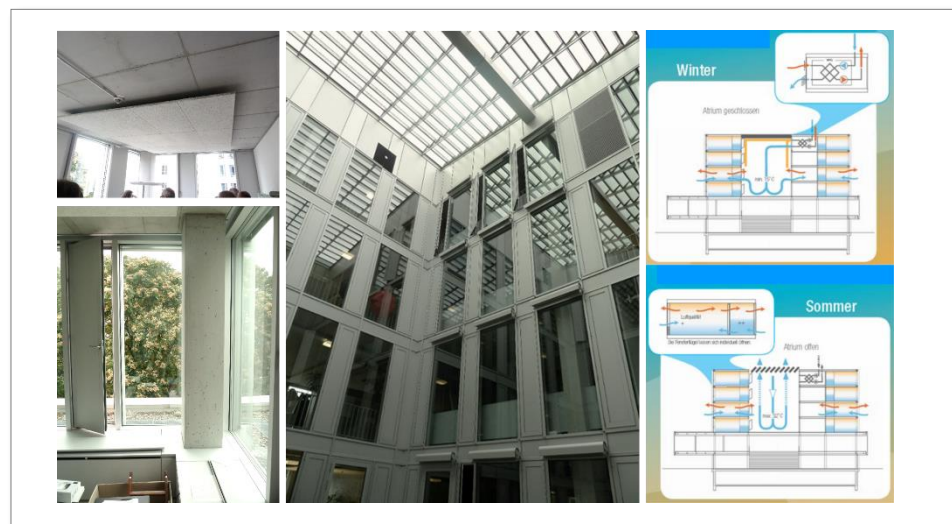
Glassgårder brukes ofte i naturlig ventilerte bygg og kan være et god løsning for å øke arealeffektiviteten og fleksibiliteten i bygg med bredde over 15-18 m. Glassgårder er en mulig løsning der eksisterende bygg med eksisterende bred bygningskropp skal tilrettelegges for forenklete tekniske systemer. I tillegg kan glassgårder øke daglyskvaliteten i brede bygg.

Figuren under viser alternative prinsipper for bruk av lysgårder.



Figur 24: Glassgårder kan utformes på ulike måter, som vist i figuren over. Med glassgårder kan ventilasjonsprinsippet endres fra ensidig ventilasjon til kryss- og oppdriftsventilasjon, og man kan øke kapasiteten på ventilasjonen. Glassgårder kan også benyttes som tilluftskammer for ventilasjon. Dette vil være aktuelt der det er ekstern støy eller i områder med høye eksterne forurensninger. Lysgårder kan også brukes som avtrekkskammer for ventilasjon. Glassgårder kan integreres som inneliggende, innstikk, gjennomgående, utenpåliggende eller som omsluttende.

Figur 25: Heinrich Böll Foundation sitt bygg sentralt i Berlin. Rom mot ytre fasade ventileres med loddrette luker i yttervegger om vinteren og med en kombinasjon av luft fra glassgård og utenfra om sommeren. Rom mot glassgården ventileres gjennom luker mot glassgården. Den sentrale glassgården virker som byggets «lunge». Om sommeren tas uteluft direkte inn i glassgården og brukes til nattekjøling. Bygget har eksponerte betonghimlinger for å øke kuldelagringen om natten. Om vinteren forvarmes tilluft med gjenvunnet energi fra byggets datasentral.



## 7. Hybrid ventilasjon som grep for å øke arealeffektivitet og fleksibilitet i brede bygg

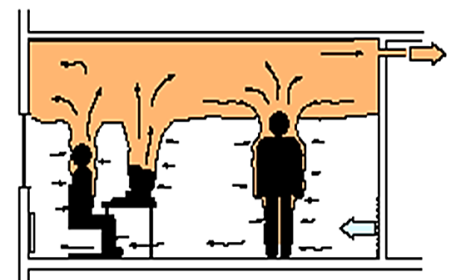
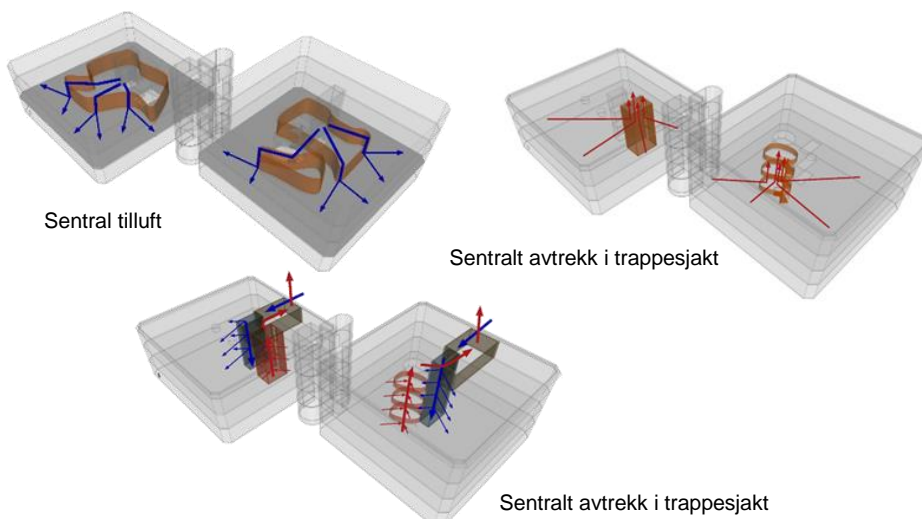
**Hybrid ventilasjon med konstant balansert mekanisk ventilasjon i kombinasjon med modulerende vinduslufting gir et svært energieffektivt system som kan gi lav reell energi- bruk, tilfredsstillende energikrav i TEK og samtidig gi bygg med stor fleksibilitet. Systemet bør tenkes som modulære bygningsintegrerte løsninger for å sikre krav til fleksibilitet i bygget.**

Når mekanisk ventilasjon og naturlig ventilasjon kombineres i en hybrid løsning, kan og bør det mekaniske systemet forenkles. Det mekaniske systemet bør tilføre bygget konstante luftmengder, og det viktig at det tilpasses byggets mest sannsynlige middelbelastning og ikke byggets maksimale belastning. Ved ekstra behov for luft suppleres med luft fra vinduer. En slik løsning kan tilpasses ulike behov, og man oppnår et enkelt teknisk system med stor fleksibilitet for endret bruk og innredning av bygget.

Med en hybrid løsning som beskrevet i avsnittet ovenfor vil også byggets mørke områder kunne ventileres. Dette betyr at møterom og stillerom kan plasseres i de mørke sonene, og da vil større deler av brede bygg kunne nyttiggjøres. Dette er spesielt interessant for rehabiliteringsprosjekter hvor byggets form er vanskelig å endre.

Tommelfingerregler for tilrettelegging og dimensjonering er: velg lavest mulig luftmengder, bruk konstant luftmengde, reduser kanalnettet mest mulig, bruk sentrale avtrekk og bruk bygget som kanaler når det er mulig.

Powerhouse Kjørbo har ikke hybrid ventilasjon, men ventilasjonen er et forenklet mekanisk balansert ventilasjonssystem. Prinsippet er basert på to hovedprinsipper; bruk av bygget som kanaler og bruk av fortrengingsventilasjon. For fortrengingsventilasjon tilføres luft ved gulvet og trekkes ut ved himling. I landskapssoner kan tilluft plasseres i byggets kjerne, og man kan oppnå en relativt enkelt oppbygning og utstrekning av kanalsystemet. Prinsippet er avhengig av at luften ikke stoppes av faste tette vegger på sin vei til oppholdssonen. Prinsippet er vist i Figur 24 med illustrasjon av prinsippet og løsningen fra Powerhouse Kjørbo. Alternative føringer for tilluft er i installasjonsgulv (UFD, Under Floor Systems) med tilluft gjennom ventiler i gulvet.



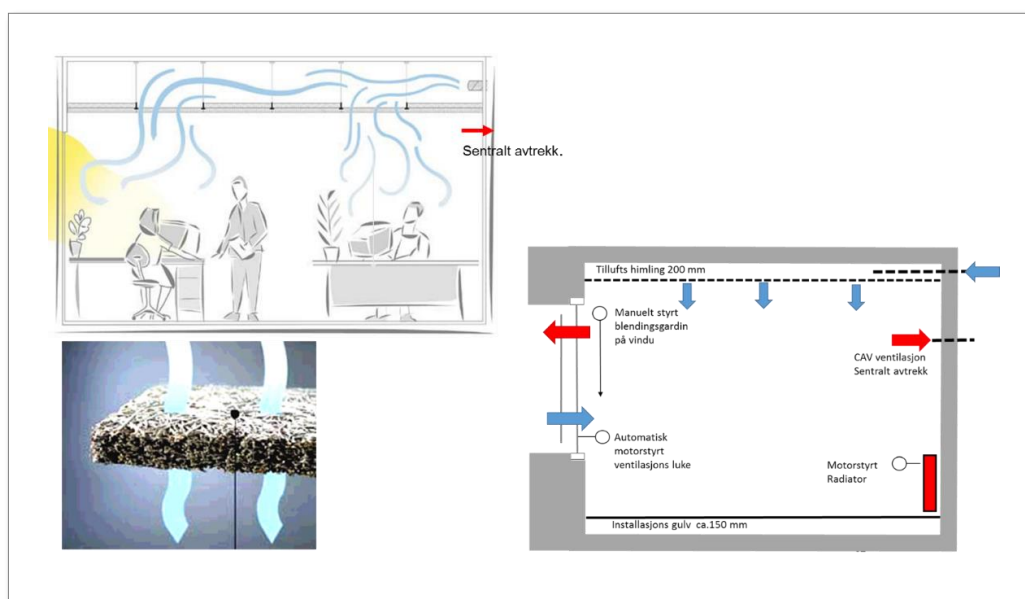
Figur 26: Fortrengingsventilasjon kan forenkle det mekaniske ventilasjonssystemet. Illustrasjon Snøhetta og (Skistad, 2002)



Fortrengingsventilasjon bygger på prinsippet om at tilluft med lavere temperatur enn inneluften blåses inn lavt i rommet og flyter rundt varmekilder i rommet. Når den møter varmekilder varmes luften opp og stiger. Den trekkes ut fra rommet gjennom høysittende avtrekk. Ventilasjonsprinsippet egner seg godt for forenklet basisventilasjon, med mulighet for få sentralt plasserte tilluftsventiler. Systemet utnytter romslige himlingshøyder gjennom buffring av varme og i noen grad forurensninger i det øvre sjiktet av rommet. I Powerhouse Kjørbo tilføres luften fra byggets sentrale kjerner og trekkes av gjennom trapperom og lyssjakter i byggets kjerne.

Et annet eksempel på et forenklet balansert ventilasjonssystem er innblåsing gjennom himlingsplatene. Prinsippet ble utviklet for treullsement plater (andre typer perforerte plater kan også benyttes) og er brukt i en rekke prosjekter i Danmark. Romsdal videregående skole i Norge er planlagt med dette ventilasjonsprinsippet.

Figur 27: Tilluften går inn i hulrommet over himlingen og derfra videre ned til rommet gjennom en trebetongplate med svært lav hastighet. Den lave hastigheten sikrer at det ikke oppstår sjenerende trekk. Dette prinsippet tilfører store luftmengder, har stor kjølekapasitet (når det kreves) og gir samtidig et tilfredsstillende inneklima.



Tilluft gjennom himling løser en grunnleggende utfordring, nemlig termisk aktivering kontra akustisk regulering. Løsningen reduserer samlet ressursforbruk, ettersom samme bygningskomponent løser flere funksjonskrav samtidig. Kombineres løsningen med et datagulv for føring av data og elektrisitet til arbeidsplassene, kan den samlede byggehøyden for dekke, himling og datagulv reduseres til ca. 650 mm for konstruksjoner og føring-er for tekniske systemer. Dette gir muligheter for en romslig himlingshøyde.

Ventilasjonsprinsippet over kan utvikles videre og tilpasses ribber i dekkekonstruksjonen. Da får man et modulært basis ventilasjonsprinsipp, som kan tilpasses et gridsystem for bygget. Prinsippet er vist i figur 26.



Figur 28: Eksempel på modulært forenklet basisventilasjon. Ribben består av en trebjelke med en høyde på 300 mm, og oppå denne en betongplate med en tykkelse på 80 mm. Dette gir en samlet tykkelse på dekkekonstruksjonen på 380 mm. Mellomrommet mellom ribbene brukes til føringer for de tekniske systemene; lys, varme og kjøling. Ventilasjonen kunne i prinsippet også vært integrert som for prinsippet for Life Cycle Tower 1 i Dornbirn i Vorarlberg, vist på de to nederste bildene. Prinsippet bygger på en tre-, betong-, kompositt- ribbekonstruksjon, med et fritt spenn på opptil 9,45 m. I Life Cycle Tower er det valgt innblåsing fra midten av bygget. Føringer for data og elektrisitet til arbeidsplasser er plassert i datagulv med høyde på 150 mm. Samlet gir dette en byggehøyde for konstruksjon og tekniske føringer på ca 530 mm. Dette gir muligheter for romslig himlingshøyde. Kombinasjonen av tre og betong forener de beste egenskaper for begge materialene; lavt klimagassutslipp for bærekonstruksjon i tre og høy termisk varmelagring i betong.

## 8. Forenklede løsninger for fleksibelt oppvarmingssystem

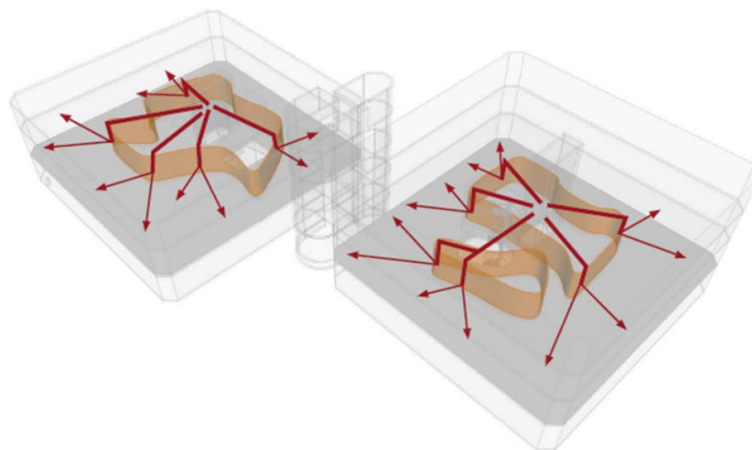
**Forenklet vannbåren oppvarming i kombinasjon med elektriske panelovner i særlig utsatte rom, er et system som oppfyller krav til fleksible energiløsninger på en kostnadsoptimal måte. Kombinert med en energiforsyning med lavt klimagassutslipp kan løsningen gi et svært lavt klimagassutslipp fra energibruk til oppvarming av bygget.**

Stadig bedre isolerte bygg har endret forutsetningene for oppvarming av bygg. Spørsmålet er om man samtidig har hentet ut gevinsten av det reduserte oppvarmingsbehovet? Er gevinsten av dette tatt med i valg og design av byggets tekniske løsninger? Det er nødvendig for å bygge kostnadsoptimalt.

Forenkling av byggets oppvarmingssystem var og er en grunnleggende prinsipp for design av passivhus i Tyskland. Her blir en del av ekstrakostnaden for økt isolasjon dekket opp av redusert kostnad til byggets oppvarmingssystem. Skal vi bygge på en kostnadseffektiv måte, krever det at vi revurderer kravene til tekniske systemer og ser på om det finnes nye veier til målet. Powerhouse Kjørbo og andre prosjekter (GK huset m.fl.) er eksempler på bygg der man har vurdert og valgt oppvarmingssystemet i denne nye konteksten.

Tradisjonelt var radiatorer plassert under hvert vindu for å redusere kaldras fra vinduene, for å redusere trekk fra utettheter i klimaskallet og for å kompensere stråling fra den kalde ytterveggen. I nye bygg med energieffektive vinduer og yttervegger med lav U-verdi og svært god tetthet er dette ikke lenger et designkrav. Samtidig har godt isolerte bygg svært lite behov for oppvarming. For mange bygningstyper kan oppvarmingsbehovet i brukstiden dekkes av byggets internvarme.

Funksjonskravet til varmesystemet er derfor i de fleste bygg redusert til å holde en tilfredsstillende minimumstemperatur utenom byggets driftstid. Dette åpner for en forenkling av oppvarmingssystemet.



Figur 29: Powerhouse-prosjektet på Kjørbo er designet med et forenklet oppvarmingssystem. Vannbåren varme er lagt i kjerner i bygget. Tekniske føringer ligger i et "skjørt" midt i bygget, som også er en viktig del av formspråket. Dette gir et svært forenklet kursopplegg, færre men litt større radiatorer, og samlet sett en lavere investeringskostnad. I åpent landskap tilføres varmen direkte til rommet og i cellekontorer gjennom dør mellom kontor og åpent landskap/gang. Energiflyten gjennom den åpne døren er tilstrekkelig til å dekke cellekontorets oppvarmingsbehov utenom driftstid. I tillegg er Powerhouse designet med eksponerte himlinger for temperaturlagring. På den måten reduseres både effektbehov og oppvarmingsbehov utenom driftstiden. Illustrasjon, Snøhetta

Forenklete oppvarmingssystemer er et effektivt alternativ til prinsippet fra 2226, hvor belysning utgjør en nødvendig varmekilde. Det forenklete systemet tilfredsstiller krav til fleksibel energiforsyning og vil gi svært lavt energibruk og CO<sub>2</sub>-utslipp.

Forenklete oppvarmingssystemet kan designes med 80 – 90 % dekning av oppvarmingsbehovet med en fleksibel energiforsyning (vannbåren varme).

