

Oppvarming via tilluft

VEILEDNING OG KRAV FOR NÆRINGSBYGG MED ENERGIAMBISJONER



SINTEF Fag

Kari Thunshelle

Oppvarming via tilluft

Veiledning og krav for næringsbygg med energiambisjoner

SINTEF akademisk forlag

SINTEF Fag 38

Kari Thunshelle

Oppvarming via tilluft

Veiledning og krav for næringsbygg med enerigambisjoner

Emneord: Ventilasjon, oppvarming, passivhus, aktive tilluftsventiler

Prosjektnummer: 102003309 For Klima

ISSN 1894-1583

ISBN 978-82-536-1526-4

© Copyright SINTEF akademisk forlag 2016

Materialet i denne publikasjonen er omfattet av åndsverklovens bestemmelser. Uten særskilt avtale med SINTEF akademisk forlag er enhver eksemplarframstilling og tilgjengeliggjøring bare tillatt i den utstrekning det er hjemlet i lov eller tillatt gjennom avtale med Kopinor, interesseorgan for rettighetshavere til åndsverk. Utnyttelse i strid med lov eller avtale kan medføre erstatningsansvar og inndragning, og kan straffes med bøter eller fengsel.

SINTEF akademisk forlag

SINTEF Byggforsk

Forskningsveien 3 B

Postboks 124 Blindern

0314 OSLO

Tlf.: 73 59 30 00

www.sintef.no/byggforsk

www.sintefbok.no

Innhold

1	FORORD	5
2	INNLEDNING	6
3	METODIKK	7
3.1	OVERSIKT	7
3.2	MÅLINGER I FELTLAB OG LABORATORIER	7
3.3	CFD SIMULERINGER	8
3.4	INTERVENsjONSSTUDIER	8
3.5	LOGGDATA FRA MILJØHUSET GKs SD-SYSTEM	9
3.6	INDIVIDUELL BRUKERSTYRING	9
3.7	KRAVSPESIFIKASJON OG ANBEFALINGER FOR PROSJEKTERING OG GOD DRIFT	9
4	FORUTSETNINGER FOR OPPVARMING VIA TILLUFT	10
-	LAVENERGIBYGG GIR NYE MULIGHETER	10
4.1	STRENGERE ENERGIKRAV	10
4.2	EN VESENTLIG FORBEDRET BYGNINGSKROPP.....	10
4.3	LAVT OPPVARMINGSBEHOV GIR MULIGHET FOR FORENKLING	11
4.4	BEDRE FORUTSETNINGER FOR TERMISK KOMFORT	12
4.4.1	<i>Vindu</i>	12
4.4.2	<i>Teoretisk mulighet for å ta vekk varmekilde</i>	12
5	KRITISKE FAKTORER VI ØNSKET Å SE NÆRMERE PÅ	14
6	HOVEDRESULTATER	15
6.1	TEMPERATURFORHOLD OG GOD TERMISK KOMFORT.....	15
6.2	AKSEPTABELT UTEN VARMEELEMENT UNDER VINDU?.....	16
6.3	VENTILASJONSEFFEKTIVITET (LUFTVEKSLINGSEFFEKTIVITET).....	17
6.4	EKSEMPEL FRA EN KALD VINTERDAG	17
6.5	FORNØYDE BRUKERE?	18
6.6	INDIVIDUELL BRUKERSTYRING	18
6.7	HOVEDKONKLUSJON FRA PROSJEKTET.....	19
7	ANBEFALTE TEKSTER TIL KRAVSPESIFIKASJON – KORTFATTET FUNKSJONSBEKRIVELSE	20
7.1	OM TEKSTENE.....	20
7.2	TEKSTER FOR TOTALENTREPRISE, NS 8407 KONTRAKT	20
7.3	TEKSTER FOR ANBUDSBESKRIVELSE – NS 8405	21
8	PROSJEKTERINGSVEILEDNING – VENTILASJON OG OVERTEMPERATUR	23
8.1	ANBEFALTE FOKUSOMRÅDER	23
8.1.1	<i>Oppvarmingsbehov</i>	23
8.1.2	<i>Krav til bygningskroppen</i>	23
8.1.3	<i>Anbefalinger for vindu</i>	24
8.1.4	<i>Kartlegging av bruk, tilstedeværelse og samtidighet</i>	24
8.1.5	<i>Internlaster fra utstyr</i>	25
8.2	ER DET GRUNNLAG FOR FORENKLET KLIMATISERING?	25
8.2.1	<i>Vurderingskriterier</i>	25
8.2.2	<i>Eksempel</i>	27
9	UTFORMING AV ANLEGG	28
9.1	GENERELT OM BEHOVSTYRTE ANLEGG	28
9.2	VALG AV VENTIL ER VIKTIG.....	28
9.3	TEMPERATURREGULERING	28

9.4	UTFORMING AV PLANLØSNING OG ANLEGG FOR GOD TEMPERATURREGULERING	29
9.5	LEIETAKER MÅ FORSTÅ FORUTSETNINGER OG BRUKSTILPASSING	29
10	ANBEFALINGER FOR GOD DRIFT	31
10.1	ERFARINGER	31
10.2	FOKUS PÅ GOD DRIFT OG ESTIMERT TID TIL OPPFØLGING	31
10.3	ERFARINGER SOM GIR FORNØYDE BRUKERE	31
10.4	NATTDRIFT.....	32
10.5	NYE TILTAK Å SE NÆRMERE PÅ	33
	REFERANSER.....	34

1 Forord

Denne prosjektrapporten er utarbeidet i forbindelse med forskningsprosjektet «ForKlima, forenklet behovsstyrt klimatisering av kontorbygg med svært lavt oppvarmingsbehov». Prosjektet er et Innovasjonsprosjekt i Næringslivet (IPN) med GK som prosjekteier og SINTEF Byggforsk som prosjektleder. Prosjektet er finansiert av Norges Forskningsråd og prosjektpartnere i perioden 2013–15. Partnere i prosjektet er GK, Multiconsult, COWI, Norconsult, Link Arkitektur, Trox Auranor, Statsbygg og HiOA og SINTEF Byggforsk

Gjennom to vintersesonger har prosjektet utført målinger i Miljøhuset GK og i laboratorier. Målingene har omfattet ulike intervensjonsstudier, simuleringer og beregninger som alle bidrar til å dokumentere at oppvarming via tilluft er mulig i denne type bygg.