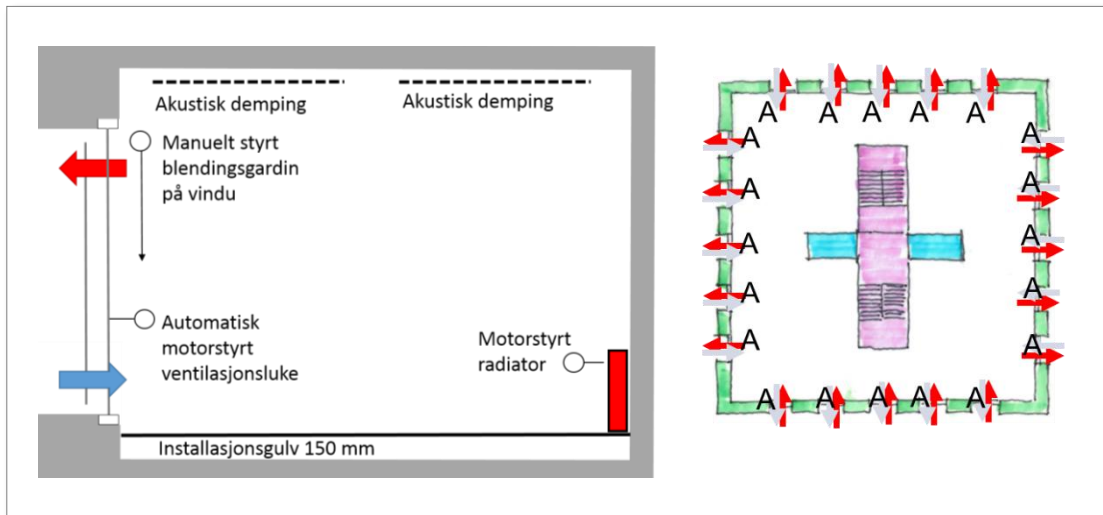
## 9. Ulike grader av forenkling - eksempler

Avsnittene under beskriver en rekke muligheter for forenkling av ventilasjon og oppvarming i kontorbygg.

Videre beskrives fire prinsipper for forenkling av tekniske systemer for et kontorbygg. Alternativene spenner fra full naturlig ventilasjon, via hybrid ventilasjon til et avansert balansert mekanisk VAV-ventilasjon med luftoppvarming. Vedlegg 1 har en systematisk sammenligning av de fire alternativene.

## 9.1 Alternativ 1 - naturlig ventilasjon

Prinsippet bygger på 2226-bygget i Lustenau, som er beskrevet i avsnitt 4. Alternativ 1 har naturlig ventilasjon, men som alternativ til bruk av ineffektiv belysning som oppvarming, er det valgt et effektivt belysningssystem, i kombinasjon med et forenklet fleksibelt vannbårent oppvarmingssystem.

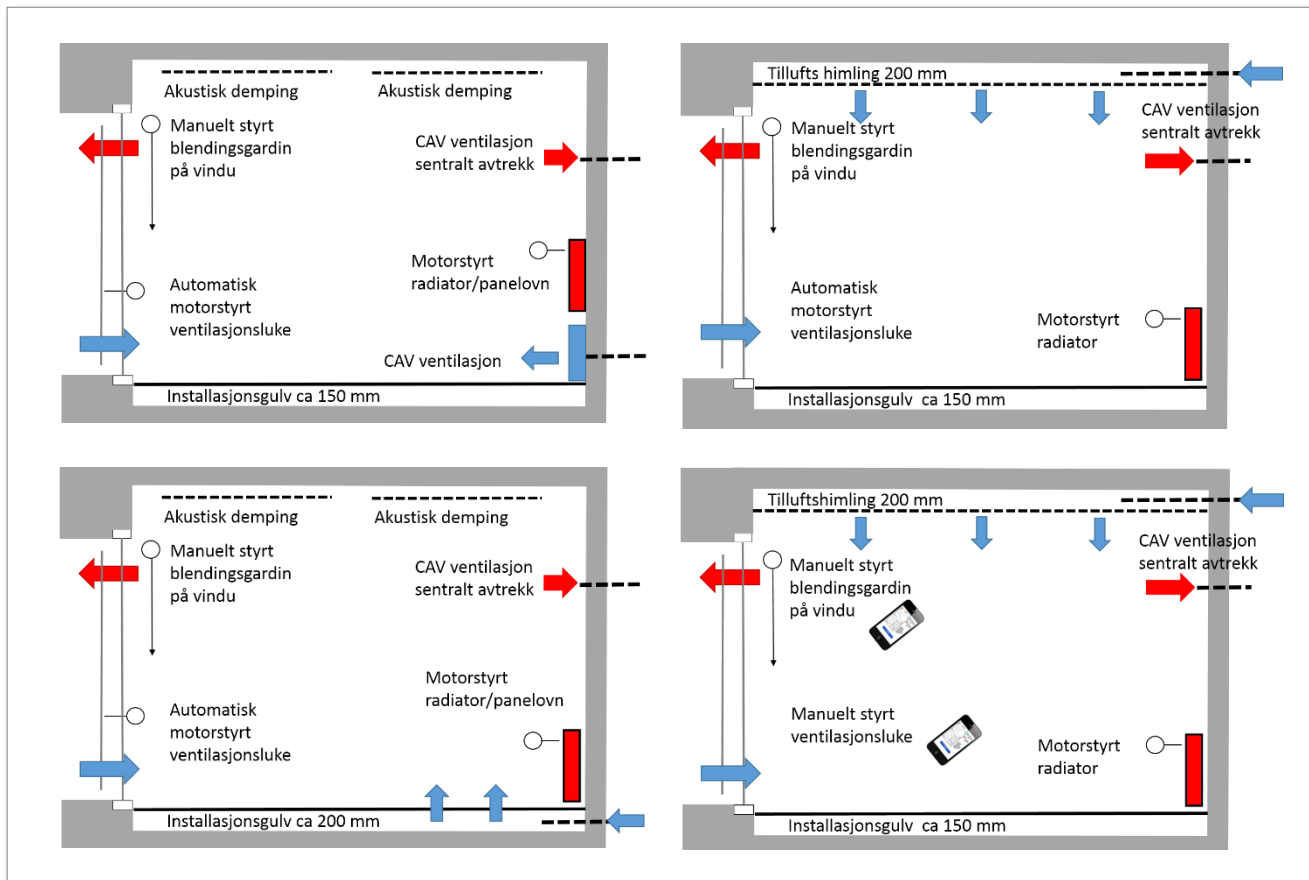


## 9.2 Alternativ 2 og 3 - hybrid ventilasjon med ulike andeler balansert mekanisk ventilasjon

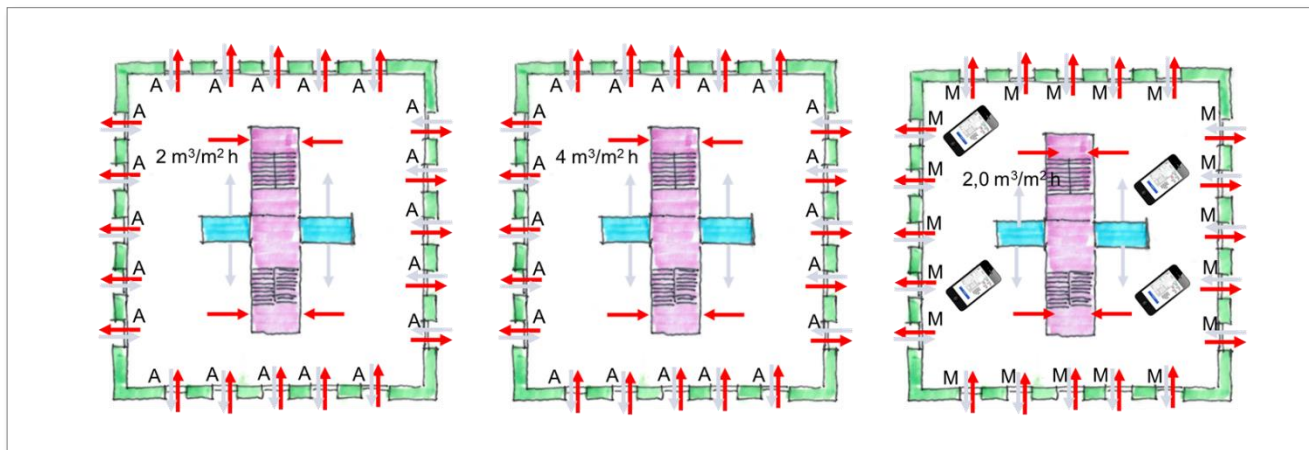
Alternativ 2 og 3 har hybrid ventilasjon, som kombinerer naturlig vinduslufting med balansert mekanisk ventilasjon. Andelen av balansert mekanisk ventilasjon varierer i de to alternativene. I alternativ 2 er den mekaniske andelen ca. 30% av vanlig gjennomsnittlig luftmengde ( $2\text{m}^3/\text{m}^2\text{ h}$ ) og i alternativ 3 er den mekaniske andelen ca. 60% ( $4\text{m}^3/\text{m}^2\text{ h}$ ).

Den balanserte mekaniske ventilasjonen utføres som en lowtech-løsning etter prinsippene beskrevet i tidligere avsnitt. Tilluft kan være gjennom gulv (Under Floor System), fortregningsventilasjon fra sentrale kjerner i bygget eller lavimpuls ventilasjon gjennom himling.





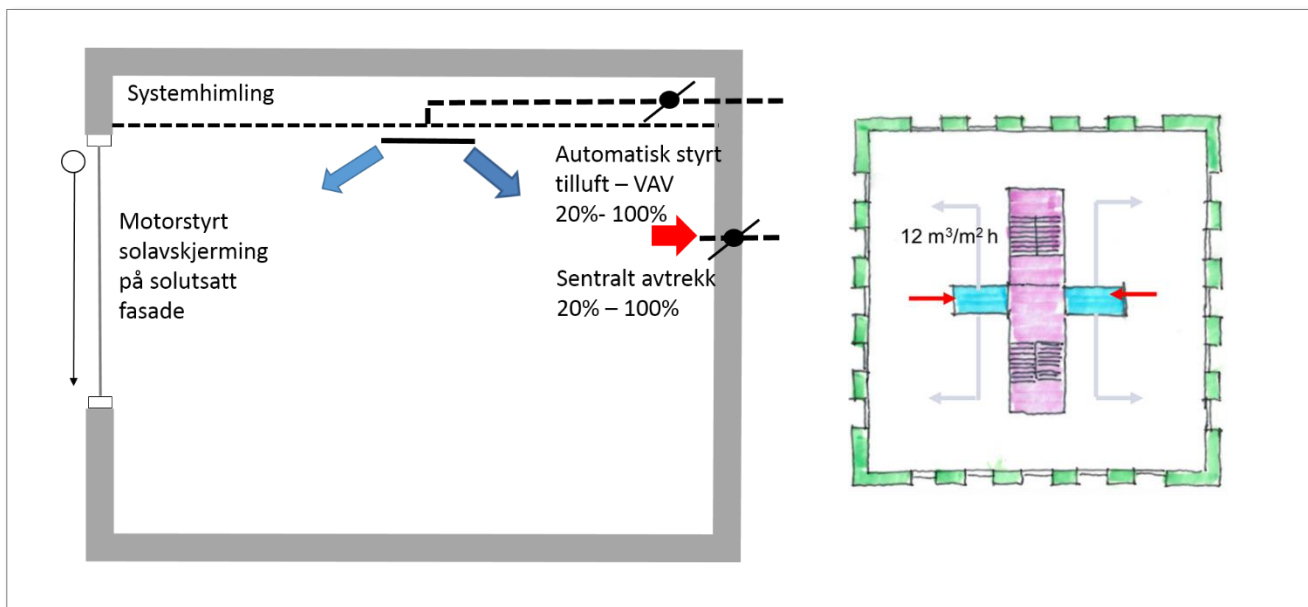
Figur 30: Fire ulike prinsipper for forenklet ventilasjon. Øverst til venstre fortreningsventilasjon fra byggets kjerne, øverst til høyre passiv tilluft gjennom himling, og nederst til venstre UFD (Under Floor System). Nederst til høyre kombineres balansert mekanisk ventilasjon med manuell brukerstyrt ventilasjon ved hjelp av en «app».



Figur 31: Tre ulike prinsipper for forenklet hybrid ventilasjon. Fra venstre hybrid ventilasjon med basisventilasjon (2 eller 4 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> h) og automatiserte vinduer. Til høyre hybrid ventilasjon med basisventilasjon kombinert med manuell brukerstyrt vindu. Brukerstyring kan være basert på temperatur- og CO<sub>2</sub> måling i rom, med forbindelse til brukere via Cloud-løsning og telefon eller skjerm. Løsning med manuell brukerstyring gir maksimal forenkling, men vil også redusere mulighetene for nattekjøling av bygget med naturlig vinduslufting.

### 9.3 Alternativ 4 - Balansert mekanisk ventilasjon med luftpoppvarming

Alternativ 4 er balansert mekanisk ventilasjon med VAV-styring av tilluft og avtrekk. Tilluftsventiler er dynamiske og det gir et høyt reguleringsområde for tilluft på 20 – 100%. Systemet brukes både til komfortventilasjon, kjøling og oppvarming. Tilluft og avtrekkskanaler tilrettelegges som tradisjonelt system med tilluftskanaler og ventiler i himling, og sentral avtrekk i byggets kjerne. Systemet har sentral kjøling. Det er utvendig automatisk solskjerming. Samlet representerer alternativ 4 et alternativ som i det norske marked per i dag regnes å være en svært energieffektiv løsning med god fleksibilitet. Alternativ 4 gir en forenkling gjennom bruk av ventilasjonssystemet til oppvarming og tradisjonell vannbåren varme kan derfor unngås. Prinsippet er beskrevet detaljert i (Christensen, 2012), (Sintef, 2015).



Figur 32: Alternativ 4, balansert mekanisk VAV-ventilasjon med sentral kjøling. Luftmengder varieres modulerende mellom 2,5 og 12 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> h.

## 10. Hvordan oppnå et godt inneklima

Brukerens bedømmelse av om inneklimaet er tilfredsstillende, avhenger av en rekke faktorer. Noen faktorer er målbare, mens andre er vanskelige å måle. Vanlige målbare indikatorer for objektiv bedømmelse av inneklima er opplevd innetemperatur (operativ temperatur), opplevd luftkvalitet (CO<sub>2</sub>), graden av lokalt ubehag fra sol, trekk, for høy temperaturforskjell mellom ben og hode, lufthastighet og akustikk (rommets etterklangstid).

Erfaring og forskning viser også at brukere i bygg med aktiv brukerkontroll generelt aksepterer større variasjoner i inneklimaet og fremdeles er fornøyd.

## 10.1 Tilfredsstillende innetemperatur sommer og vinter

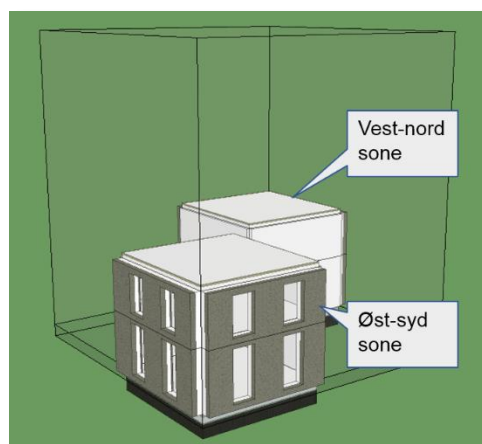
**Forenklet ventilasjonssystem med naturlig ventilasjon kan gi tilfredsstillende termisk inneklime i vanlige kontorer med møbleringstetthet ned til ca. 8 m<sup>2</sup> per person og for møterom ned til ca. 5 m<sup>2</sup> per person. Ved tettere møblering i tilknytning til møterom, eller ved krav til kjøling av høye interne belastninger, vil naturlig ventilasjon alene ikke gi tilfredsstillende inneklime. Kombineres naturlig ventilasjon med forenklet balansert ventilasjon (med konstant luftmengde) oppnås en fleksibilitet på nivå med vanlige ventilasjonsprinsipper.**

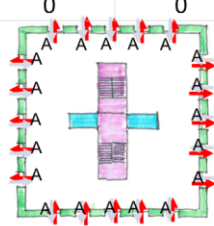
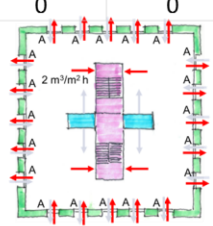
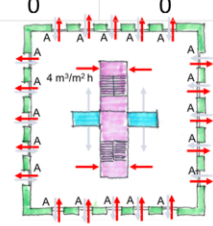
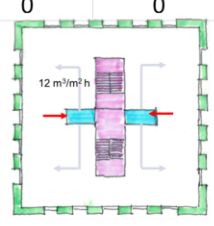
Tradisjonelt sett legges det opp til tekniske systemer for oppvarming om vinteren og kjøling på sommeren. Kan bygget tilfredsstillende komfortable innetemperaturer uten disse tekniske systemene? Simuleringer viser at dette er mulig med gitte forutsetninger. Med vanlige interne belastninger; PC på 100W per person, en person pr. 8-10 m<sup>2</sup> og konstant tilstedeværelse fra kl. 07.00 – 17.00, kan det oppnås et tilfredsstillende inneklime med forenklet ventilasjon, enten med naturlig eller hybrid løsning. Mange kontorarbeidsplasser tilsvarer dette bruksmønsteret. Ofte er ikke alle på kontoret samtidig og da kan det oppnås et tilfredsstillende inneklime med en møbleringstetthet ned til ca. 8 m<sup>2</sup>/person.

Møterom har vanligvis større persontetthet, ned mot 1 person pr 2 m<sup>2</sup>. Er rommet i bruk kontinuerlig er det vanskelig å nå tilfredsstillende inneklime gjennom en hel arbeidsdag med kun naturlig ventilasjon. For møterom med deltakere med nettbrett kan akseptabelt inneklime oppnås med en persontetthet ned til ca 5 m<sup>2</sup>/person, mens høyere persontetthet er vanskelig.

Velges en hybrid løsning vil det være mulig å kombinere denne med kjøling av tilluft (fra brønner eller tradisjonelt kjøleanlegg), og da vil det kunne nås en kapasitet som tilfredsstillende krav til møterom eller rom med mer konstant tett møblering.

Som del av prosjektet er det gjennomført simuleringer av termisk inneklime i bygg med forenklet design. Modell for simuleringer er vist under. Simuleringen er gjennomført for fire ulike ventilasjonstrategier, basert på prinsippene naturlig ventilasjon, hybrid ventilasjon og balansert mekanisk ventilasjon. Parallelt er det gjennomført supplerende beregninger med samme simuleringmodell i (Quist & Molzen, 2016).



Alle alternativene - inneklima									
Resultater for modeller med 1 person pr. 10 m <sup>2</sup>									
	Alternativ 1		Alternativ 2		Alternativ 3		Alternativ 4		
	Naturlig ventilasjon		Hybrid ventilasjon		Hybrid ventilasjon		Balansert mekanisk vent.		
			(CAV 2 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h mek. ventilasjon)		(CAV 4 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h mek. ventilasjon)		(VAV 2,5-12 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h mek. ventilasjon)		
Maks operativ temperatur	26,8	27,1	26,8	27	26,6	26,8	24,7	24,8	
Antall timer operativ temperatur over 26 °C	5	16	5	15	4	10	0	0	
Antall timer operativ temperatur over 27 °C	0	0	0	0	0	0	0	0	
Alle alternativene - inneklima									
Resultater for modeller med 1 person pr. 20 m <sup>2</sup>									
	Alternativ 1		Alternativ 2		Alternativ 3		Alternativ 4		
	Naturlig ventilasjon		Hybrid ventilasjon		Hybrid ventilasjon		Balansert mekanisk vent.		
			(CAV 2 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h mek. ventilasjon)		(CAV 4 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h mek. ventilasjon)		(VAV 2,5-12 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h mek. ventilasjon)		
Maks operativ temperatur	25,3	25,6	25,2	25,4	25,2	25,4	24,5	24,6	
Antall timer operativ temperatur over 26 °C	0	0	0	0	0	0	0	0	
Antall timer operativ temperatur over 27 °C	0	0	0	0	0	0	0	0	
									

Tabell 10.1. Simuleringene av termisk inneklima for ulike ventilasjonsstrategier. Sentrale forutsetninger er brukstid 07.00-17.00 med 100 % samtidighet, 1 person pr 10/20 m<sup>2</sup>, PC og utstyr 100 W/person, belysning 5 W/m<sup>2</sup>. Operativ temperatur er vist for øst/sør orientert (venstre kolonne) og vest/nord orientert kontor (høyre kolonne)

Resultater over viser at det kan oppnås tilfredsstillende termisk inneklima med en persontetthet på 1 person pr 10/20 m<sup>2</sup>, med interne laster fra PC og lignende på 100W per person og energieffektiv belysning med effektforbruk på 5W/m<sup>2</sup>. I (Quist & Molzen, 2016) og (Dagsland Halderaker, 2015) er det gjennomført simuleringer med alternative interne belastninger. Simuleringer er gjennomført med identisk simuleringsmodell som vist over. Resultater viser at akseptabelt inneklima<sup>2</sup> kan opprettholdes med interne belastninger opp til 30 W/m<sup>2</sup> (sum av «varme» fra belysning, PC og personer).

## 10.2 Luftkvalitet, lokalt klima, trekk og lufthastigheter

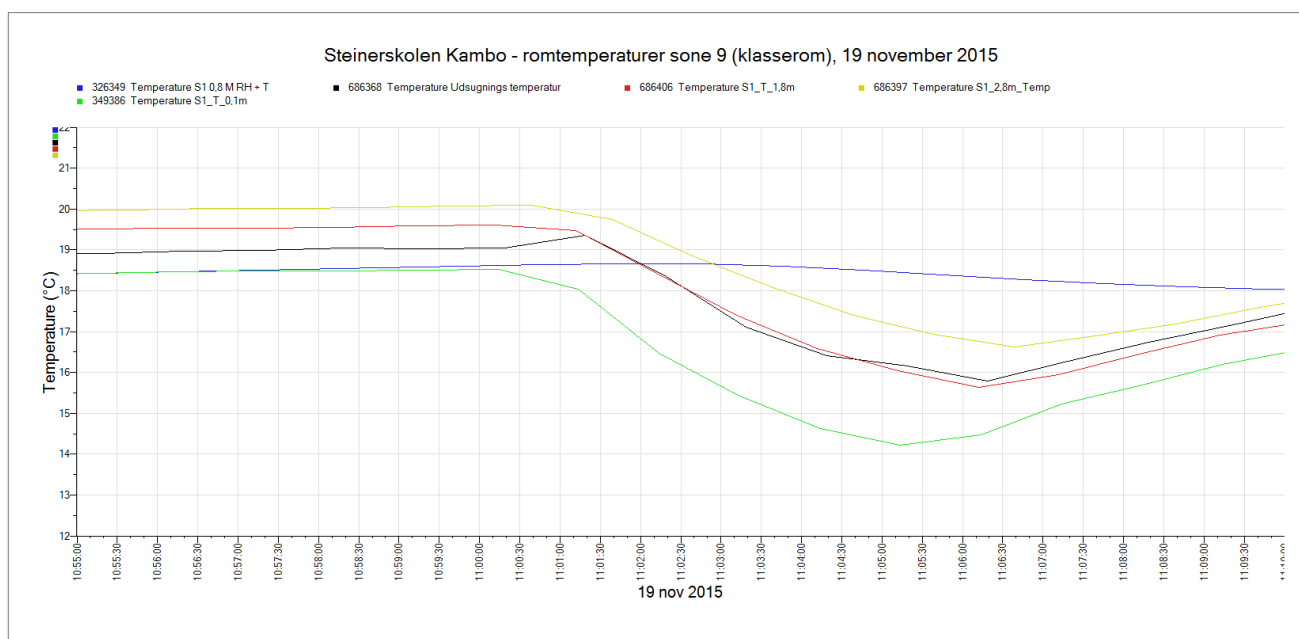
Luftkvaliteten til inneluften angis vanligvis som luftens innhold av CO<sub>2</sub>. En vanlig anvendt grense er en CO<sub>2</sub>-konsentrasjon på 1000 ppm (part per million) for å sikre god luftkvalitet. For å holde seg under 1000 ppm må det ventileres med 26 m<sup>3</sup>/h person som minimum året rundt.

<sup>2)</sup> Akseptabelt inneklima er maksimalt 50 timer over 26°C i et vanlig år

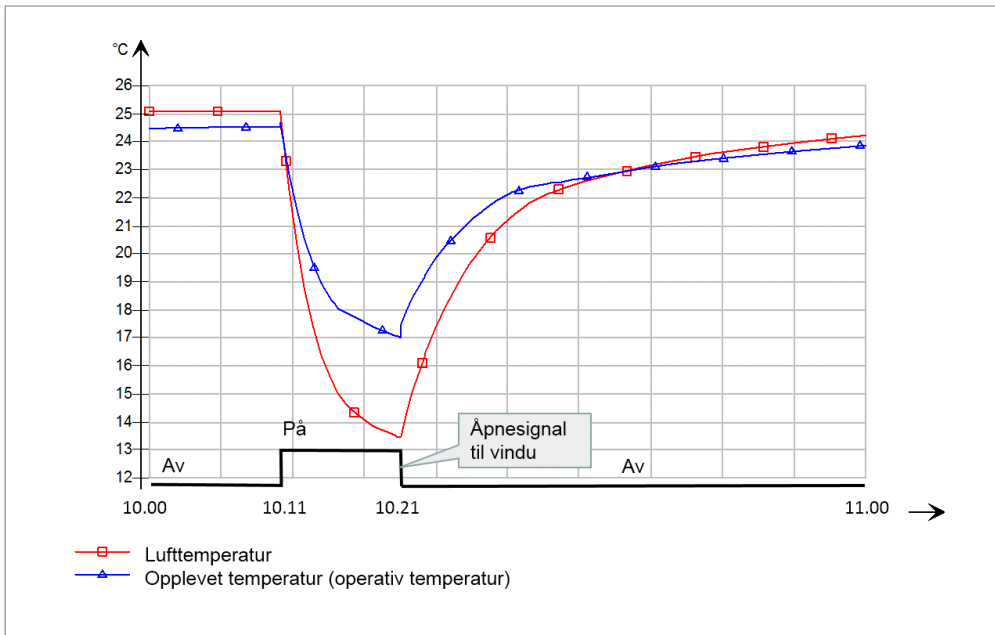
Den sentrale utfordringen med denne minimums-luftutskiftningen er vanligvis ikke kapasiteten på naturlig ventilasjon. Utfordringen er å ventilere i kalde vinterperioder uten å skape trekk for brukerne. I naturlig ventilerte bygg er ubehag i forbindelse med lufting vanskelig å unngå i kalde vinterperioder, og luftingen skjer derfor vanligvis som sjokklufting i korte intervaller, vanligvis 2-4 min. Det nødvendige antallet luftimeintervaller avhenger av:

- Antall brukere i lokalet, flere brukere øker krav til lufting og antall luftimeintervaller.
- Basisventilasjon fra vindu på gløtt eller alternativt fra balansert mekanisk ventilasjon i hybrid ventilerte bygg.
- Muligheten for å bufre forurensninger i det øvre sjiktet av rommet, for å oppnå en mer effektiv utlufting og redusere antall luftimeintervaller. Større himlingshøyde vil trolig øke sjiktningen noe. Uansett vil en øking av himlingshøyden redusere luftimeintervaller som følge av økt romvolum.

I 2226 luftes det tre ganger om dagen, men det er usikkert om det er tilstrekkelig for alle brukere. Videre forutsetter det at luften lagdeles med høyere forurensninger oppe i rommet enn nede i rommet.



Figur 33: Temperaturmålinger i klasserom på Steinerskolen på Kambo. Man ser at lufttemperaturen faller 4-5°C når det luftes med vinduene. Med en utgangstemperatur på ca. 18-20°C, gir det en minimumstemperatur på 14-16°C i forbindelse med luftingen. Hvis luftingen skjer med personer i rommet vil de føle trekk fra luften med den lave temperaturen. Sjokkluftinger i kalde perioder må derfor gjøres i pauser hvor rommet ikke er i bruk, eller det må være rutiner på hva brukeren gjør når det luftes.

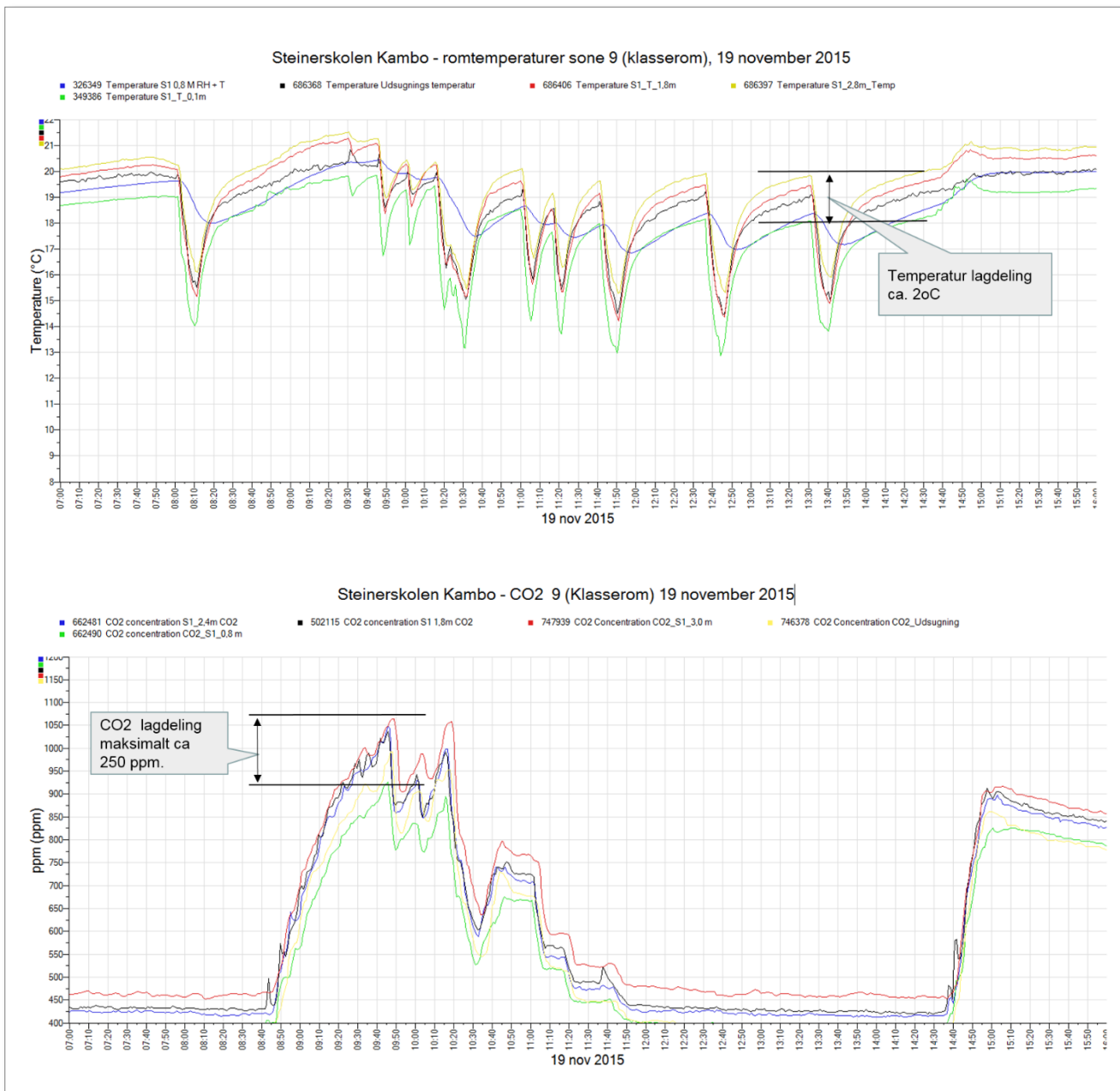


Figur 34: Simulering av romtemperatur i forbindelse med lufting på 10 min en kald vinterdag med utetemperatur på  $-10^{\circ}\text{C}$ . Med en utgangstemperatur på luften på  $24\text{-}25^{\circ}\text{C}$ , vil lufttemperaturen ved lufting falle ned til  $13\text{-}14^{\circ}\text{C}$ . Alternativt kan det gjøres kortere pulsluftinger på 2-4 minutter, for å sikre at temperaturen ikke faller under  $19\text{-}20^{\circ}\text{C}$ .



Figur 35: Steinerskolen på Kambo. Bygget er naturlig ventilert.



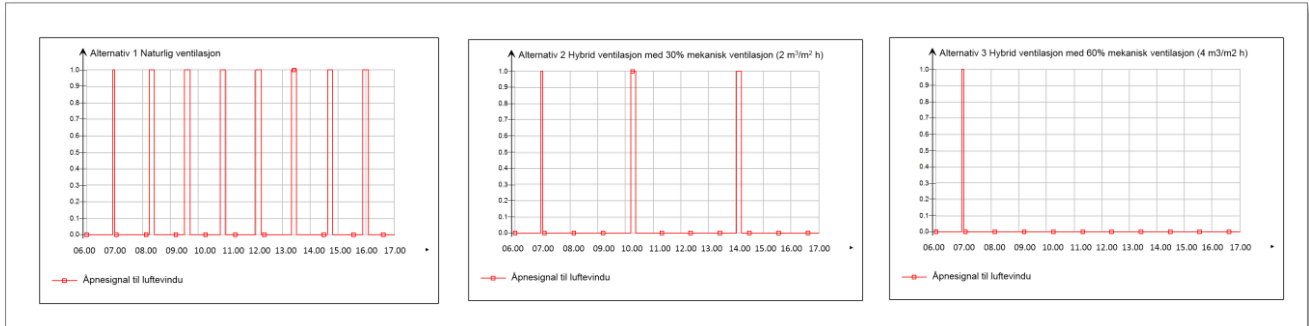


Figur 36: Målinger fra Steinerskolen på Kambo høst og vinter 2015. Målingen er gjennomført i klasselokale med elever. Lokalet er naturlig ventilert og ventileres med pulsventilasjon i pauser. Pulsintervallene kan avleses av grafene (fall i temperatur og CO<sub>2</sub>-nivå). Romhøyde i klasserom er 3,0 m og det er målt temperaturer fra gulv til himling og CO<sub>2</sub>-nivå fra 0,8 m til himling. Man ser at det skapes noe lagdeling mellom oppholdssonen og himlingen. For temperaturen er denne lagdelingen på ca. 2°C og for CO<sub>2</sub> på 100–250 ppm. Målingene viser at det trolig kan oppnås noe lagdeling, men ikke av en størrelse som det er forutsatt i 2226-bygget i Lustenau.

For naturlig ventilerte bygg må det legges til grunn at luftimeintervaller skjer med en frekvens ned til 1 time (maksimalt 8 luftinger på en arbeidsdag) for å opprettholde et CO<sub>2</sub>-nivå lavere enn 1000 ppm. Med noe basisventilasjon kan antall luftimeintervaller reduseres. En vanlig løsning er at vinduene åpnes på gløtt, men denne løsningen garanterer ikke at det ikke oppstår trekk.



Velges en hybrid ventilasjonsløsning vil problemet med luftning reduseres. I en hybrid ventilert bygning dekker et balansert mekanisk ventilasjonssystem brukerens friskluft-behov. Behov for tilleggslufting med vindu reduseres til perioder med varmeoverskudd i bygget og til perioder med høye utetemperaturer.