Rapporten og andre prosjektresultater fra prosjektet kan lastes ned fra:

<http://www.sintef.no/projectweb/for-klima/>



2 Innledning

Nye lavenergibygger gir nye forutsetninger

Strengere energikrav gir oss nye bygg med svært lavt oppvarmingsbehov selv på kalde dager. Det gir rom for å tenke forenklete løsninger for oppvarming. Gjennom forskningsprosjektet «ForKlima, Forenklet behovsstyrt klimatisering av kontorbygg med svært lavt oppvarmingsbehov» har vi i prosjektperioden 2013–15 dokumentert at man med god prosjektering og drift kan løse hele oppvarmingsbehovet via temperert tilluft. Både objektive målinger og intervensjonsstudier med tilbakemelding fra brukerne dokumenterer godt inneklima og fornøyde brukerne.

Forutsetninger for oppvarming via tilluft

Mye har endret seg siden forrige gang vi forsøkte oppvarming via tilluft. Bygninger med godt isolert bygningskropp og behovsstyrt ventilasjon er den nye hverdagen i byggebransjen. Kapittel 4 og 8 beskriver hva som må til for å gjøre forenklet behovsstyrt klimatisering mulig, og viktige hensyn man må ta for å lykkes med slike løsninger.

Anbefalte tekster for kravspesifikasjon

Vi ønsker med denne rapporten å formidle en egnet kravspesifikasjon for installasjoner i kontorbygg med energi- og miljøambisjoner. Prosjektet fokuserer spesielt på hva som er viktig i forhold til oppvarming og vintersesongen. For sommertid fungerer denne typen anlegg som tradisjonelle anlegg.

Tekstene i kapittel 7 er tenkt benyttet av byggeier i tidligfase, men kan også være nyttige for utleiemeglere eller leietakere. Tekstene gir veiledning om hvilke krav som må stilles for å oppnå tilsvarende resultat i andre nye bygg som vi har dokumentert for Miljøhuset GK. Mange kravspesifikasjoner som benyttes i dag, er ikke tilpasset bygg som har bedre isolert bygningskropp, og som dermed kan være egnet for oppvarming via tilluft. Fokus i arbeidet med denne rapporten har vært hva som må spesifiseres ut over andre standard kravspesifikasjoner, krav i TEK (TEK10. Kommunal- og regionaldepartementet, 2010) og NS 3701. Hva må det være ekstra søkelys på, og hvor kan oppvarming via ventilasjon være i konflikt med dagens praksis? De anbefalte spesifikasjonene i kapittel 7 er utarbeidet for to hovedkategorier; totalentreprise (NS 8407) og programanbud (NS 8405)

Prosjekteringsveiledning

For å oppnå et godt resultat ut fra en funksjonsbasert kravspesifikasjon, er man avhengig av god dialog mellom alle parter: byggherre, bruker, utleiemegler og prosjekterende. Avklaring av forventninger og forutsetninger er et viktig stikkord for sluttresultatet. For bygg med svært lavt energibehov og oppvarming via tilluft, er det springende punktet i prosjekteringen om forholdene faktisk er tilrettelagt for denne type løsning. Blant annet vil lokalt klima, isoleringen av bygningskroppen og reelle internvarmelaster ha innvirkning på om løsningen med temperert tilluft er egnet. Rapportens kapittel 8 og 9 peker på viktige momenter som bør avklares i prosjekteringsprosessen og råd for utforming av anlegg.

Anbefalinger for god drift

Kapittel 10 gir anbefalinger for hvordan man best skal drifte anlegg med oppvarming via ventilasjon for å få fornøyde brukere. Anbefalingene bygger på prosjektresultater og driftserfaring. Informasjon om hvilke krav byggherre bør stille i kravspesifikasjonen for slike anlegg, er gitt i kapittel 7.

Utfyllende informasjon om hovedresultater fra prosjektet finnes på prosjektets hjemmeside <http://www.sintef.no/projectweb/for-klima/>

3 Metodikk

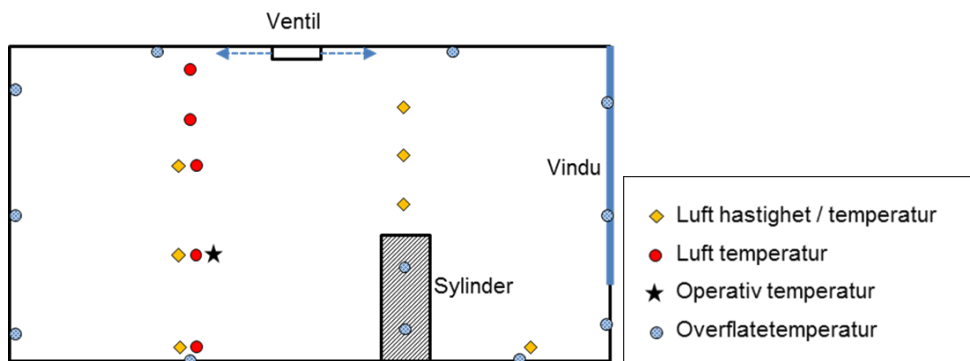
3.1 Oversikt

Prosjektet har gjennomført en rekke intervensjonsstudier der brukere har vært gjenstand for ulike driftsstrategier og tilluftstemperaturer. Brukerne har besvart spørreskjema om opplevd inneklima, samtidig som faktiske temperaturer er målt. Det gir oss god tilbakemelding på hvordan løsningen fungerer, fokuspunkter for prosjektering, og aktuelle driftsstrategier for overtemperatur med fornøyde brukere. Ved hjelp av simuleringer, beregninger og labforsøk har vi videre sett nærmere på de kaldeste dagene og mer ekstreme tilfeller av overtemperatur. Til sammen gir det et godt grunnlag for våre anbefalinger.

3.2 Målinger i feltlab og laboratorier

Målinger er gjennomført i feltlab i Miljøhuset GK og i SINTEF Byggforsks laboratorier.

Feltlaboratoriet er et vanlig cellekontor avsatt til forsøk. Det er gjennomført målinger av lufthastigheter og lufttemperaturer i ulik høyde og plassering i rommet, i tillegg til operativ temperatur og overflatetemperaturer. Som varmelaster er det benyttet en mannekeng for å illustrere person, samt bærbar PC. Målinger er gjort i henhold til NS- EN ISO 7726 og vurdert etter NS-EN ISO 7730.



Figur 1: Feltlab cellekontor, angivelse av målepunkter

Vi har ønsket å teste følgende scenarier:

- Fare for kortslutning: høy overtemperatur og lav luftmengde (case 1 og 2)
- Fare for trekk: stor luftmengde og lav overtemperatur (case 3 og 4)
- Normal vinterdag (case 5)

Case 1 og 3 er uten varmelaster, de andre er med. Lav luftmengde er satt til 17 l/s (som er normalventilasjon i et standard testkontor med 1 person til stede), høy luftmengde er satt til 50 l/s (som er maks luftmengde for den aktive tilluftsventilen). I feltlaboratoriet er det også kjørt sporgassforsøk for å kontrollere luftvekslingseffektiviteten. Den er kontrollert for case 1-4 ovenfor. Målinger i feltlab er nærmere beskrevet i egen artikkel (Cablé, Mysen og Thunshelle, 2014))

Tilsvarende forsøk er utført under mer kontrollerte forhold. De omfattet sporgassforsøk i SINTEF Byggforsks laboratorier for å teste luftvekslingseffektivitet ved ulike luftmengder og tilluftstemperaturer. Forsøk og resultater er nærmere beskrevet i Aslaksen (2014).

3.3 CFD simuleringer

Som et supplement til feltmålinger benyttes CFD-modellering og simuleringer. Ved hjelp av CFD kan man bedre beskrive luftbevegelser i rommet, luftvekslingseffektivitet, samt gjennomføre simuleringer for dimensjonerende forhold. Statistisk sett er det mange kalde vinterdager, mens dimensjonerende forhold ikke oppstår hvert år.

I feltlaboratoriet og i SINTEF Byggforsks laboratorier ble det målt en rekke overflatetemperaturer i ulike forsøk. Måleresultatene er benyttet som input til CFD-modellen. U-verdier og andre forhold ble satt likt som for Miljøhuset GK. Isotherme forhold ble først undersøkt. Senere er også dimensjonerende forhold for Oslo, -20 °C over tre døgn studert, med tilluftstemperatur på 24 °C mot en innetemperatur på 22 °C. Oppsett for CFD-modellen og resultater er nærmere beskrevet av Venås, Harsem og Børresen (2014).

3.4 Intervensjonsstudier

Prosjektet har gjennom to vintersesonger gjennomført en rekke intervensjonsstudier i Miljøhuset GK.

Brukere, både fra GK og andre leietakere, har vært gjenstand for ulike driftsstrategier og tilluftstemperaturer ut fra aggregat. Innledende studier ble gjennomført vinteren 2013–14, mens mer optimaliserte forsøk ble gjennomført i januar/februar 2015. Forsøksperioder er lagt til perioder med kaldest mulig utetemperatur, det vil si ned mot -10 °C eller kaldere. Forsøkene er kjørt med såkalt cross over design, der hver respondent blir utsatt for forskjellig overtemperatur og er sin egen referanse. Hver forsøksdag ble forsøkspersonene utsatt for et forsøk med «overtemperatur» og et forsøk med «normaltemperatur». Vinteren 2014 ble det gjennomført tester på 1/2 time med henholdsvis 24, 26 og 28 °C tilluftstemperatur ut fra aggregat, og tilsvarende 1/2 time med «normal» tilluftstemperatur på 21,5 °C ut fra aggregat som referanse.

Brukerne har for hvert forsøk besvart spørreskjema om opplevd inn klima. I videre analyser har vi kun tatt med resultater der samme respondent har svart både ved forsøk med overtemperatur og ved forsøk med normaltemperatur. Svarene er tatt videre til omfattende statistiske analyser i statistikkprogrammet R for å se etter signifikante utslag.

3.5 Loggdata fra Miljøhuset GKs SD-system

SD-anlegget i bygget logger kontinuerlig en rekke data. Systemet logger blant annet tilluftstemperatur og romtemperatur ved hver eneste tilluftsventil. For hver respondent i intervensjonsstudiene i vintersesongen 2015, er det tatt ut loggdata for tilluftsventilen nærmest deres plassering. På den måten har man kontroll med hvilke temperaturer hver respondent faktisk er utsatt for når skjema fylles ut. Loggdata benyttes også for å sjekke at faktisk tilluftstemperatur ut fra hvert aggregat i forsøksperioden er i tråd med settpunkttemperatur.

SD-anlegget benyttes generelt aktivt til oppfølging av god drift, og ble i ForKlima prosjektet brukt til å samle tilbakemeldinger om driftserfaringer.

3.6 Individuell brukerstyring

Den tekniske utviklingen går i retning av individuell brukerstyring. I prosjektet har to masterstudenter sett nærmere på hvordan muligheter for individuell brukerstyring påvirker hvor fornøyde brukerne er. Det er gjennomført studier for henholdsvis cellekontor og landskap. Eksempler på mulige brukergrensesnitt er evaluert via intervjuer med utvalgte brukere. Brukernes opplevde tilfredshet med inneklime ble undersøkt med samme spørreskjema som ble brukt for intervensjonsstudiene. Studien er nærmere beskrevet av Kasa (2015) og Antonsen (2015).

3.7 Kravspesifikasjon og anbefalinger for prosjektering og god drift

Prosjektet har opprettet en egen arbeidsgruppe for å se nærmere på anbefalinger fra prosjektet til andre bygg med svært lavt oppvarmingsbehov der det kan være aktuelt med oppvarming via tilluft. Hvilke krav må stilles, når kan vi forenkle, og hvordan drifte for å få fornøyde brukere? Prosjektgruppen har bestått av Multiconsult og COWI som rådgivere, Link Arkitektur, Statsbygg som byggeier, GK som entreprenør, samt SINTEF Byggforsk som forskningspartner.

Prosjektgruppen har sett på «beste praksis» for eksisterende kravspesifikasjoner. Ut fra rådgivernes erfaring ble det valgt ut en håndfull eksempler, som har blitt gjennomgått og analysert med hensyn til innhold og detaljnivå. Prosjektgruppen har videre vurdert hvilke parametere som er avgjørende for å skille mellom standard bygg, og hvilke krav som må stilles for at man kan vurdere løsning med forenklet klimatisering med oppvarming via tilluft. Basert på prosjektresultater er det utarbeidet tekster for spesifikke krav for to hovedkategorier; totalentreprise (NS 8407) og programanbud (NS 8405). Tekstene er tenkt benyttet av byggeier i tidligfase.