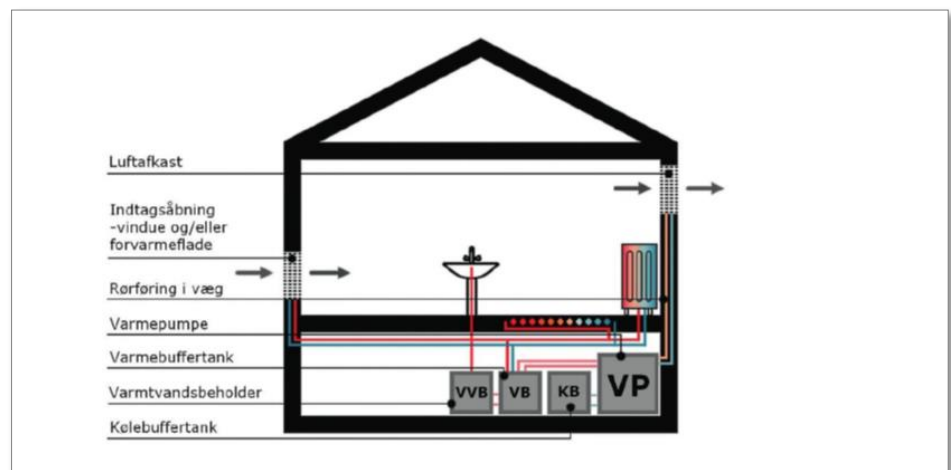


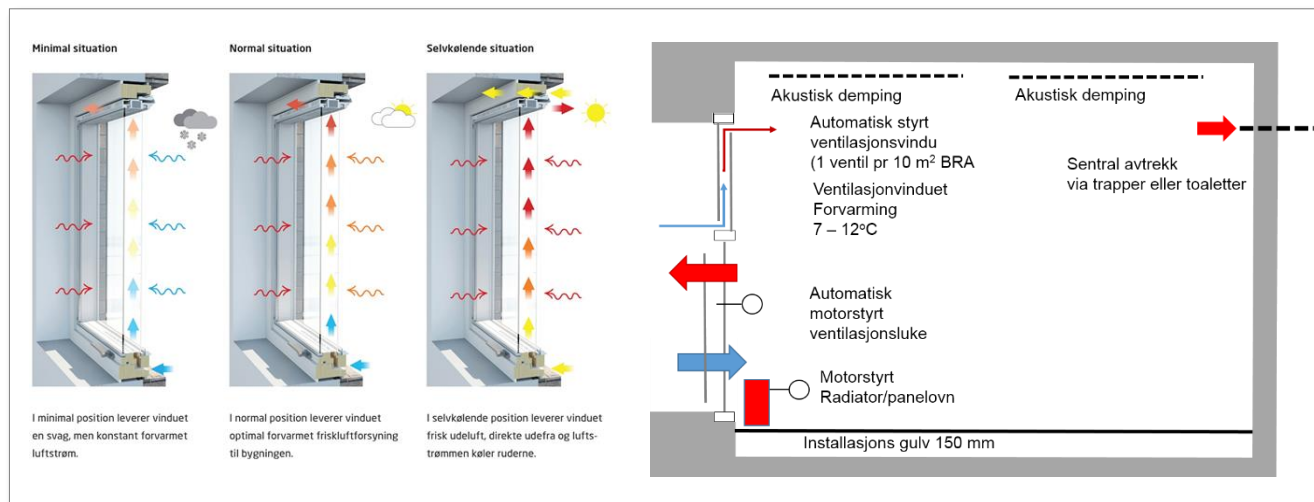
Figur 37: Simulert antall lufteintervaller på en vanlig arbeidsdag med tre ulike ventilasjonsstrategier. Fra venstre alternativ med naturlig ventilasjon, alternativ 2 hybrid ventilasjon med basis ventilasjon  $2\text{ m}^3/\text{m}^2\text{ h}$ , og alternativ 3 hybrid ventilasjon med basisventilasjon  $4\text{ m}^3/\text{m}^2\text{ h}$ . Simuleringer for kontor med 1 person pr  $10\text{ m}^2$  og av/på styring etter  $\text{CO}_2$ -nivå i rommet med innstillingsverdi  $1000\text{ ppm} \pm 300\text{ ppm}$ . Med lavere verdi for dødbånd fra 300 til  $100\text{ ppm}$ , blir lufteintervallene bli kortere, men hyppigere.

Hvis det ikke gjennomføres tiltak for reduksjon av ubehag ved lufting, kreves det at utluf-ting i størst mulig grad plasseres i naturlige pauser, og at det utarbeides prosedyrer som beskriver hva brukerne skal gjøre i forbindelse med lufting.

Alternative løsninger er å forvarme basisventilasjonen gjennom en dobbeltfasade, med varmelementer i fasaden eller ved å ta luften inn gjennom glasset i vinduene. Eksempler på prinsipper er vist i figurer under.

Figur 38: Forvarming av luft gjennom konvektorer i fasaden. Systemet overfører energi fra avtrekksluften til oppvarmings-enheter i fasaden via et varme-pumpesystem. Systemet kan trolig ikke karakteriseres som forenkling.





Figur 39: Et passivt prinsipp er ventilasjonsvinduet. Der forvarmes luften mellom indre og ytre glasslag før luften blåses inn i rommet. Luften forvarmes mellom 8 og 10°C, men vil da fremdeles i kalde perioder ha tilluftstemperatur som gir risiko for trekk. For å sikre tilfredsstillende lokalt inneklima må systemet designes med radiatorer under vinduene. Med dette oppnås en relativ enkel basisventilasjon. Radiatorsystemet må da utføres som tradisjonelt system med radiatorer under alle vindu som har tilluft.

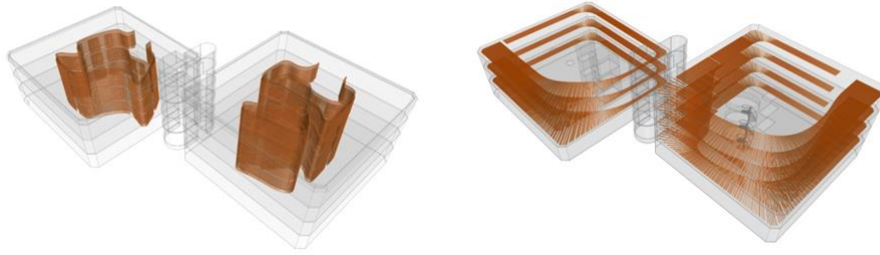
### 10.3 Akustikk

**Eksponering av tunge konstruksjoner er avgjørende for å nå tilfredsstillende inneklima med forenklet ventilasjon. Prosjekter med forenklet ventilasjon må derfor utvikle løsninger som sikrer tilfredsstillende romakustikk. Krav til akustisk ytelse vil være en utfordring, og det bør være et sentral tema som bearbeides i hvert enkelt prosjekt for å sikre at forskriftskravene nås.**

En passiv bygning med et minimum av varmeinstallasjoner og uten mekanisk kjøling, er helt avhengig av varme- og kuldelagring i termisk masse. Den termiske massen må være eksponert, og dette kan ikke kombineres med tradisjonell systemhimling som er en vanlig løsning i byggeprosjekter. Prosjekter med forenklet ventilasjon må derfor utvikle løsninger som sikrer tilfredsstillende romakustikk samtidig med at det oppnås termisk lagring i tunge bygningsdeler.

TEK krever minimum lydklasse C, slik det er definert i standarden NS 8175: 2012. For å oppnå et tilstrekkelig godt akustisk miljø, må alternative akustiske løsninger benyttes. Eksempler på alternative akustiske løsninger er; lydbaffler hengende fra taket eller på veggene, innblåsingshimling, senkede akustiske paneler eller interiørløsninger som bokhyller, gardiner, tepper og utvidet bruk av akustiske materialer i møbler.

Bruk av naturlig ventilasjon med åpningsbare vinduer i fasaden krever også en vurdering av risiko for støy utenfra.



Figur 40: Powerhouse Kjørbo. Akustisk demping er oppnådd med baffler opphengt i dekkekonstruksjonen. Illustrasjon Snøhetta



Figur 41: Eksempler på akustisk regulering som forener krav til termisk aktivering og akustisk demping. Øverst til venstre, bokreoler og vegger mellom arbeidsplasser (B&O bygget Struer Danmark), øverst til høyre akustiske absorbenter på inventar (Life Cycle Tower 1 i Dornbirn i Voralberg) og nederst nedhengte flåter fra diverse prosjekter.

## 11. Hvordan oppnå lav energibruk

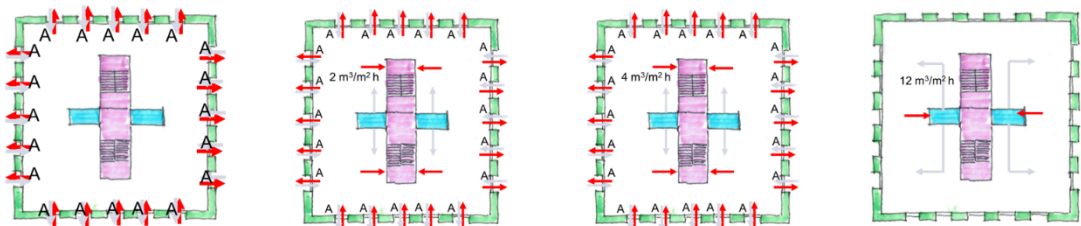
**Forenklete tekniske systemer har potensial for å gi lav energibruk i reell drift. Beregninger viser at bygg med forenklet design har energibruk på nivå med bygg med mer avanserte tekniske systemer. Bygg med naturlig ventilasjon samsvarer ikke med energikravene i dagens TEK, men bygg med hybrid ventilasjon kan oppnå samsvar med energikravene i TEK.**

Som en del av Grønn Byggallianse sitt forenklingsprosjekt er det gjort beregninger av fire ulike ventilasjonsstrategier for et kontorbygg. Beregningsmodellen er beskrevet detaljert i (Dagsland Halderaker, 2015) (Quist & Molzen, 2016).

Beregningen med prosjektets forutsetninger viser at bygg med forenklete tekniske systemer har potensial for å nå energibruk på nivå med bygg med mer avanserte tekniske systemer.

Alle alternativer - Energibruk simulert med prosjekt forutsetninger og beregnet etter NS 3031								
Resultater for modeller med 1 person pr. 10 m <sup>2</sup>								
Energipost	Alternativ 1		Alternativ 2		Alternativ 3		Alternativ 4	
	Naturlig ventilasjon		Hybrid ventilasjon		Hybrid ventilasjon		Balansert mekanisk vent.	
			(CAV 2 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h mek. ventilasjon)		(CAV 4 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h mek. ventilasjon)		(VAV 2,5-12 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h mek. ventilasjon)	
	Energibruk beregnet med prosjekt forutsetninger	Energibruk beregnet med norske energiregler	Energibruk beregnet med prosjekt forutsetninger	Energibruk beregnet med norske energiregler	Energibruk beregnet med prosjekt forutsetninger	Energibruk beregnet med norske energiregler	Energibruk beregnet med prosjekt forutsetninger	Energibruk beregnet med norske energiregler
	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>
1a Romoppvarming	17,0	104,4	6,1	46,6	4,5	27,6	1,0	0,0
1b Ventilasjonsvarme	0,0	0,0	0,5	4,9	0,3	5,0	1,4	3,2
2 Varmtvann (tappevann)	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
3a Vifter	0,0	0,0	1,4	3,9	2,8	4,2	10,6	9,5
3b Pumper	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5	0,5
4 Belysning	9,8	15,7	9,8	15,7	9,8	15,7	13,2	15,7
5 Teknisk utstyr	31,1	34,0	31,1	34,0	31,1	34,0	31,1	34,0
6 kjøling	0,0		0,0		0,0		3,9	3,9
<b>Totalt netto energibehov</b>	<b>64</b>	<b>160</b>	<b>55</b>	<b>111</b>	<b>55</b>	<b>93</b>	<b>67</b>	<b>72</b>
<b>Krav TEK</b>		<b>115</b>		<b>115</b>		<b>115</b>		<b>115</b>

Alle alternativer - Energibruk simulert med prosjekt forutsetninger og beregnet etter NS 3031								
Resultater for modeller med 1 person pr. 20 m <sup>2</sup>								
Energipost	Alternativ 1		Alternativ 2		Alternativ 3		Alternativ 4	
	Naturlig ventilasjon		Hybrid ventilasjon		Hybrid ventilasjon		Balansert mekanisk vent.	
			(CAV 2 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h mek. ventilasjon)		(CAV 4 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h mek. ventilasjon)		(VAV 2,5-12 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h mek. ventilasjon)	
	Energibruk beregnet med prosjekt forutsetninger	Energibruk beregnet med norske energiregler	Energibruk beregnet med prosjekt forutsetninger	Energibruk beregnet med norske energiregler	Energibruk beregnet med prosjekt forutsetninger	Energibruk beregnet med norske energiregler	Energibruk beregnet med prosjekt forutsetninger	Energibruk beregnet med norske energiregler
	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>
1a Romoppvarming	14,9	104,4	6,9	46,6	7,5	27,6	3,4	0,0
1b Ventilasjonsvarme	0,0	0,0	0,5	4,9	1,4	5,0	0,6	3,2
2 Varmtvann (tappevann)	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
3a Vifter	0,0	0,0	1,4	3,9	2,8	4,2	6,1	9,5
3b Pumper	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5	0,5
4 Belysning	9,8	15,7	9,8	15,7	9,8	15,7	13,2	15,7
5 Teknisk utstyr	15,6	34,0	15,6	34,0	15,6	34,0	15,6	34,0
6 kjøling							2,5	3,9
<b>Totalt netto energibehov</b>	<b>46</b>	<b>160</b>	<b>40</b>	<b>111</b>	<b>43</b>	<b>93</b>	<b>47</b>	<b>72</b>
<b>Krav TEK</b>		<b>115</b>		<b>115</b>		<b>115</b>		<b>115</b>



Tabell 11.1. Beregnet årlig energiforbruk for ulike ventilasjonsstrategier. Sentrale forutsetninger er brukstid 07.00-17.00 med 100 % samtidighet, 1 person pr 10 m<sup>2</sup> (øverst) og 20 m<sup>2</sup> (nederst), PC og utstyr 100 W/person, belysning 5 W/m<sup>2</sup>. NS 3031 beregninger er gjort med forutsetninger gitt i standarden, som samsvarer med krav i norske energiregler.

## 12. Hvordan oppnå lav LCC-kostnad

Forenklete tekniske systemer har potensial for å nå lav LCC kostnad. Beregninger med prosjektforutsetninger viser at bygg med forenklet design har lavere LCC-kostnad og årskostnad i et 60 års perspektiv enn en avansert teknisk løsning.

Som en del av Grønn Byggallianse sitt forenklingsprosjekt er det gjort beregning av LCC-kostnaden til fire ulike ventilasjonsstrategier for et kontorbygg. Beregningsmodellen er beskrevet i avsnitt 11.1

Sentrale forutsetninger for beregninger er (detaljert oversikt i Vedlegg 6 - Forutsetninger for LCC-beregninger):

- Kalkulasjonsrente 4 %
- BRA samlet bygg 3000 m<sup>2</sup>
- 60 soner med BRA areal på 42 m<sup>2</sup> (mørke arealer i midten av bygget ventileres med overstrømning)
- Investeringskostnad som er integrert i kalkylen:
  - automatikk inklusiv SD toppsystem
  - vindusmotorer
  - lokale sonestylinger
  - lokale stylinger på aggregater
  - balansert mekanisk ventilasjon
  - oppvarming, fleksibel vannbårent system eller panelovner

Arealkostnad for teknisk rom og ekstra bygningskostnad er ikke med i beregningene.

	Alternativ 1		Alternativ 2		Alternativ 2A		Alternativ 3		Alternativ 4	
	Naturlig ventilasjon		Hybrid ventilasjon		Hybrid ventilasjon		Hybrid ventilasjon		Balansert mekanisk vent.	
			(CAV 2 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h mek. ventilasjon)		(CAV 2 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h mek. ventilasjon)		(CAV 4 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h mek. ventilasjon)		(VAV 2,5-12 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h mek. ventilasjon)	
			(CAV 2 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h mek. ventilasjon)		(CAV 2 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h mek. ventilasjon)		(CAV 4 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h mek. ventilasjon)		(VAV 2,5-12 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h mek. ventilasjon)	
	Automatisk vindu		Automatisk vindu		Manuelt vindu		Automatisk vindu		Ingen vindus lufting	
	Vannbåren varme	El panelovner	Vannbåren varme	El panelovner	Vannbåren varme	El panelovner	Vannbåren varme	El panelovner	Vannbåren varme	Luftvarme
Samlet investeringskostnad kr. pr m <sup>2</sup>	1550	1150	1450	1250	1000	600	1740	1450	2 050	
Relativ investeringskostnad	76 %	56 %	71 %	61 %	49 %	29 %	85 %	71 %	100 %	
Samlet årskostnad kr. pr m <sup>2</sup>	125	110	135	120	90	60	155	146	225	
Relativ årskostnad	56 %	49 %	60 %	53 %	40 %	27 %	69 %	65 %	100 %	

Tabell 12 1 Sammenligning av samlet investeringskostnad og årskostnad for fire ulike alternativer, med to alternative oppvarmingssystemer.



### 13. Kompleksitet for fire alternative ventilasjonsstrategier

Som en del av Grønn Byggallianse sitt forenklingsprosjekt er det gjort beregning av kompleksiteten for ulike ventilasjonsstrategier. Beregningene bygger på prosjektspesifikke antagelser om antall automatikk-komponenter for de ulike strategiene.

Videre er det i prosjektet utarbeidet en kompleksitetsindeks for ulike automatikk-komponenter. Indeks bygger på følgende antagelser:

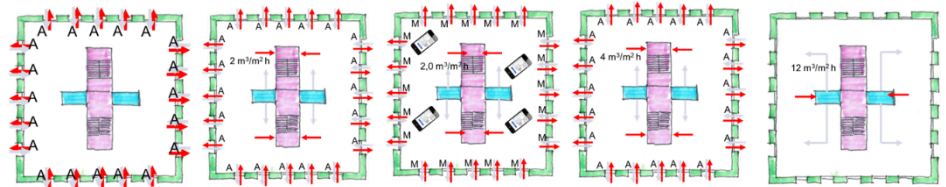
- Analoge målinger er mer komplekse enn digitale.
- Analoge styringer er mer komplekse enn digitale.
- Modulerende aktuatorer er mer komplekse enn av/på aktuatorer.
- Skjult montering gir større kompleksitet enn synlig montering.