Hvordan kommer man fra kravspesifikasjon til et velfungerende bygg? I arbeidet med rapporten er det lagt til grunn at krav i TEK og NS 3701 følges. Basert på prosjektresultater, rådgivernes og GKs erfaringer har prosjektgruppen diskutert seg fram til hva som er annerledes for denne typen løsning sammenlignet med standard prosjektering av kontorbygg? Hva er kritiske parametere å sette fokus på i prosjekteringen, hva er nødvendige avklaringer med byggeieren, hvilke beregninger bør gjøres, og hvilke anbefalte verdier bør man gå ut ifra? Anbefalinger er gitt i kapittel 8 og 9 i rapporten.

Videre er det utviklet og evaluert forslag til anbefalinger for god drift. GKs driftserfaringer i Miljøhuset er et viktig bidrag til dette arbeidet. Rådgivernes erfaring fra andre prosjekter, samt SINTEF Byggforsks øvrige arbeid med behovsstyrte anlegg og ulike styringsstrategier, er andre viktige bidrag. På dette grunnlaget har prosjektet kommet fram til omforente anbefalinger for god drift som gitt i kapittel 10 i rapporten.

4 Forutsetninger for oppvarming via tilluft – lavenergibygg gir nye muligheter

4.1 Strengere energikrav

Strengere energikrav gir oss nye bygg med svært lavt oppvarmingsbehov selv på kalde dager. Det gir rom for å tenke forenklete løsninger for oppvarming. Gjennom forskningsprosjektet «ForKlima, Forenklet behovsstyrt klimatisering av kontorbygg med svært lavt oppvarmingsbehov» har vi i prosjektperioden 2013–15 dokumentert at man med god prosjektering og drift kan løse hele oppvarmingsbehovet via temperert tilluft. Både objektive målinger og intervensjonsstudier med tilbakemelding fra brukerne dokumenterer godt inn klima og fornøyde brukere.

4.2 En vesentlig forbedret bygningskropp



Figur 2. Mye har endret seg siden forrige gang oppvarming via tilluft ble forsøkt. Ulike tekniske ytelser for trehus er her illustrert ved forskjellige utgaver av «Trehus» fra SINTEF Byggforsk, hvor den nyeste (2014, til høyre) er oppgradert til passivhus.

Oppvarming via tilluft i kontorbygg har vært forsøkt tidligere, på 1980-tallet. Mange har dårlige erfaringer fra den gang. Dårligere isolerte bygg ga stort oppvarmingsbehov, hvilket resulterte i forholdsvis høy tilluftstemperatur. Høy tilluftstemperatur gir fare for kortslutning, ubehagelig strålingsvarme mot hodet og, kombinert med dårlig isolert bygningskropp, fare for strålingsasymmetri.

Strengere energikrav og visjon om plusshus gjør at dagens bygg har svært godt isolert bygningskropp og helt andre forutsetninger enn tidligere:

Tabell 1. Endrede krav, eksempler på typiske verdier

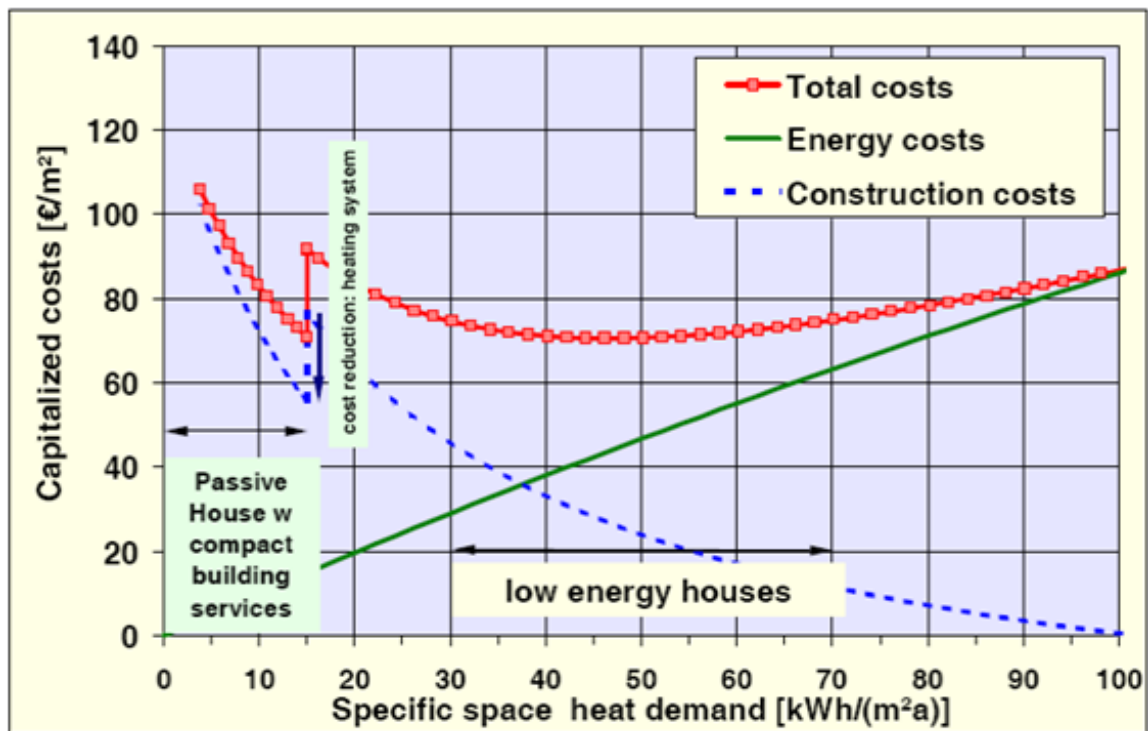
	Før 1987	Passivhus
Isolasjonstykkelse	10-15 cm	30 cm
U-verdi vegg	0,36 W/(m ² K)	0,12 W/(m ² K)
U-verdi vindu	1,6 W/(m ² K)	0,8 W/(m ² K)
Lekkasjetall	n ₅₀ = 1,5 oms/h	n ₅₀ = 0,6 oms/h
Varmebehov	ca 80 kWh/(m ² år)	15 kWh/(m ² år)

Bedre isolerte bygg gir vesentlig mindre behov for oppvarming. Oppvarmingsbehovet har gått fra å være til stede store deler av vinteren til bare å være aktuelt i kortere perioder. Når vi først har et oppvarmingsbehov i dagens bygg, er det ganske lite. Nødvendig overtemperatur for å oppfylle varmebehovet er dermed mye lavere enn tidligere.

I tillegg har vi gått fra ventilasjonsanlegg med konstante luftmengder til behovsstyrt ventilasjon. Behovsstyrte anlegg gir en helt annen mulighet for tilpasset ventilasjon enn tidligere. Samme effekt kan tilføres enten med lav overtemperatur og litt høyere luftmengde, eller med litt høyere temperatur og lavere luftmengde. Vi har mer fleksible system, og etter hvert også bedre muligheter for individuell tilpassing.

4.3 Lavt oppvarmingsbehov gir mulighet for forenkling

Diagrammet i figur 3 er fra passivhus-instituttet i Tyskland. Det bygger på vel begrunnede resultater og gjelder for boliger. Diagrammet viser at energikostnadene går ned etter hvert som vi isolerer og gjør andre tiltak. Kommer vi ned til ca. $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{år})$, når vi et (for tyske forhold) punkt der oppvarmingsbehovet er så lite at det er mulig å spare kostnader til eget oppvarmingsystem og heller ta oppvarmingen via tilluft. $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{år})$ tilsvarer et effektbehov på omtrent $10 \text{ W}/\text{m}^2$. Beregnet effektbehov for bygget forutsetter vanlige luftmengder i normale driftssituasjoner. Høyere effektbehov, for eksempel til oppvarming etter natt-/helgesenkning, er ikke tatt med. Kortere perioder med (intens) oppvarming kan være aktuelt.



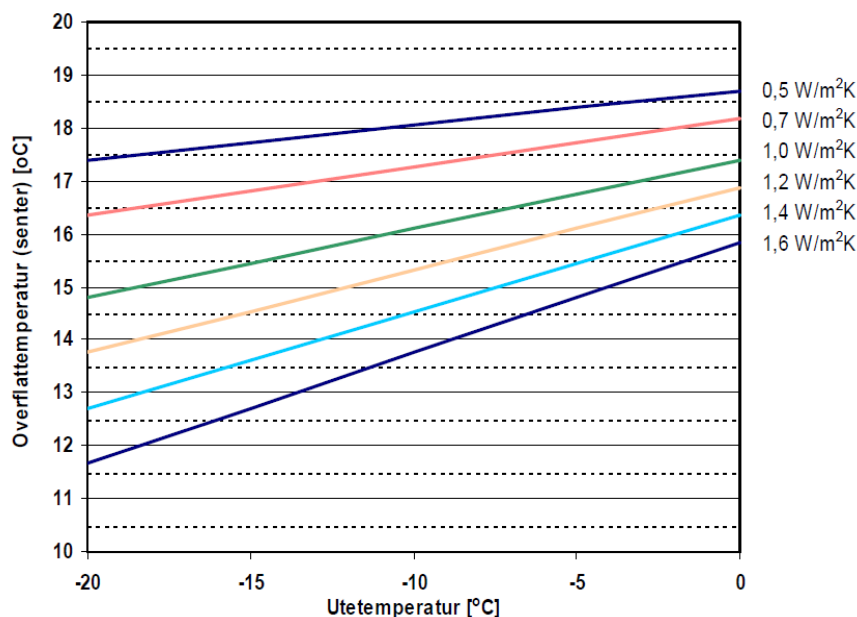
Figur 3. Muligheter for forenklet oppvarmingsystem. Kilde: Passivhusinstituttet i Tyskland(Feist, 2005)

Resultatene fra Passivhus-instituttet er utgangspunktet for kriteriene Dokka, Klinski, Haase og Mysen (2009) kom fram til i Rapport 42, videreutviklet til NS 3700 for boliger og NS 3701 for yrkesbygg.

Kriteriene i Rapport 42 var utgangspunktet da GK bygde Miljøhuset GK i Oslo, Norges første passivhus-kontorbygg, ferdig i 2012. De overnevnte forholdene var grunnlaget da GK gjorde forenklingene for sitt kontorbygg. Diagrammet i figur 3 gjaldt i utgangspunktet boliger i Tyskland. Det var behov for dokumentasjon for kontorbygg i Norge. Kontorbygg har andre ventilasjonsrater, annen utforming og annet bruksmønster. Ville forenklet oppvarming gi fornøyde brukere i Norge uten tilleggsvarme på kalde dager?

4.4 Bedre forutsetninger for termisk komfort

4.4.1 Vindu



Figur 4. Innvendig overflatetemperatur på glass med ulike isolasjonsevner (U_g) ved ulike utetemperaturer

Kilde: Basert på Håndbok 48 Ventilasjonsteknisk håndbok av Eimund Skåret (2000), kapittel 5.2.2 Kaldrasets fysikk)

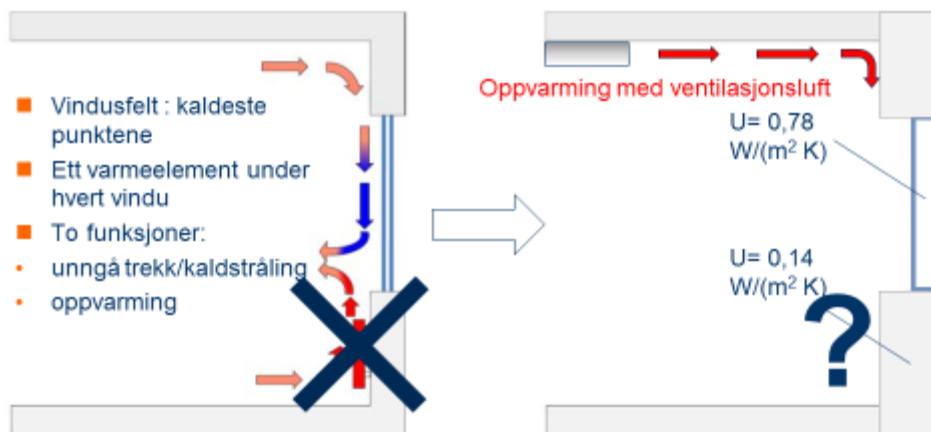
God termisk komfort kan vurderes etter NS-EN ISO 7730. Betingelser for termisk komfort er nærmere beskrevet i Byggforskserien 421.501.