Indekser som brukes i rapporten er vist i tabell under.

<b>"Kompleksitet" verdier</b>		
<b>Styring regulering</b>		
DI / DO	0,5	poeng
AO / AI	1	poeng
<b>Drift og vedlikehold komponenter</b>		
VAV Spjeld	2	poeng
VAV Ventil	2	poeng
AV/PÅ spjeld	1	poeng
Vindus motor	2	poeng
Skjult montering for bruker - over himling.	1	poeng
Synlig montering - visuel feilobservasjon mulig.	-1	poeng
Vifter	2	poeng
Motorventiler	2	poeng
Sirkulasjonpumper	1	poeng
Roterende gjenvinner	2	poeng
Radiator ventiler i sone	2	poeng
Solavskjerming	2	poeng

Tabell 13.1. Kompleksitet for ulike automatikk-komponenter som brukes i rapportens beregninger.

Anslag automatikk komponenter for 4 alternative ventilasjonstrategier										
"Kompleksitet"	Alternativ 1		Alternativ 2		Alternativ 2A		Alternativ 3		Alternativ 4	
	Naturlig ventilasjon		Hybrid ventilasjon (CAV 2 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h mek. ventilasjon)		Hybrid ventilasjon (CAV 2 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h mek. ventilasjon)		Hybrid ventilasjon (CAV 4 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h mek. ventilasjon)		Balansert mekanisk vent. (VAV 2.5-12 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h mek. ventilasjon)	
	Automatisk vindu		Automatisk vindu		Manuelt vindu		Automatisk vindu		Ingen vindus lufting	
	Antall	"Kompleksitet"	Antall	"Kompleksitet"	Antall	"Kompleksitet"	Antall	"Kompleksitet"	Antall	"Kompleksitet"
<b>Total antall styringspunkter</b>	<b>305</b>		<b>320</b>		<b>260</b>		<b>320</b>		<b>244</b>	
<b>Total antall aktuatorer</b>	<b>302</b>		<b>307</b>		<b>65</b>		<b>307</b>		<b>297</b>	
<b>Samlet "kompleksitet"</b>	<b>578</b>		<b>598</b>		<b>326</b>		<b>598</b>		<b>786</b>	
<b>Indeks samlet kompleksitet</b>	<b>74 %</b>		<b>76 %</b>		<b>42 %</b>		<b>76 %</b>		<b>100 %</b>	



Tabell 13.2. Kompleksitet for ulike ventilasjonsstrategier. Alternativer med automatiske vinduer har høy kompleksitet som følge av stort antall modulerende vindusmotorer. Lavest kompleksitet fås med hybrid ventilasjon med manuelt brukerstyrte vinduer (alternativ 2A)

Detaljert oversikt over antall automatikk-komponenter finnes i Vedlegg 7  
- Forutsetninger for kompleksitet beregninger.

## 14. Referanser

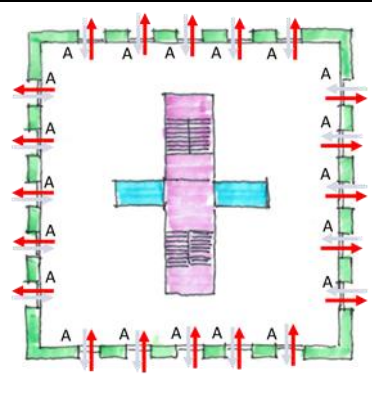
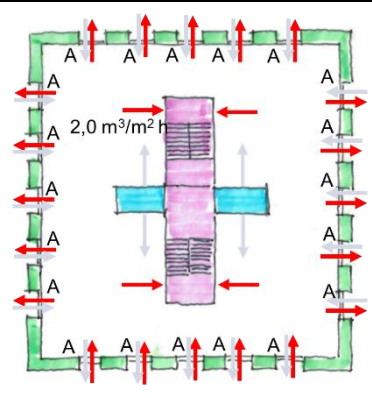
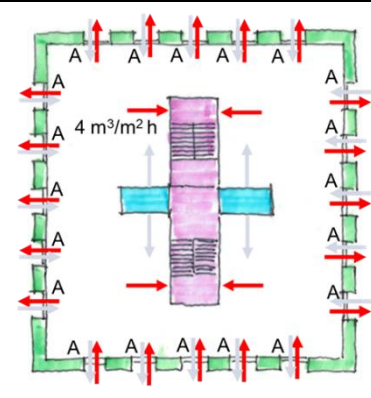
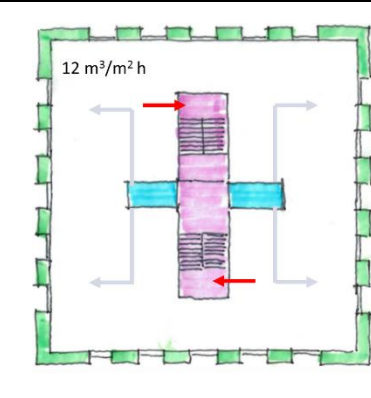
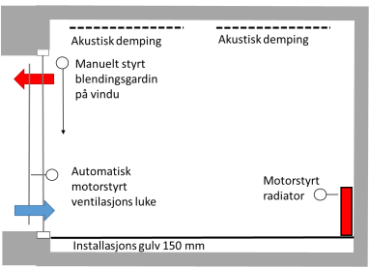
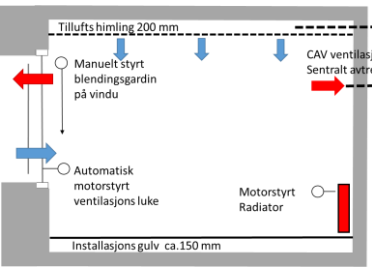
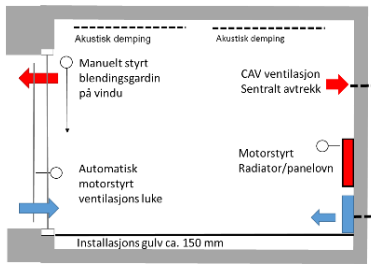
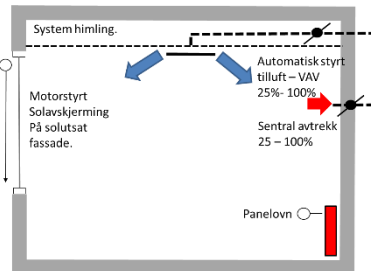
- Aggerholm, S., 2008. Hybrid ventilasjon i kontorer og institusjoner, Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitutt.
- Arbeidstilsynet, 1991. Veiledning om Klima og luftkvalitet på arbeidsplassen, veiledning nr. 444., Trondheim: Arbeidstilsynet.
- Berge, B. e. a., 2014. Absolutt passiv energidesign, s.l.: <http://www.gaiarkitekter.no/index.php/hjem>.
- Berge, B. e. a., 2014. Passiv klimatisering - Tek15, s.l.: <http://biblioteket.husbanken.no/arkiv/dok/Komp/Passivklimatisering.pdf>.
- Christensen, A. H., 2012. MODULERENDE VENTILATION - LOW COST VAV TIL KONTORBYGNINGER, Aarhus: Teknologisk Institut .
- Dagsland Halderaker, I., 2015. Design and Energy Analysis of Generic and Adaptive Buildings in Norway, s.l.: NTNU, Trondheim.
- Dansk Standard, 2013. DS 447 "Ventilasjon i bygninger – Mekaniske, naturlig og hybride ventilasjonssystemer", s.l.: DS.
- Grønn Byggallianse, 2014. Tipshefte 1:2014, Avvik mellom beregnet og reell energibruk, s.l.: Grønn Byggallianse.
- Heiselberg, 2012. ECBCS Annex 44". Integrating Environmentally Responsive Elements in Buildings. Project Summary Report", s.l.: ECBCS.
- Heiselberg, P., 2002. Naturlig ventilasjon i erhvervsbygninger, Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitutt.
- Jantunen, J., 2011. Pollen transport by clothes. *Aerobiologia* (2011), pp. 339-343.
- Kleiven, T., 2003. "Natural Ventilation in Buildings. Architectural concepts, consequences and possibilities". Doktoravhandling., s.l.: <http://ntnu.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A126224&page=statistics&dsid=7501>.
- Malmquist, E. B., 2015. Ikke Noe Hokus Pokus. *Arkitektur N*, 97(1-2015).
- Marsh, R., 2008. Bygninger Energi Klima: Mod et nyt paradigme, Danmark: SBI.
- Nordby, A. S., 2015. Absolutt Passiv Design. *Arkitektur N*.
- Nordby, A. S. e. a., 2014. MaTriD - Market Transformation Towards Nearly Zero, s.l.: <http://www.integrateddesign.eu/downloads/index.php>.
- Quist, K. & Molzen, J., 2016. Passiv Klimatisering af kontorbygning i Norge, s.l.: Bachelor Prosjekt - Aarhus Universitet.
- Schoof, 2014. "Haus ohne Heizung: Bürogebäude von Baumschlagel Eberle in Lustenau", s.l.: Detail - Zeitschrift für Architektur und.
- Sintef, 2015. <http://www.sintef.no/projectweb/for-klima/>. [Internett]
- [Funnet 2015].
- Skistad, H., 2002. Displacement Ventilation in Non -industrial Premises, s.l.: Rehva.
- Standard Norge, 2005. NS-EN 15251:2007, Inneklimaparametre for dimensjonering og vurdering av bygningers energiytelse inkludert inneluftkvalitet, termisk miljø, belysning og akustikk., s.l.: Standard Norge.
- Terkildsen, S., 2013. Development of mechanical ventilation system with low energy consumption for renovation of buildings, s.l.: DTU.
- WM, n.d. How to avoid draught using natural ventilation, s.l.: Window Master.

## 15. Vedlegg 1 - Sammenligning av fire ulike ventilasjonsstrategier

Strategier for ventilasjon – prinsipper som sammenlignes:

- Naturlig ventilasjon + oppvarming med panelovner/radiatorer + automatisk vindu
- Hybrid ventilasjon (30% mekanisk /70% naturlig) – Automatisk vindusåpning
- Hybrid ventilasjon (60% mekanisk /40% naturlig) – Automatisk vindusåpning

Balansert mekanisk ventilasjon med dynamiske ventiler

Systemtype	Forenklet passivt design	Forenklet passivt design	Forenklet passivt design	Aktivt design
	<b>Naturlig ventilasjon</b>	<b>Hybrid ventilasjon 30/70</b>	<b>Hybrid ventilasjon 60/40</b>	<b>VAV ventilasjon med kjøling (Referanse)</b>
				
				
<b>Hvilke fordeler og ulemper har de ulike systemer i forhold til areal effektivitet?</b>				
Anbefalt byg- ningsbredde	Optimal bredde 12- 18 m	Optimal bredde 12-22 m.	Optimal bredde 18 – 22 m.	Optimal bredde 18- 22 m.

Hvilke fordeler, ulemper og føringer har de ulike systemer i forhold til bygningsgeometri?				
Hvilken brutto etasjehøyde anbefales	3,6 - 4,0 m	3,6 - 4,0 m	3,6 - 4,0 m	3,6 - 4,0 m
Hvilke himlingshøyder kan oppnås med brutto etasjehøyde på 4m (3,6m)	Maksimalt 3,55 m (3,05 m). Høyder avhenger av akustisk løsning, men det bør velges løsning med mulighet for termisk aktivering av dekker. Det er forutsatt installasjonsgulv på 0,15 m (3,6m)	Maksimalt 3,55 m (3,05 m). Høyder avhenger av akustisk løsning, men det bør velges løsning med mulighet for termisk aktivering av dekker. Det er forutsatt installasjonsgulv på 0,15 m. Innblåsingshimling bygger ca. 0,2 m	Maksimalt 3,55 m (3,05 m). Høyder avhenger av akustisk løsning, men det bør velges løsning med mulighet for termisk aktivering av dekker. Det er forutsatt installasjonsgulv på 0,15 m. Innblåsingshimling bygger ca. 0,2 m	Maksimalt 3,1 m (2,7 m) mot fasader. Himlingshøyde er lavere i sentrale områder for å gi plass til horisontale føringer for ventilasjonskanaler. Det er forutsatt systemhimling på 0,6 m i kontorarealer. Lavere himlinghøyde i kjerne av bygget
Hvilke fordeler og ulemper har de ulike systemer i forhold til teknisk grid og fleksibilitet i planløsningen?				
Teknisk grid	Teknisk grid følger vinduer. Alle rom med ventilasjonsbehov må ha eget åpningsvindu. Rom med åpningsvindu kan innredes som egen sone.	Teknisk grid følger vinduer. Alle rom med ventilasjonsbehov må ha eget åpningsvindu. Rom med åpningsvindu kan innredes som egen sone. Basisventilasjon kan brukes i rom uten vindu. Dette gjør at møterom og stillerom kan plasseres i byggets kjerne.	Teknisk grid følger vinduer. Alle rom med ventilasjonsbehov må ha eget åpningsvindu. Rom med åpningsvindu kan innredes som egen sone. Basisventilasjon kan brukes i rom uten vindu. Dette gjør at møterom og stillerom kan plasseres i byggets kjerne.	Teknisk grid er fleksibelt som følge av dynamisk ventil pr. rom/teknisk grid.
Plassering av rom	Rom skal plasseres i tilknytning til fasade. Sekundære rom, kopirom og toaletter kan plasseres i byggets kjerne. Møterom må plasseres ved fasade.	Rom skal plasseres i tilknytning til fasade. Sekundære rom, kopirom og toaletter kan plasseres i byggets kjerne. Møterom og stillerom kan plasseres mer fleksibelt.	Rom skal plasseres i tilknytning til fasade. Sekundære rom, kopirom og toaletter kan plasseres i byggets kjerne. Møterom og stillerom kan plasseres mer fleksibelt.	Rom med krav til dagslys må plasseres ved fasaden, men ellers relativt fleksibel plassering av rom.



Hvilke fordeler og ulemper har de ulike systemene i forhold til teknisk kompleksitet, hva kreves av driftspersonell og i hvor stor grad tillates brukerkontroll?				
Kompleksitet av det tekniske system i relasjon til referanse	Kompleksitet	Kompleksitet	Kompleksitet	Kompleksitet
	Middels	Middels	Middels	Høy
Forenkling av oppvarmingssystem	Desentralt forenklet vannbårent oppvarmingssystem. Desentrale panelovner mulig alternativ, men dette krever dispensasjon fra krav i TEK.	Forenklet vannbåren varme i store soner gir energifleksibelt system. Radiatorer kan suppleres av panelovner i særlige rom. Løsning med oppvarming med el. panelovner er mulig.	Forenklet vannbåren varme i store soner gir energifleksibelt system. Radiatorer kan suppleres av panelovner i særlige rom. Løsning med oppvarming med el. panelovner er mulig.	Luftoppvarming, ingen oppvarming med vannbåren varme eller panelovner.
Krav til driftspersonell	Middels Systemet krever brukeroppfølgning i form av dialog på systemets funksjon, og spesielt fordeler og ulemper knyttet til automatisk styrte vinduer, overstyringer mm.	Middels Systemet krever brukeroppfølgning i form av dialog på systemets funksjon, og spesielt fordeler og ulemper knyttet til automatisk styrte vinduer, overstyringer mm.	Middels Systemet krever brukeroppfølgning i form av dialog på systemets funksjon, og spesielt fordeler og ulemper knyttet til automatisk styrte vinduer, overstyringer mm.	Høy Systemet krever høy teknisk kompetanse i tilknytning til løpende tuning og justering av reguleringen.
Brukerkontroll av vinduer	Mulighet for automatisk brukerkontroll av vindu. Åpning styres av kontakt i rom med direkte styring av vindusmotor. Manuell vindusåpning anbefales ikke.	Mulighet for automatisk brukerkontroll av vindu. Åpning styres av kontakt i rom med direkte styring av vindusmotor Manuell vindusåpning er en mulighet. Kan kombineres med brukerveileder via app.	Mulighet for automatisk brukerkontroll av vindu. Åpning styres av kontakt i rom med direkte styring av vindusmotor Manuell vindusåpning er en mulighet. Kan kombineres med brukerveileder via app.	Manuell vindusåpning er mulig, men er ikke vanlig praksis for dette alternativet.
Brukerkontroll av temperatur	Mulig	Mulig	Mulig	Mulig
Visuell kontroll	Visuell kontroll av feil på vindusautomatikk gir lavere krav til driftspersonell.	Visuell kontroll av feil på vindusautomatikk gir lavere krav til driftspersonell. Balansert mekanisk konstant ventilasjonssystem (CAV) er enklere å drifte enn system med variabel luftstrøm (VAV).	Visuell kontroll av feil på vindusautomatikk gir lavere krav til driftspersonell. Balansert mekanisk konstant ventilasjonssystem (CAV) er enklere å drifte enn system med variabel luftstrøm (VAV).	Ingen visuell kontroll av feilfunksjoner. Stiller større krav til kompetansenivå for driftspersonell.

Anslag automatikk komponenter for 4 alternative ventilasjonstrategier										
"Kompleksitet"	Alternativ 1		Alternativ 2		Alternativ 2A		Alternativ 3		Alternativ 4	
	Naturlig ventilasjon		Hybrid ventilasjon		Hybrid ventilasjon		Hybrid ventilasjon		Balansert mekanisk vent.	
			(CAV 2 m3/m2 h mek. ventilasjon)		(CAV 2 m3/m2 h mek. ventilasjon)		(CAV 4 m3/m2 h mek. ventilasjon)		(VAV 2,5-12 m3/m2 h mek. ventilasjon)	
	Automatisk vindu		Automatisk vindu		Manuelt vindu		Automatisk vindu		Ingen vindus lufting	
	Antall	"Kompleksitet"	Antall	"Kompleksitet"	Antall	"Kompleksitet"	Antall	"Kompleksitet"	Antall	"Kompleksitet"
<b>Total antall styringspunkter</b>	<b>305</b>		<b>320</b>		<b>260</b>		<b>320</b>		<b>244</b>	
<b>Total antall aktuatorer</b>	<b>302</b>		<b>307</b>		<b>65</b>		<b>307</b>		<b>297</b>	
<b>Samlet "kompleksitet"</b>		<b>578</b>		<b>598</b>		<b>326</b>		<b>598</b>		<b>786</b>
<b>Indeks samlet kompleksitet</b>		<b>74 %</b>		<b>76 %</b>		<b>42 %</b>		<b>76 %</b>		<b>100 %</b>

Hvilke fordeler og ulemper har de ulike systemene i forhold til LCC-kostnad for samlet livsløp

	Alternativ 1		Alternativ 2		Alternativ 2A		Alternativ 3		Alternativ 4	
	Naturlig ventilasjon		Hybrid ventilasjon		Hybrid ventilasjon		Hybrid ventilasjon		Balansert mekanisk vent.	
			(CAV 2 m3/m2 h mek. ventilasjon)		(CAV 2 m3/m2 h mek. ventilasjon)		(CAV 4 m3/m2 h mek. ventilasjon)		(VAV 2,5-12 m3/m2 h mek. ventilasjon)	
			(CAV 2 m3/m2 h mek. ventilasjon)		(CAV 2 m3/m2 h mek. ventilasjon)		(CAV 4 m3/m2 h mek. ventilasjon)		(VAV 2,5-12 m3/m2 h mek. ventilasjon)	
	Automatisk vindu		Automatisk vindu		Manuelt vindu		Automatisk vindu		Ingen vindus lufting	
	Vannbåren varme	El panelovner	Vannbåren varme	El panelovner	Vannbåren varme	El panelovner	Vannbåren varme	El panelovner	Luftvarme	
Samlet investeringskostnad kr. pr m2	1550	1150	1450	1250	1000	600	1740	1450	2 050	
Relativ investeringskostnad	76 %	56 %	71 %	61 %	49 %	29 %	85 %	71 %	100 %	
Samlet årskostnad kr. pr m2	125	110	135	120	90	60	155	146	225	
Relativ årskostnad	56 %	49 %	60 %	53 %	40 %	27 %	69 %	65 %	100 %	

Hvilke fordeler og ulemper har de ulike systemene i forhold til inn klima?

Alle alternativene - inn klima								
Resultater for modeller med 1 person pr. 10 m <sup>2</sup>								
	Alternativ 1		Alternativ 2		Alternativ 3		Alternativ 4	
	Naturlig ventilasjon		Hybrid ventilasjon		Hybrid ventilasjon		Balansert mekanisk vent.	
			(CAV 2 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h mek. ventilasjon)		(CAV 4 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h mek. ventilasjon)		(VAV 2,5-12 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h mek. ventilasjon)	
Maks operativ temperatur	26,8	27,1	26,8	27	26,6	26,8	24,7	24,8
Antall timer operativ temperatur over 26 °C	5	16	5	15	4	10	0	0
Antall timer operativ temperatur over 27 °C	0	0	0	0	0	0	0	0

Alle alternativene - inn klima								
Resultater for modeller med 1 person pr. 20 m <sup>2</sup>								
	Alternativ 1		Alternativ 2		Alternativ 3		Alternativ 4	
	Naturlig ventilasjon		Hybrid ventilasjon		Hybrid ventilasjon		Balansert mekanisk vent.	
			(CAV 2 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h mek. ventilasjon)		(CAV 4 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h mek. ventilasjon)		(VAV 2,5-12 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h mek. ventilasjon)	
Maks operativ temperatur	25,3	25,6	25,2	25,4	25,2	25,4	24,5	24,6
Antall timer operativ temperatur over 26 °C	0	0	0	0	0	0	0	0
Antall timer operativ temperatur over 27 °C	0	0	0	0	0	0	0	0

	1 pers. pr. 10 m <sup>2</sup>	1 pers. pr. 20 m <sup>2</sup>	1 pers. pr. 10 m <sup>2</sup>	1 pers. pr. 20 m <sup>2</sup>	1 pers. pr. 10 m <sup>2</sup>	1 pers. pr. 20 m <sup>2</sup>	1 pers. pr. 10 m <sup>2</sup>	1 pers. pr. 20 m <sup>2</sup>
Luftkvalitet / CO <sub>2</sub> -maksimal ppm.	1100 (Snitt<1000)	1100 (Snitt<1000)	1100 (Snitt<1000)	1100 (Snitt<1000)	900 (Snitt<1000)	800 (Snitt<1000)	840	825
Trekk og lavere temperaturer må aksepteres i korte perioder	Lav temperatur i forbindelse med pulslufting på vinteren. 3-5 min lufting pr. 30 min. Lagdeling kan redusere lufteintervaller	Lav temperatur i forbindelse med pulslufting på vinteren. 3-5 min lufting pr. 60 min. Lagdeling kan redusere lufteintervaller	Lav temperatur i forbindelse med pulslufting på vinteren. Maksimalt 3-4 min lufting, 2 til 3 ganger pr. dag. Lagdeling kan redusere lufteintervaller		Ingen		Ingen	

Krav til bruker for å få tilfredsstillende temperatur	En viss tilpasning av påkledning gjennom dagen. Preferanse er individuell og avhenger av aktivitetsnivå mm.  Det er forutsatt at brukeren trekker innvendig gardin for vinduet i arbeidstiden når det er sol på fasaden.	En viss tilpasning av påkledning gjennom dagen. Preferanse er individuell og avhenger av aktivitetsnivå mm.  Der er forutsatt at brukeren trekker innvendig gardin for vinduet i arbeidstiden når det er sol på fasaden.	Mindre tilpasning av påkledning gjennom dagen. Preferanse er individuell og avhenger av aktivitetsnivå mm.  Det er forutsatt at brukeren trekker innvendig gardin for vinduet i arbeidstiden når det er sol på fasaden.	Mindre tilpasning av påkledning gjennom dagen. Preferanse er individuell og avhenger av aktivitetsnivå mm.
Krav til bruker-atferd for å få tilfredsstillende akustikk /lavt støynivå i kontorlandskap	Systemet krever termisk aktivering av himlingsflater, og akustisk demping må tilpasses dette. Mulig demping er lavere enn demping i rom med tradisjonell systemhimling. Bruker må tilpasse seg dette.	En viss tilpasning avhengig av valg av prinsipp for balansert mekanisk ventilasjon.	En viss tilpasning avhengig av valg av prinsipp for balansert mekanisk ventilasjon.	Vanlig systemhimling med akustiske egenskaper som tradisjonelt kontor.
Dagslys	Lyse arealer inntil 7 m fra fasaden kan ventileres. Så lyst areal for arbeidsplasser reduseres ikke av ventilasjonsprinsippet.	Lyse arealer inntil 7 m fra fasaden kan ventileres. Så lyst areal for arbeidsplasser reduseres ikke av ventilasjonsprinsippet.	Lyse arealer inntil 7 m fra fasaden kan ventileres. Så lyst areal for arbeidsplasser reduseres ikke av ventilasjonsprinsippet.	Lyse arealer inntil 7 m fra fasaden kan ventileres. Så lyst areal for arbeidsplasser reduseres ikke av ventilasjonsprinsippet.

#### Hvilke fordelere og ulemper har de ulike systemer i forhold til energibruk?

##### Alle alternativer - Energibruk simulert med prosjekt forutsetninger og beregnet etter NS 3031

##### Resultater for modeller med 1 person pr. 10 m2

Energipost	Alternativ 1		Alternativ 2		Alternativ 3		Alternativ 4	
	Naturlig ventilasjon		Hybrid ventilasjon		Hybrid ventilasjon		Balansert mekanisk vent.	
			(CAV 2 m3/m2 h mek. ventilasjon)		(CAV 4 m3/m2 h mek. ventilasjon)		(VAV 2,5-12 m3/m2 h mek. ventilasjon)	
	Energibruk beregnet med prosjekt forutsetninger	Energibruk beregnet med norske energiregler	Energibruk beregnet med prosjekt forutsetninger	Energibruk beregnet med norske energiregler	Energibruk beregnet med prosjekt forutsetninger	Energibruk beregnet med norske energiregler	Energibruk beregnet med prosjekt forutsetninger	Energibruk beregnet med norske energiregler
	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>
1a Romoppvarming	17,0	104,4	6,1	46,6	4,5	27,6	1,0	0,0
1b Ventilasjonsvarme	0,0	0,0	0,5	4,9	0,3	5,0	1,4	3,2
2 Varmtvann (tappevann)	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
3a Vifter	0,0	0,0	1,4	3,9	2,8	4,2	10,6	9,5
3b Pumper	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5	0,5
4 Belysning	9,8	15,7	9,8	15,7	9,8	15,7	13,2	15,7
5 Teknisk utstyr	31,1	34,0	31,1	34,0	31,1	34,0	31,1	34,0
6 kjøling	0,0		0,0		0,0		3,9	3,9
<b>Totalt netto energibehov</b>	<b>64</b>	<b>160</b>	<b>55</b>	<b>111</b>	<b>55</b>	<b>93</b>	<b>67</b>	<b>72</b>
<b>Krav TEK</b>		<b>115</b>		<b>115</b>		<b>115</b>		<b>115</b>

Alle alternativer - Energibruk simulert med prosjekt forutsetninger og beregnet etter NS 3031									
Resultater for modeller med 1 person pr. 20 m2									
Energipost	Alternativ 1		Alternativ 2		Alternativ 3		Alternativ 4		
	Naturlig ventilasjon		Hybrid ventilasjon		Hybrid ventilasjon		Balansert mekanisk vent.		
			(CAV 2 m3/m2 h mek. ventilasjon)		(CAV 4 m3/m2 h mek. ventilasjon)		(VAV 2,5-12 m3/m2 h mek. ventilasjon)		
	Energibruk beregnet med prosjekt forutsetninger	Energibruk beregnet med norske energiregler	Energibruk beregnet med prosjekt forutsetninger	Energibruk beregnet med norske energiregler	Energibruk beregnet med prosjekt forutsetninger	Energibruk beregnet med norske energiregler	Energibruk beregnet med prosjekt forutsetninger	Energibruk beregnet med norske energiregler	Energibruk beregnet med prosjekt forutsetninger
	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>
1a Romoppvarming	14,9	104,4	6,9	46,6	7,5	27,6	3,4	0,0	
1b Ventilasjonsvarme	0,0	0,0	0,5	4,9	1,4	5,0	0,6	3,2	
2 Varmtvann (tappevann)	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
3a Vifter	0,0	0,0	1,4	3,9	2,8	4,2	6,1	9,5	
3b Pumper	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5	0,5	
4 Belysning	9,8	15,7	9,8	15,7	9,8	15,7	13,2	15,7	
5 Teknisk utstyr	15,6	34,0	15,6	34,0	15,6	34,0	15,6	34,0	
6 kjøling							2,5	3,9	
<b>Totalt netto energibehov</b>	<b>46</b>	<b>160</b>	<b>40</b>	<b>111</b>	<b>43</b>	<b>93</b>	<b>47</b>	<b>72</b>	
<b>Krav TEK</b>		<b>115</b>		<b>115</b>		<b>115</b>		<b>115</b>	
Samsvar med energikrav i TEK	Nei Systemet har ikke varmegjenvinning, og dette gjør at systemet ikke har samsvar med TEK krav til maksimalt netto energibruk.		Ja		Ja		Ja		
Samsvar med krav til fleksibel energiforsyning for oppvarming	Med vannbåren varme oppnås samsvar med krav i TEK.		Med vannbåren varme og panelovner oppnås samsvar med krav i TEK.		Med vannbåren varme og panelovner oppnås samsvar med krav i TEK.		Der ventilasjonssystemet brukes som oppvarmingssystem, eller der ventilasjonssystem kombineres med mindre desentraliserte panelovner, kan samsvar oppnås uten bruk av vannbåren varme.		
<b>Har systemet samsvar med krav og veiledning i teknisk forskrift, arbeidstilsynets veiledninger og krav fra leietakere?</b>									
Har systemet samsvar med arbeidstilsynets veiledninger	Krever dialog med Arbeidstilsynet, konferer vedlegg 4.		Krever dialog med Arbeidstilsynet, konferer vedlegg 4.		Krever dialog med Arbeidstilsynet, konferer vedlegg 4.		Vanlig standard løsning		
Har systemet samsvar med vanlige leietaker-	Krever dialog og med leietaker, konferer vedlegg 5		Krever dialog og med leietaker, konferer vedlegg 5		Krever dialog og med leietaker, konferer vedlegg 5		Vanlig standard løsning		



forventninger				
---------------	--	--	--	--

## 16. Vedlegg 2 - Veiledende krav til omgivelser, bygg og krav fra leietakere

Bygningsrelaterte parametere	Naturlig ventilasjon – ALT 1			Hybrid ventilasjon - ALT 2			Hybrid ventilasjon – ALT 3		
	Godt egnet	Mulig	Må vurderes	Godt egnet	Mulig	Må vurderes	Godt egnet	Mulig	Må vurderes
Glassareal i % av fasadens areal									
Med utvendig solskjerming	< 30	30 – 40	> 40	< 35	35 - 45	> 45	< 35	35 - 45	> 45
Med innvendig solskjerming + bygnings fremspring	< 20	20 – 25	> 30	< 25	25 - 35	> 35	< 25	25 - 35	> 35
Omgivelser vindforhold, luftkvalitet, og støy	Forstad eller lite trafikk	Byområde eller moderate trafikkforhold	Sentrale områder eller tett trafikk	Forstad eller lite trafikk	Byområde eller moderate trafikkforhold	Sentrale områder eller tett trafikk	Forstad eller lite trafikk	Byområde eller moderate trafikkforhold	Sentrale områder eller tett trafikk
Romhøyde (m)	> 3,5	3,0 -3,5	2,7 - 3,0	3,0 – 3,5	< 3	< 2,7	3,0 – 3,5	< 3	< 2,7
Forhold romdybde/romhøyde	< 2	2 – 5	> 5	2 – 5	2 – 5	> 5	> 5	> 5	> 5
Aktiviteter med høy forensing	I separate rom	Delvis i separate rom	Spredt i rommene	I separate rom	Delvis i separate rom	Spredt i rommene	I separate rommene	Delvis i separate rom	Spredt i rommene
Romtyper	Celle-, og landskapskontor	Celle-, landskapskontor og møterom (ikke konstant bruk)	Celle-, landskapskontor og møterom (med konstant brukstid)	Celle-, landskapskontor	Celle-, landskapskontor og møterom (ikke konstant brukstid)	Celle-, landskapskontor og møterom (med konstant brukstid)	Celle-, og landskapskontor	Celle-, landskapskontor og møterom (ikke konstant brukstid)	Celle-, landskapskontor og møterom (med konstant brukstid)
Termisk kapasitet	Blottlagt tung lofts-, og veggkonstruksjon	Blottlagt lofts konstruksjon og lette vegger	Systemhimling, og lette vegger	Blottlagt tung lofts-, og veggkonstruksjon	Blottlagt lofts konstruksjon og lette vegger	Systemhimling, og lette vegger	Blottlagt tung lofts-, og veggkonstruksjon	Blottlagt lofts konstruksjon og lette vegger	Systemhimling, og lette vegger
Intern varmebelastning, W/m <sup>2</sup>	< 15	15 – 30	> 30	< 15	15-30	> 30	< 15	15 - 30	> 30
Nettoareal pr person, m <sup>2</sup> /person	> 13	10-13	< 10	10	8-10	< 8	< 10	8-10	5-8
Krav til romdemping	Beskjedne	Moderate	Streng	Beskjedne	Moderate	Streng	Moderate	Moderate	Streng
Intern lydoverføring mellom rom eller arbeidsplasser	Akseptabelt	Sporadisk akseptabel	Uakseptabelt	Leilighetsvis akseptabel	Leilighetsvis akseptabel	Uakseptabelt	Uakseptabelt	Uakseptabelt	Uakseptabelt

Bygningsrelaterte parametere	Naturlig ventilasjon – ALT 1			Hybrid ventilasjon - ALT 2			Hybrid ventilasjon – ALT 3		
	Godt egnet	Mulig	Må vurderes	Godt egnet	Mulig	Må vurderes	Godt egnet	Mulig	Må vurderes
Mulighet for å åpne vinduer (med sikkerhetslås utenom driftstid)	Hele døgnet	Hele døgnet	Kun i brukstiden	Hele døgnet	Hele døgnet	Kun i brukstiden	Hele døgnet	Kun i brukstiden	Kun i brukstiden
Mulighet for tilpasning av påkledning til årstiden	Ja	Ja delvis	Nei	Ja	Ja delvis	Nei	Ja	Ja delvis	Nei
Periodevis forringet luftkvalitet (CO <sub>2</sub> nivå i maks over 1000 ppm) varighet 0 - 30 min	Akseptabelt	Kortvarig under ekstreme forhold	Uakseptabelt	Kortvarig under ekstreme forhold	Uakseptabelt	Uakseptabelt	Uakseptabelt	Uakseptabelt	Uakseptabelt
Periodevis forhøyet romtemperatur, varme dager 4-5 timer over 26°C, typisk fra 11.00 og fremover til slutten på arbeidsdagen	Akseptabelt	Kortvarig under ekstreme forhold	Uakseptabelt	Akseptabelt	Kortvarig under ekstreme forhold	Uakseptabelt	Akseptabelt	Kortvarig under ekstreme forhold	Uakseptabelt
Trekk i korte perioder i forbindelse med vinduslufing, varighet 0 - 5 min.	Aksepteres maksimalt en gang i timen	Aksepteres maksimalt 3 ganger i løpet av en arbeidsdag	Uakseptabelt	Aksepteres maksimalt 3 ganger i løpet av en arbeidsdag	Uakseptabelt	Uakseptabelt	Uakseptabelt	Uakseptabelt	Uakseptabelt
Filtrering	Ikke nødvendig	Ikke nødvendig	Nødvendig	Ikke nødvendig	Nødvendig	Nødvendig	Nødvendig	Nødvendig	Nødvendig
Brukstidens lengde, timer	< 8	8 – 10	> 10	< 10	10 - 12	> 12	< 10	10 – 12	> 12

Kilde Delvis etter (Aggerholm, 2008) og (Quist & Molzen, 2016)

## 17. Vedlegg 3 - Forenkling og utfordringer i TEK og veiledninger til TEK

- Energi
- Miljø og helse
- Ventilasjon i byggverk for publikum og arbeidsbygning
- Termisk inneklima
- Romakustikk

Passive strategier er ikke nye byggekonsepter. Kombinasjoner av naturlig ventilasjon med lagring av varme i termisk masse er en gammel konstruksjonsmetode som har vært brukt i århundrer. Utviklingen av moderne bygninger har fulgt utviklingen av tekniske installasjoner, og grep for å nytte passive designstrategier er etter hvert «blitt overflødig» ettersom tekniske tiltak i teorien skal kunne løse alle utfordringer.