Kort fortalt er vi avhengige av å ikke være utsatt for kald stråling og varierende temperaturer fra ulike flater. Vi må ha jevn temperatur over høyden i rommet og lave lufthastigheter for å unngå følelsen av trekk og termisk ubehag.

Bedre isolerte vinduer gjør at overflatetemperaturen på innsiden av vinduet øker. Med økende overflatetemperatur avtar den kalde stråling fra vinduet. Økt overflatetemperatur gir også redusert lufthastighet og omfang av kaldras slik at trekkfaren reduseres.

4.4.2 Teoretisk mulighet for å ta vekk varmekilde

Et tradisjonelt kontor har et betydelig varmetap og trenger oppvarming. Vindusfeltet vil normalt være en kald flate i bygningsskallet, og bidrar betydelig til kald stråling. Ved å plassere en varmekilde under vinduet oppnås en lokal oppvarming samtidig som kaldras (trekk) fra vinduet reduseres. Fram til i dag har den effekten som må avgis fra varmekilden for å motvirke kaldras stått i et balansert forhold til effekten som må tilføres rommet for å holde en akseptabel innetemperatur. Varmekilden tjener to funksjoner som sammen skaper et godt termisk inneklima.



Figur 5. Overgang fra tradisjonell løsning for kontor til oppvarming via tilluft

I et passivhus er hovedtanken at personer og utstyr skal varme opp bygget. Et godt isolert og tett bygg gir lite varmetap, og dermed lite behov for tilført varme. Vinduene har betydelig høyere u-verdi og gir vesentlig mindre kald stråling. Overflatetemperaturen på innsiden av vinduet er høyere, og det er lavere lufthastighet nær vindu og dermed mindre fare for trekk. Rammebetingelsene har bedret seg til et nivå der man teoretisk sett kan argumentere for at det er mulig å fjerne varmeelementet under vinduet og likevel oppnå akseptable forhold. Oppvarmingen kan gjøres via tilluft, siden nødvendig tilført effekt til rommet er svært lav. Utfordringen ligger i å dokumentere at det å fjerne varmeelementet under vinduet ved oppvarming med tilluft, faktisk gir gode resultater i norsk klima, og at brukerne er fornøyde. Fornøyde brukere er den beste attesten for at inneklimate virkelig er godt.

5 Kritiske faktorer vi ønsket å se nærmere på

Miljøhuset GK hadde tatt skrittet fullt ut og installert et forenklet system med oppvarming via tilluft. Systemet var behovsstyrt med aktive tilluftsventiler med justerbar spalteåpning, riktignok med el-staver som backup-løsning. Installert løsning i Miljøhuset GK ga grunnlag for å studere et reelt case, ikke bare gjøre teoretiske beregninger.

Basert på faktagrunnlaget da vi startet prosjektet og valgt løsning, ønsket vi å se nærmere på:

- Blir det dårlig omrøring og dårlig ventilasjonseffektivitet når vi har overtemperatur?
- Blir det trekk/termisk ubehag i rommet på grunn av overtemperatur?
- Er det fare for trekk på grunn av kaldras ved vindu?
- Er brukerne fornøyde?
- Hvilke overtemperaturer synes brukerne er akseptable?
- Hvordan er resultatene for en normal vinterdag og hva med ekstremtilfellene?
- Hva med individuell brukerstyring? Hvordan påvirker det brukertilfredsheten?

6 Hovedresultater

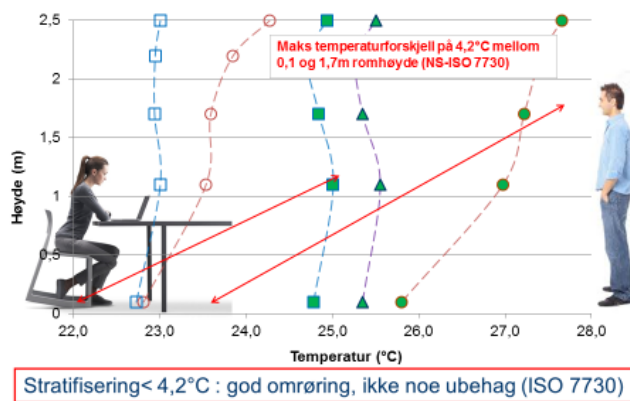
6.1 Temperaturforhold og god termisk komfort

Tabell 2 viser faktiske forhold som ble testet i feltlaben Miljøhuset GK vinteren 2014: case 1 og 2 med høy overtemperatur og lave luftmengder, case 3 og 4 med høye luftmengder og lav overtemperatur, samt case 5 en normal vinterdag.

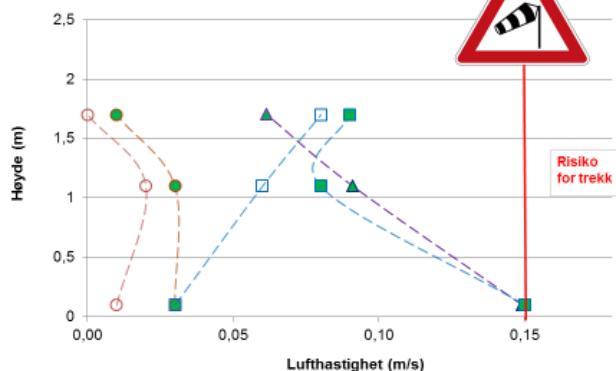
Tabell 2. Testverdier i feltlaben Miljøhuset GK 2014

Grenseverdier		Unit	Case 1	Case 2	Case 5	Case 3	Case 4
Luftmengde	V	l/s	17	17	35	48	49
Tilluftstemperatur	T	°C	31,1	32,0	23	24,2	24,1
Overtemperatur	ΔT	°C	7,5	5,0	- 4	1,2	0,8
Utetemperatur	T _{ute}	°C	-4,8	-7,0	4	-2,9	-1,8
Effekt	P ₀	W/m ²	16	11		8	5
Varmebelastninger	P	W/m ²	3	30	30	3	30

Temperatur i cellekontoret



Lufthastighet



Figur 6. Resultater fra målinger i feltlaben

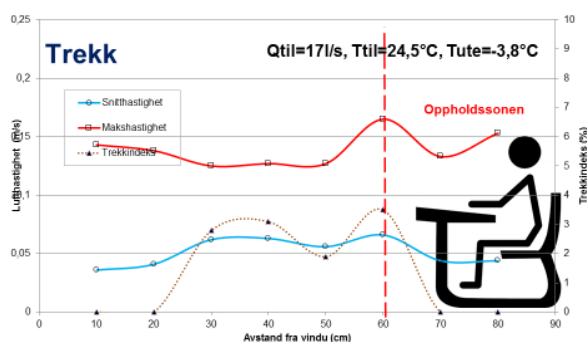
Illustrasjonene i figur 6 viser resultater for case med høy overtemperatur og lav luftmengde (røde kurver), lav overtemperatur og høy luftmengde (blå kurver), samt normal vinterdag

(lilla kurve). Måling uten varmelaster er tomme målepunkter på kurvene, måling med varmelaster er fylte, grønne målepunkter.