Parallelt med den tekniske utviklingen har det også blitt utviklet en rekke absolutte funksjonskrav i lov- og regelverket. Disse fremmer spesielt preaksepterte løsninger som i stor grad er basert på tekniske løsninger og beskriver i mindre grad løsninger knyttet til passive tiltak. Dette betyr ikke at passive tiltak ikke er en mulig løsning. Det betyr kun at passive tiltak krever noe større grad av dokumentasjon for å dokumentere at de oppfyller kravene til energi og inneklima i lov- og regelverket.

TEK stiller krav til en lang rekke kvaliteter i bygg. De mest aktuelle for vurderinger av forenkling er krav til energibruk, termisk innemiljø, luftkvalitet og akustikk.

### Energi

TEK kapittel 14 stiller krav til dokumentasjon av energibruken i bygningen. Kravene gjelder krav til energieffektivitet § 14-2, minstekrav til komponenter § 14-3, og krav til løsninger for energiforsyning § 14-4.

#### § 14-2 Krav til energieffektivitet

*For å oppfylle energikrav må det velges hybrid ventilasjon hvor naturlig ventilasjon kombineres med balansert mekanisk ventilasjon. Prinsipper er beskrevet i avsnitt 6.1.*

Totalt netto energibehov for bygningen skal ikke overstige energirammene i TEK, samtidig som kravene i § 14-3 minste krav til komponenter. I TEK angis det videre at beregningene skal gjøres i henhold til metoden beskrevet i NS3031.

For bygg med naturlig ventilasjon og hybrid ventilasjon, vil vanligvis energiberegninger etter metoden i NS3031 ha:

- Redusert energibruk til vifter for ventilasjon, pumper, romkjøling og ventilasjonskjøling (kjølebatterier)
- Større energibruk til romoppvarming og ventilasjonsvarme (varmebatterier)
- Uendret energibruk til varmt tappevann (fast verdi i.h.h.t. NS 3031), belysning og energibehov til teknisk utstyr (fast verdi i.h.h.t. NS3031)

Beregningsreglene i NS 3031 gir i tillegg krav til en rekke faste verdier som skal brukes i kontrollberegningen. Det gis spesielt et krav til minimum ventilasjonsluftmengder som skal legges til grunn for beregningen. Tilsvarende regler for minimums luftmengder gjelder for beregninger etter NS 3701 (Norsk Standard Kriterier for passivhus og lavenergi-bygninger, Yrkesbygninger).

Krav til faste verdier for luftmengder i driftstiden og spesielt utenom driftstiden har stort innflytelse på det beregnede energibruk til oppvarming, og kan vanligvis ikke kompenseres av redusert energibruk til vifter, kjøling og pumper. Dette betyr at det vanligvis er ikke er mulig å gjøre en beregning som viser at kravene til energiramme nås i bygg med kun naturlig ventilasjon (som 2226 bygget).

Tabell A.6 – Minste tillatte luftmengder brukt ved kontrollberegning mot offentlige krav

Bygningskategori		Minste spesifikke luftmengde <sup>a</sup> m <sup>3</sup> /(h·m <sup>2</sup> )	
		I driftstid	utenfor driftstid
Småhus <sup>b</sup> og boligblokk	Boenheter der $A_E < 110 \text{ m}^2$	$1,6 - 0,007 \times (A_E - 50)^c$	$1,6 - 0,007 \times (A_E - 50)^c$
	Boenheter der $A_E \geq 110 \text{ m}^2$	1,2 <sup>c</sup>	1,2 <sup>c</sup>
Barnehage		8	2
Kontorbygning		7	2
Skolebygning		10	2
Universitets- og høyskolebygning		8	2
Sykehus		10	2
Sykehjem		9	2
Hotellbygning		7	2
Idrettsbygning		8	2
Forretningsbygning		13	2
Kulturbygning		8	2
Lett industribygning, verksted		8	2

<sup>a</sup> Reelle luftmengder dimensjonert ut fra materialbelastning (emisjoner), personbelastning og andre belastninger skal legges til grunn ved beregning av energibehov, forutsatt at de er høyere enn minste luftmengder i denne tabellen.

<sup>b</sup> Småhus omfatter enebolig, to- til firemannsbolig og rekkehus.

<sup>c</sup> Minste tillatte luftmengde for boligbygninger som består av flere boenheter, er summen av minste tillatte luftmengde per boenhet med tillegg for luftmengden i oppvarmet del av BRA som er fellesarealer.

Tabell 17.1: Minste tillatte luftmengder i kontrollberegninger mot offentlige krav, TEK (NS 3031, 2011).

Bygningskategori	Totalt netto energibehov [kWh/m <sup>2</sup> oppvarmet BRA pr. år]
Småhus, samt fritidsbolig over 150 m <sup>2</sup> oppvarmet BRA	100 + 1600/m <sup>2</sup> oppvarmet BRA
Boligblokk	95
Barnehage	135
Kontorbygning	115
Skolebygning	110
Universitet/høyskole	125
Sykehus	225 (265)
Sykehjem	195 (230)
Hotellbygning	170
Idrettsbygning	145
Forretningsbygning	180
Kulturbygning	130
Lett industri/verksteder	140 (160)

Tabell under viser beregning av netto energibruk for bygg med naturlig ventilasjon (Nat-Vent), bygg med hybrid ventilasjon som er kombinasjon av naturlig og balansert mekanisk ventilasjon (HybVent 30/70, HybVent 60/40), og tradisjonell balansert mekanisk VAV-ventilasjon. Beskrivelsen av ventilasjonsprinsippene finnes i avsnitt 10 «Ulike grader av forenkling - eksempler».



Resultater for modeller med 1 person pr. 20 m <sup>2</sup>									
Energipost	Alternativ 1 - NatVent		Alternativ 2 - HybVent 30/70		Alternativ 3 - HybVent 60/40		Alternativ 4 - MekVent VAV		
	Energibruk beregnet med prosjekt forutsetninger	Energibruk beregnet med norske energiregler	Energibruk beregnet med prosjekt forutsetninger	Energibruk beregnet med norske energiregler	Energibruk beregnet med prosjekt forutsetninger	Energibruk beregnet med norske energiregler	Energibruk beregnet med prosjekt forutsetninger	Energibruk beregnet med norske energiregler	Energibruk beregnet med norske energiregler
	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>
1a Romoppvarming	14,9	104,4	6,9	46,6	7,5	27,6	3,4	0,0	
1b Ventilasjonsvarme	0,0	0,0	0,5	4,9	1,4	5,0	0,6	3,2	
2 Varmtvann (tappevann)	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
3a Vifter	0,0	0,0	1,4	3,9	2,8	4,2	6,1	9,5	
3b Pumper	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	
4 Belysning	9,8	15,7	9,8	15,7	9,8	15,7	13,2	15,7	
5 Teknisk utstyr	15,6	34,0	15,6	34,0	15,6	34,0	15,6	34,0	
6 kjøling							2,5	3,9	
<b>Totalt netto energibehov</b>	<b>46</b>	<b>160</b>	<b>40</b>	<b>111</b>	<b>43</b>	<b>93</b>	<b>47</b>	<b>71</b>	
<b>Krav TEK</b>		<b>115</b>		<b>115</b>		<b>115</b>		<b>115</b>	

Tabell 18.2: Sammenligning av energibruk beregnet med prosjektforutsetninger og energibruk beregnet med norske energiregler (NS3031). Alternativer med rød farge har ikke samsvar med maksimalt energibruk i TEK, mens alternativer markert med grønn farge har samsvar. Beregningene er for modeller med person-tetthet på 1 person pr 20 m<sup>2</sup> BRA

Resultatene viser at det med naturlig ventilasjon ikke er mulig å nå et beregnet energiforbruk som samsvarer med energikravene i TEK for alternativ 1 NatVent. For alternativ 1 er netto energiforbruk vesentlig høyere enn rammen for totalt netto energibehov. Beregnet netto energiforbruk er 159 kWh/m<sup>2</sup> år og maksrammen for kontorbygg er 115 kWh/m<sup>2</sup> år.

Resultatene viser at alternativer med hybrid ventilasjon samsvarer med energikravene i TEK.

Resultatene viser også et stort avvik mellom beregninger basert på prosjektforutsetninger og beregninger basert på forutsetninger i energireglene. Dette gjelder for alle modellene unntatt alternativ 5. En årsak til dette at beregningsreglene i stor grad er utviklet med utgangspunkt i tradisjonelle løsninger med balansert mekanisk ventilasjon, og i liten grad er utviklet for passivt bygningsdesign med alternative ventilasjonsprinsipper.

## § 14-3 Minstekrav til komponenter

*Minstekrav til komponenter kan tilfredsstilles med et forenklet design.*

Minstekrav til komponenter er gitt ved krav til U-verdier og lekkasjetall for bygningsdeler konferer Tabell 18.2 under. I tillegg gis det krav til at rør, utstyr og kanaler som er knyttet til bygningens varmesystem skal isoleres. Isolasjonstykkelsen skal være økonomisk optimal beregnet etter norsk standard eller en likeverdig europeisk standard.

<i>U-verdi yttervegg [W/(m<sup>2</sup> K)]</i>	<i>U-verdi tak [W/(m<sup>2</sup> K)]</i>	<i>U-verdi gulv på grunn og mot det fri [W/(m<sup>2</sup> K)]</i>	<i>U-verdi vindu og dør inkludert karm/ramme [W/(m<sup>2</sup> K)]</i>	<i>Lekkasjetall ved 50 Pa trykkforskjell [luftveksling pr. time]</i>
$\leq 0,22$	$\leq 0,18$	$\leq 0,18$	$\leq 1,2$	$\leq 1,5$

Tabell 18.3: Minstekrav til U-verdier for bygningsdeler gitt i energikrav i TEK.

## § 14-4 krav energiforsyning

*Krav til energiforsyning kan nås med et forenklet oppvarmingssystem, basert på vannbåren varme som hovedprinsipp supplert med panelovner for spesielle rom. Krav til energiforsyning kan ikke nås med belysning som oppvarming alene.*

Bygninger med over 1.000 m<sup>2</sup> oppvarmet BRA skal ha energifleksible varmesystemer og tilrettelegges for bruk av lavtemperatur varmeløsninger. Veiledning til TEK viser også at direkte elektrisk oppvarming er tillatt for 50% av oppvarmingsbehovet i større bygg (>1000m<sup>2</sup>) og elkjel distribuert gjennom vann- eller luftbårne system er tillatt i alle bygg. Med dette åpner nye energiregler i TEK for direkte elektrisk oppvarming for bygg over 1000 m<sup>2</sup>.

I 2226 er oppvarmingen løst med et lite energieffektivt belysningssystem, og bygget har ikke noe ytterligere oppvarmingsbehov. På tross av dette vil en slik løsning ikke ha samsvar med preakseptert løsning med 50% dekning av oppvarmingsbehovet med energifleksibel løsning. Videre vurderes oppvarming basert på belysning å ikke være en effektivt helhetlig strategi. En mindre effektiv belysning vil gi høyere energiforbruk om sommeren, og det vil trolig totalt være mer energieffektivt med et system som har et lavere effektforbruk. Det stiller da krav til supplerende oppvarming, som igjen øker investeringskostnaden med et ekstra teknisk system, og det er trolig årsaken til valget av belysning i 2226.

Varmesystemet kan forenkles og samtidig oppfylle krav til fleksibilitet og krav til tilretteleggelse for lavtemperatur. Powerhouse Kjørbo er et godt eksempel på et slik forenklet prinsipp.

Et forenklet oppvarmingssystem bør kombineres med energieffektiv belysning (4 W/m<sup>2</sup>). Systemet kan da oppfylle krav i norsk passivhusstandard, og krav til energieffektivitet i BREEAM kriteriet Ene 23.

## Miljø og helse

### *Ventilasjon i byggverk for publikum og arbeidsbygning*

*Krav til luftkvalitet kan oppfylles der uteluften rundt bygget eller ved luftvinduer har en tilstrekkelig kvalitet.*

I byggverk for publikum og arbeidsbygning skal gjennomsnittlig frisklufttilførsel på grunn av forurensninger fra personer med lett aktivitet være minimum 26 m<sup>3</sup> pr. time

pr. person. Ved høyere aktivitet skal frisklufttilførsel økes slik at luftkvaliteten blir tilfredsstillende.

Gjennomsnittlig frisklufttilførsel skal minimum være 2,5 m<sup>3</sup> pr. time pr. m<sup>2</sup> gulvareal når bygningen eller rommene er i bruk og minimum 0,7 m<sup>3</sup> pr. time pr. m<sup>2</sup> gulvareal når bygningen eller rommene ikke er i bruk. Kravet skal ivareta behov for å ventilere bort lukt og emisjoner fra bygningsmaterialer og inventar.

Hovedutfordringen for passive konsepter når det gjelder inneklime er et krav i TEK kapittel 13, som sier at innkommende luft må filtreres dersom uteluften ikke har tilstrekkelig kvalitet. Forskriftene, men også mål om tilfredsstillende luftkvalitet uavhengig av krav i forskrift, setter derfor begrensninger til beliggenheten av bygg med naturlig eller hybrid ventilasjon. Det er derfor viktig å gjennomføre en grundig evaluering av trafikk og industri i byggets omgivelser tidlig i planleggingsprosessen.

## Termisk inneklime

*Krav til å maksimale temperaturer kan tilfredsstillers med forenklet ventilasjon, mens krav til minimumstemperatur krever særlige tiltak med løsninger som per i dag ikke er preaksepterte i TEK.*

Termisk inneklime i rom for varig opphold skal tilrettelegges ut fra hensyn til helse og tilfredsstillende komfort ved forutsatt bruk. I rom for varig opphold skal minst ett vindu eller en dør mot det fri kunne åpnes. I rom i arbeids- og publikumsbygg der åpningsbare vinduer er uønsket av bruken, kan det benyttes vinduer med fast karm.

I tillegg til de kravene som er nevnt ovenfor, gir foreslår TEK føringsverdier for termisk miljø. Operativ temperatur for lett arbeid, som arbeid på et kontor bør være mellom 19 og 26 °C. Med unntak av situasjoner med feil i anlegg eller andre driftsforstyrrelser, bør de laveste grensene alltid kunne holdes. I varme sommerperioder kan den øvre anbefalte grensen overskrides med maksimalt 50 timer i et normalår. TEK slår også fast at lufttemperaturforskjell over 3-4 °C mellom føtter og hode gir uakseptabelt ubehag, og det samme gjør daglig eller periodisk temperaturvariasjon over ca. 4 °C

Kravet til maksimale temperaturer kan nås i naturlig og hybrid ventilerte bygg, men krav til laveste grensene kan være en utfordring. I en passiv og naturlig ventilert bygning, kan temperaturen i korte perioder i variere mer enn i en bygning med tradisjonell balansert mekanisk ventilasjon. Variasjonen er i hovedsak knyttet til perioder med luftning med vindu, og spesielt om vinteren vil temperaturen bli lavere enn de anbefalte grenseverdiene. Lufting er en sentral utfordring som må løses i naturlig ventilerte bygninger og i mindre grad i hybrid ventilerte bygg.

## Romakustikk

**Krav til akustisk ytelse vil være en utfordring, og det bør være et sentral tema som bearbeides i hvert enkelt prosjekt for å sikre at forskriftskrav tilfredsstillers.**

En passiv bygning med et minimum av varmeinstallasjoner og uten mekanisk kjøling, er helt avhengig av varme og kuldelagring, samt muligheten for varmeveksling med byggets tunge konstruksjoner (termisk masse). Den termiske massen må være eksponert, og det-

te er ikke mulig å kombinere med tradisjonell systemhimling som er vanlig løsning i byggprosjekter.

TEK krever minimum lydklasse C, slik det er definert i standarden NS 8175: 2012. For å oppnå et tilstrekkelig godt akustisk miljø, må alternative akustiske løsninger benyttes. Eksempler på alternative akustiske løsninger er lydbaffler hengende fra taket eller på veggene, akustisk puss, senket akustiske paneler, eller interiørløsninger som bokhyller, gardiner, tepper og utvidet bruk av akustiske materialer på møbler.

Bruk av naturlig ventilasjon med åpningsbare vindu i fasaden krever også en vurdering av risiko for støy utenfra og inn.

## 18. Vedlegg 4 - Forenkling og utfordringer i forhold til Arbeidstilsynets veiledninger

**Veiledende krav fra arbeidstilsynet er basert på objektive kriterier, og de kan trolig ikke alle nås i med forenklet design. Det er for svært viktig å dokumentere at det valgte design i en helhet vil gi et inn klima på nivå med tradisjonelle løsninger. For å sikre dette er et tett dialog med arbeidstilsynet i tidlig fase avgjørende.**

Arbeidsmiljøloven og forskrifter til denne stiller krav til bygninger og deres utførelse som først og fremst har betydning for bygningenes anvendelighet som arbeidslokaler. Arbeidstilsynet har gitt veiledningen «Veiledning om Klima og luftkvalitet på arbeidsplassen, veiledning nr. 444 (Arbeidstilsynet, 1991)» som omhandler dette.

Arbeidsplassforskriften § 2–14 regulerer klima, ventilasjon, luftkvalitet mv. i arbeidslokaler.

«Det følger av arbeidsplassforskriften § 2–14 at arbeidslokaler skal være utformet og innredet slik at de enkelte arbeidsplasser, personalrom mm får tilfredsstillende klima med hensyn til temperatur, fuktighet, trekk, luftkvalitet, og sjenerende lukt, og beskyttelse mot giftige eller helsefarlige stoffer mv» (Arbeidstilsynet, 1991)

Veiledende krav som er aktuelle å vurdere i tilknytning til forenklet design er

- Minimum 6 m<sup>2</sup> pr arbeidsplass
- Minimum dokumenterte luftmengder:
  - Med bruk av lavemitterende materialer (krav i TEK) 2,5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> h
  - Personer 26 m<sup>3</sup>/person
- Romtemperatur i intervallet 22- 26 °C. Overskridelser av den høyeste grensen bør man kunne akseptere i varme sommerperioder ved utelufttemperatur over 22 °C. Men overskridelsen bør ikke utgjøre mer enn 50 timer pr. år i lokalenes brukstid
- Krav til luftkvalitet. Et vanlig brukt mål for luftkvalitet er luftens innhold av CO<sub>2</sub>, og et vanlig anvendt nivå er 1000 ppm (part per million) for å sikre god luftkvalitet, men dette krav er ikke anført direkte i 444. Luftmengde-kravet over på 26 m<sup>3</sup>/person vil vanligvis bety at kravet nås.
- Filtrering av uteluft med luftfilter som minst være av klasse EU7.
- Lufthastighet < 0,2 m/s.
- Ingen trekk

I tillegg vil standarden «NS-EN 15251 Inneklimaparametere for dimensjonering og vurdering av bygningers energiytelse inkludert inneluftkvalitet, termisk miljø, belysning og akustikk», bli lagt til grunn for kontorer og yrkesbygg med forholdsvis lett fysisk arbeid. Internasjonalt arbeides med utvikling og implementering av såkalte adaptive standarder hvor det gis rom for høyere temperaturer om sommeren og lavere om vinteren basert på menneskers evne til å tilpasse seg til årstidene både fysiologisk og med bekledning (Arbeidstilsynet, 1991).

Om naturlig ventilasjon skrives i 444 «Ventilasjon med avtrekksvifter og spalter i yttervegg har vist seg å gi så mye problemer med trekk at dette ikke kan aksepteres som nyinstallasjon med mindre det kan gis overbevisende dokumentasjon for at forholdene blir akseptable» (Arbeidstilsynet, 1991).

Videre skrives det om åpningsvinduer at «Ved bruk av «naturlig» ventilasjon hvor vifter ikke inngår, så må det også dokumenteres at termiske forhold og luftkvalitet blir tilfredsstillende. Arbeidslokaler bør ha vinduer til å åpne slik at lufting i tillegg til ventilasjonen er mulig» (Arbeidstilsynet, 1991).

Utgangspunkt for Arbeidstilsynet godkjenning er objektive kriterier – det vil si krav som er vist i avsnittet over knyttet til minimums-luftmengder, lufthastigheter mm. Arbeidstilsynet legger spesielt vekt på kravspesifikasjoner og dokumentasjon for bygninger beregnet for utleie.

Med forenklet design, og spesielt med naturlig ventilerte bygg, er det ikke mulig å måle og dokumentere alle krav direkte, og det er svært viktig å gjennomføre en dialog med arbeidstilsynet i tidlig fase av prosjektet. Det er også svært viktig å legge til rette for alternative metoder for dokumentering av krav når de ikke kan dokumenteres direkte. For eksempel er det vanskelig å dokumentere ventilasjonsluftmengder i naturlig ventilerte bygninger. Et alternativ er her å logge CO<sub>2</sub>-verdier løpende på SD anlegg eller tilvarende. For eksempel vil for høye lufthastigheter og trekk i forbindelse med utlufting overskride krav. Et avhjelpende tiltak kan være å ha en rutiner og instruks på hva medarbeideren skal gjøre i den situasjonen.

Forenklet design som bygget 2226 er ikke standard godkjent fra Arbeidstilsynet. Godkjenning må utarbeides i et samspill og en dialog der det dokumenteres at avvik fra gjeldende krav kompenseres gjennom andre tiltak og kvaliteter i bygget. Et viktig premiss for godkjenning av forenklet design og avvik fra preaksepterte løsninger, er at målet med å bruke alternativ løsning ikke er innsparing i investeringskostnad, og at det oppnås et tilfredsstillende inneklima.



## 19. Vedlegg 5 - Forenkling og krav fra leietaker

**Forenklet design krever åpen og ærlig dialog ti tidlig fase mellom utleiemeglere, leietaker og utbygger for å synliggjøre alle utfordringer og kvaliteter i bygg med forenklet design av tekniske systemer.**

Hva sier leietaker, og hvilke utfordringer er knyttet til forventninger fra leietakere? Hvordan kan disse møtes? Inntil det finnes og vises til velfungerende referanser i Norge, krever forenklet design et tett dialog med kommende leietaker for å møte de spørsmål som leietakeren umiddelbart vil stille; passer dette til vårt image? er vi garantert godt inneklima? er det en økonomisk fordel for leietaker eller er det bare en måte å redusere kostnad for utbygger?

Det er viktig å møte disse utfordringene, og Grønn Byggallianse vil 2016 utarbeide standard kravspesifikasjon som kan svare på noen av spørsmålene. Samtidig må det også vurderes kritisk om alle leietakere vil bli fornøyde i bygg med forenklet design. Det er viktig å være åpne og ærlige rundt utfordringene i bygg med forenklet design. Trolig vil ikke alle leietakere samlet vurdere at kvalitetene i bygg med forenklet design kompenserer ulempene. Disse leietakerne vil foretrekke bygg med mer avanserte tekniske systemer.

For å møte myter og utfordringer, og for å få til gode velfungerende fleksible løsninger med forenklet design kreves økt kunnskap om dette for alle aktører; utleiemeglere, VVS-konsulenter, arkitekter, utbyggere og leietakere.

## 20. Vedlegg 6 - Forutsetninger for LCC-beregninger

Forutsetninger for beregning		Inv. Kostnad		Kilde
<b>Luftmengder</b>				
Basis luftmengder alternativ 2		2	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h	
Basis luftmengde alternativ 3		4	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h	
Luftmengder balansert mekanisk ventilasjon (maksimal luftmengde 12 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h) alternativ 4		10	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h	
<b>Budsjett enhetspriser</b>				
Balansert mek. ventilasjon basis uten kjøling		102	kr/m <sup>3</sup> *h	3.6.0.0100 Norsk prisbok Luftbehandling komplet kontor CAV + isolasjon mm 20%
Balansert mek. ventilasjon basis med kjøling		124	kr/m <sup>3</sup> *h	3.6.0.0104 Norsk prisbok Luftbehandling komplet kontor VAV + isolasjon mm 20%
Del pris luftbehandlingsutstyr aggregater/vifter mm		37	kr/m <sup>3</sup> *h	3.6.5.0100 Norsk prisbok
Del pris kanalnett		44	kr/m <sup>3</sup> *h	3.6.2.0100 Norsk prisbok
Del pris luftfordelingsutstyr spjeld, ventiler mm		21	kr/m <sup>3</sup> *h	
Solavskjerming pr enhet (inkl. styring)		2500	kr/stk	Enhetspris fra prosjekt
Panelovner		100	kr/m <sup>2</sup>	
Vannbåren varme		549	kr/m <sup>2</sup>	Norsk prisbok kontor
Forenklet vannbåren varme		302	kr/m <sup>2</sup>	55% av full pris. Pris Power House 285 kr/m <sup>2</sup>
Komfortkjøling for kontor		270	kr/m <sup>2</sup>	3.7.0311 Norsk prisbok - justert til 50%
Toppsystem		300000	kr/stk	Anslag
<b>Arealer modell</b>				
Antall vindusmotorer pr sone		4	stk	
Antall VAV-spjeld pr sone i avtrekk		1	stk	
Antall VAV-ventiler pr. sone		2	stk	
Antall soner		60	stk	
Areal per sone		42	m <sup>2</sup>	Areal soner er eks. mørkeareal i midtre del av bygg
Samlet BRA for case bygg		3000	m <sup>2</sup>	
<b>Investeringskostnad nat vent sone motorer + automatikk</b>				
Samlet sonepris		41300	kr/sone	
<b>Investeringskostnad automatikk VAV sone</b>				
Samlet sonepris		8550	kr/sone	

<b>Forutsetninger for årskostnadsberegning</b>			
Kalkulasjonsrente		4,00 %	
Levetid automatikk		15	
Levetid Nat.vent (snitt for all komponenter)		30	
Levetid ventiler og VAV-spjeld mm		30	
Levetid kanal system ventilasjon+ aggregater		30	
Levetid bygg		60	
Levetid oppvarming		30	
Levetid kjøling		30	
Levetid solavskjerming		15	
<b>Vedlikehold - prosenter av investeringskostnad</b>			
Bygning		0,50 %	
Kanaler og aggregater		3,00 %	Inklusiv filterskift
Komponenter VAV + bevegelige deler over himling		3,00 %	Ikke synlige VAV systemer mere kompliserte å vedlikeholde, sammenlignet med synlige systemer.
Komponenter VAV + bevegelige deler synlige visuell kontroll		1,50 %	Synlige VAV systemer enklere å vedlikeholde.
Automatikk		3,00 %	
Sone automatikk		3,00 %	
Oppvarming panelovner		0,50 %	
Oppvarming vannbåren		1,00 %	
Solavskjerming		1,50 %	
Komfort kjøling		1,50 %	

## 21. Vedlegg 7 - Forutsetninger for kompleksitet beregninger

<b>"Kompleksitet" verdier</b>		
<b>Styring regulering</b>		
DI / DO		0,5 poeng
AO / AI		1 poeng
<b>Drift og vedlikehold komponenter</b>		
VAV Spjeld		2 poeng
VAV Ventil		2 poeng
AV/PÅ spjeld		1 poeng
Vindus motor		2 poeng
Skjult montering for bruker - over himling.		1 poeng
Synlig montering - visuel feilobservasjon mulig.		-1 poeng
Vifter		2 poeng
Motorventiler		2 poeng
Sirkulasjonpumper		1 poeng
Roterende gjenvinner		2 poeng
Radiator ventiler i sone		2 poeng
Solavskjerming		2 poeng

Anslag automatikk komponenter for 4 alternative ventilasjonstrategier											
"Kompleksitet"	Alternativ 1		Alternativ 2		Alternativ 2A		Alternativ 3		Alternativ 4		
	Naturlig ventilasjon		Hybrid ventilasjon		Hybrid ventilasjon		Hybrid ventilasjon		Balansert mekanisk vent.		
			(CAV 2 m3/m2 h mek. ventilasjon)		(CAV 2 m3/m2 h mek. ventilasjon)		(CAV 4 m3/m2 h mek. ventilasjon)		(VAV 2,5-12 m3/m2 h mek. ventilasjon)		
	Automatisk vindu		Automatisk vindu		Manuelt vindu		Automatisk vindu		Ingen vindus lufting		
	Antall	"Kompleksitet"	Antall	"Kompleksitet"	Antall	"Kompleksitet"	Antall	"Kompleksitet"	Antall	"Kompleksitet"	
<b>DI - Digitale innganger</b>											
Kontakt trykk vindusåpner	60	30	60	30	0	0	60	30	0	0	
Filtervakt	0	0	2	1	2	1	2	1	6	3	
Røykmelder	0	0	2	1	2	1	2	1	6	3	
Frostvakt	0	0	1	0,5	1	0,5	1	0,5	3	1,5	
Vifter toaletter	1	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	
<b>Total</b>	<b>61</b>	<b>31</b>	<b>65</b>	<b>33</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>65</b>	<b>33</b>	<b>15</b>	<b>8</b>	
<b>Indeks</b>	<b>407 %</b>	<b>407 %</b>	<b>433 %</b>	<b>433 %</b>	<b>33 %</b>	<b>33 %</b>	<b>433 %</b>	<b>433 %</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>	
<b>DO - Digitale utganger</b>											
Sirkulasjonspumper varme	0	0	1	0,5	1	0,5	1	0,5	3	1,5	
Sirkulasjonspumper kjøling	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1,5	
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0,5</b>	<b>1</b>	<b>0,5</b>	<b>1</b>	<b>0,5</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	
<b>Indeks</b>	<b>0 %</b>	<b>0 %</b>	<b>17 %</b>	<b>17 %</b>	<b>17 %</b>	<b>17 %</b>	<b>17 %</b>	<b>17 %</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>	
<b>AI - Analoge inngang</b>											
CO2 sensor sone	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	
Temperatur sensor sone	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	
Temperatursensor aggregat	0	0	4	4	4	4	4	4	12	12	
Kanal trykk sensor	0	0	2	2	2	2	2	2	6	6	
Utetemperatur	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Vindhastighet	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Vindretning	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	
Solintensitet horisontal	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Solintensitet fasader	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	
<b>Total</b>	<b>124</b>	<b>124</b>	<b>130</b>	<b>130</b>	<b>130</b>	<b>130</b>	<b>130</b>	<b>130</b>	<b>145</b>	<b>145</b>	
<b>Indeks</b>	<b>86 %</b>	<b>86 %</b>	<b>90 %</b>	<b>90 %</b>	<b>90 %</b>	<b>90 %</b>	<b>90 %</b>	<b>90 %</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>	

Anslag automatikk komponenter for 4 alternative ventilasjonstrategier										
"Kompleksitet"	Alternativ 1		Alternativ 2		Alternativ 2A		Alternativ 3		Alternativ 4	
	Naturlig ventilasjon		Hybrid ventilasjon		Hybrid ventilasjon		Hybrid ventilasjon		Balansert mekanisk vent.	
			(CAV 2 m3/m2 h mek. ventilasjon)		(CAV 2 m3/m2 h mek. ventilasjon)		(CAV 4 m3/m2 h mek. ventilasjon)		(VAV 2,5-12 m3/m2 h mek. ventilasjon)	
	Automatisk vindu		Automatisk vindu		Manuelt vindu		Automatisk vindu		Ingen vindus lufting	
	Antall	"Kompleksitet"	Antall	"Kompleksitet"	Antall	"Kompleksitet"	Antall	"Kompleksitet"	Antall	"Kompleksitet"
<b>AO - Analoge utganger</b>										
Styring vindus motor	60	60	60	60	60	60	60	60	0	0
Styring solavskjerming	0		0		0	0	0		3	3
Styring VAV spjeld	0	0	0	0	0	0	0	0	60	60
Styring radiator ventil sone	60	60	60	60	60	60	60	60	0	0
Styring frekvens vifter	0	0	2	2	2	2	2	2	6	6
Roterende gjenvinner	0	0	1	1	1	1	1	1	3	3
Motorventil varme	0	0	1	1	1	1	1	1	3	3
Motor ventil kjøling	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3
<b>Total</b>	<b>120</b>	<b>120</b>	<b>124</b>	<b>124</b>	<b>124</b>	<b>124</b>	<b>124</b>	<b>124</b>	<b>78</b>	<b>78</b>
<b>Indeks</b>	<b>154 %</b>	<b>154 %</b>	<b>159 %</b>	<b>159 %</b>	<b>159 %</b>	<b>159 %</b>	<b>159 %</b>	<b>159 %</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>
<b>Aktuatorer</b>										
Vindus motor	240	240	240	240	0	0	240	240	0	0
Dynamisk ventil	0	0	0	0	0	0	0	0	120	240
VAV spjeld avtrekk soner	0	0	0	0	0	0	0	0	60	180
AV/PÅ spjeld	1	1	2	2			2	2	6	6
Solavskjerming	0		0		0	0	0		90	90
Vifter	1	2	2	4	2	4	2	4	6	12
Motorventiler	0	0	1	2	1	2	1	2	6	12
Sirkulasjon pumper	0	0	1	1	1	1	1	1	6	6
Roterende gjenvinner	0	0	1	2	1	2	1	2	3	6
Radiator ventiler i sone	60	60	60	60	60	60	60	60	0	0
<b>Total</b>	<b>302</b>	<b>303</b>	<b>307</b>	<b>311</b>	<b>65</b>	<b>69</b>	<b>307</b>	<b>311</b>	<b>297</b>	<b>552</b>
<b>Total antall styringspunkter</b>	<b>305</b>		<b>320</b>		<b>260</b>		<b>320</b>		<b>244</b>	
<b>Total antall aktuatorer</b>	<b>302</b>		<b>307</b>		<b>65</b>		<b>307</b>		<b>297</b>	
<b>Samlet "kompleksitet"</b>		<b>578</b>		<b>598</b>		<b>326</b>		<b>598</b>		<b>786</b>
<b>Indeks samlet kompleksitet</b>		<b>74 %</b>		<b>76 %</b>		<b>42 %</b>		<b>76 %</b>		<b>100 %</b>



## Eiendomsbransjens nettverk for miljøkunnskap og handling

Grønn Byggallianse er et miljønettverk bestående av de største utbyggerne og forvalterne i Norge. Alliansen er en arena for aktive utbyggere som ønsker å være i front på miljøområdet. Grønn Byggallianse er et kompetanse- og informasjonssenter for medlemmene og myndighetenes sparringpartner i byggenæringen innen miljøspørsmål. En rekke av Norges største eiendomsaktører, med en bygningsmasse på over 35 millioner kvadratmeter, er i dag medlemmer i Grønn Byggallianse.

For mer informasjon, se [byggalliansen.no](http://byggalliansen.no) eller ta kontakt:



**Katharina Th. Bramslev**

Daglig leder

[katharina.bramslev@byggalliansen.no](mailto:katharina.bramslev@byggalliansen.no)

Telefon 97 75 88 97