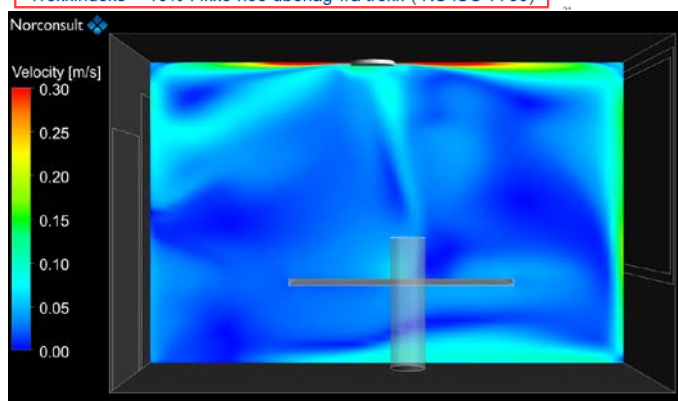
Vi ser at alle målingene er godt innenfor kravene til komfort i NS 7730. Det er liten temperaturforskjell over høyden i rommet, og det er lave lufthastigheter. Resultatene bekreftes av CFD-simuleringene, se blant annet figur 7 i kapittel 6.2. Resultatene indikerer at valgt ventil har svært gode egenskaper, som klarer å skape god omrøring selv ved høye tilluftstemperaturer og varierende luftmengder.

6.2 Akseptabelt uten varmeelement under vindu?

Oppholdssonen starter 60 cm på innsiden av vinduet. Innenfor denne sonen er det liten fare for trekk med en trekkindeks under 10 %. Målinger i Miljøhuset GK vinterstid viser lav trekkindeks, ca. 3 % eller lavere. Snitthastigheten ligger rundt 0,05 m/s helt inn mot yttervegg/vindu. Selv om målte maksimalhastigheter ligger noe høyere, er det god grunn til å anta fornøyde brukere etter kravene i NS ISO 7730 selv inntil vinduet.



Trekkindeks < 10% : ikke noe ubehag fra trekk (NS ISO 7730)



Figur 7. Eksempel på måleserie i feltlab, samt øyeblikksbilde av trekk fra CFD-simuleringer ved DUT(dimensjonerende utetemperatur)

Liten trekkfare bekreftes også gjennom CFD-simuleringer foretatt i prosjektet. Ved dimensjonerende utetemperatur viser resultatene noe luftbevegelser helt inntil vindu, men ikke hastigheter over 0,05 m/s eller forhold som kan betegnes som trekkfare.

Målinger og simuleringer i prosjektet tilsier at det er god grunn til å tro at løsning uten varmeelement under vindu vil gi tilfredsstillende termisk komfort og fornøyde brukere.

6.3 Ventilasjonseffektivitet (luftvekslingseffektivitet)

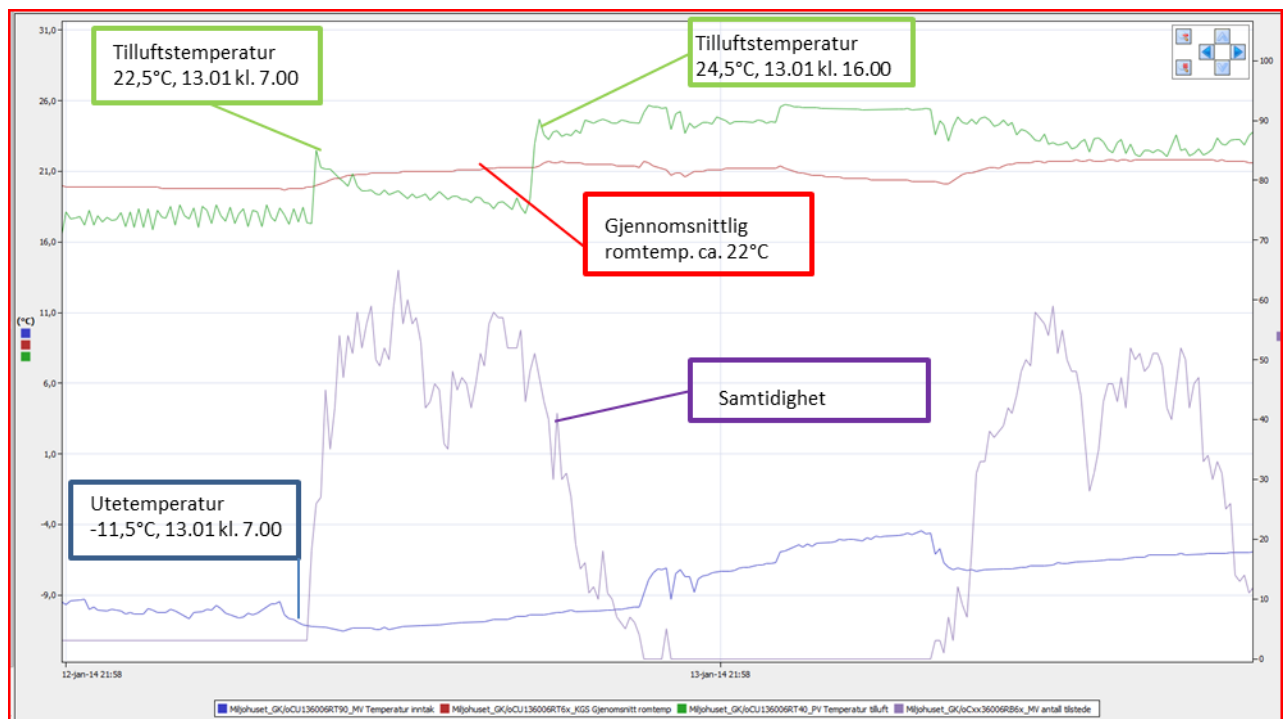
Ventilasjonsbransjen snakker mest om ventilasjonseffektivitet. Ventilasjonseffektivitet er forholdet mellom avtrekksluftens alder og forurensningens alder. Ventilasjonseffektiviteten blir 1 (100 %) ved fullstendig omrøring. Luftvekslingseffektivitet er derimot forholdet mellom avtrekksluftens alder og romluftens alder. Luftvekslingseffektiviteten er 50 % ved fullstendig omrøring. Det er mest vanlig å måle luftvekslingseffektivitet, for eksempel etter NORD TEST NT 019 og 047. Luftvekslingseffektivitet og ventilasjonseffektivitet er nærmere beskrevet i Byggeforskserien 552.351.

Både målinger i feltlab, laboratorium og CFD-simuleringer viser god luftvekslingseffektivitet for en rekke tilluftstemperaturer og ventilasjonsrater. Resultatene viser god luftvekslingseffektivitet når det er personer tilstede.

Et kritisk moment er høyere overtemperatur og lave luftmengder når det ikke er varmekilder tilstede. I tomme rom synker luftvekslingseffektiviteten ved en overtemperatur rundt 2 °C, litt avhengig av luftmengden. Se Venås mfl. (2014) for flere detaljer. Det anbefales å benytte litt høyere luftmengder framfor høyere tilluftstemperatur. Tiltak som avtrekk ved gulv viser seg å gi et vesentlig bedre resultat enn avtrekk ved tak ved høyere tilluftstemperaturer. Høyere tilluftstemperaturer skal normalt ikke være nødvendig, da 1–2 grader overtemperatur bør være tilstrekkelig i de fleste tilfeller.

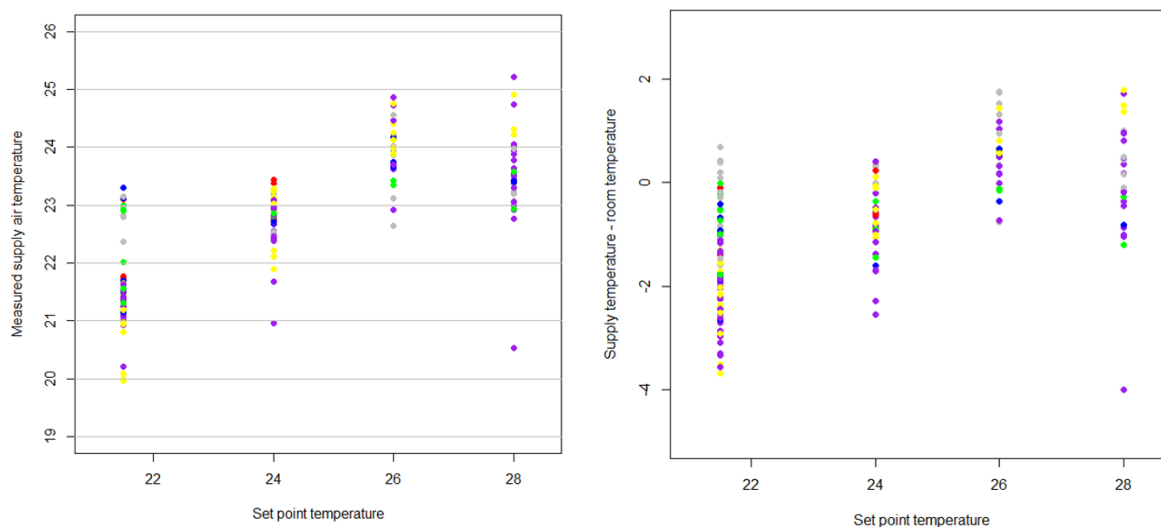
6.4 Eksempel fra en kald vinterdag

Figur 8 viser loggresultater fra SD-anlegget en vinterdag med utetemperatur på -11,5 °C om morgenen. Vi ser at tilluftstemperaturen er lavere enn romtemperaturen hele arbeidsdagen. Det er noe overtemperatur på tilluften kun om morgenen og etter arbeidsdagens slutt. Oppvarming med overtemperatur skjer på nattetid og ved en kort «boost» om morgenen.



Figur 8. Loggdata fra SD-anlegget i Miljøhuset GK en vinterdag med -11,5 °C

6.5 Fornøyde brukere?



Figur 9. Settpunkttemperatur for aggregat med tilhørende tilluftstemperatur på hvert leveransepunkt (t.v.) og temperatur over romtemperatur (t.h.)

De kaldeste dagene vinteren 2015, det vil si i januar og første uken i februar, ble det gjennomført forsøk. Utetemperaturen lå ned mot $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, noen dager litt mildere – rundt $-2\text{--}4\text{ }^{\circ}\text{C}$. I den øverste figuren er tilluftstemperaturen på hvert leveransepunkt koblet mot settpunkttemperatur for aggregat. Nederste figur viser overtemperatur (tilluftstemperatur over romtemperatur) for hvert leveransepunkt koblet mot settpunkttemperatur på aggregat. Figurene viser således hva vi faktisk har utsatt respondentene for.

Vi ser at ved $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ synker temperaturen med $1\text{--}1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ til leveransepunktet, for $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ synker det med ca. $2\text{ }^{\circ}\text{C}$. For $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ klarte vi bare å oppnå ønsket settpunkttemperatur i noen forsøk, mens vi endte opp rundt $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ for andre (på grunn av regulering i aggregatet). Der vi hadde $28\text{ }^{\circ}\text{C}$, sank temperaturen ca. $2,5\text{--}3,3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Respondentene våre har vært utsatt for korte perioder med isotherm eller opptil $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ overtemperatur i forhold til romtemperatur.

Vi endte opp med 82 svar fra kvinner og 108 svar fra menn. Brukerne ser ut til å være komfortable med korte perioder med overtemperatur. Selv med omfattende statistiske analyser har vi ikke avdekket signifikante forskjeller mellom etasjer, fasader, ulike leietakere etc. Derimot fant vi litt overraskende funn for kjønn.

Menn er stabilt fornøyd, og ser ikke ut til å påvirkes noe særlig av tilluftstemperaturen. Kvinnene, derimot, har vist at de i større grad er i stand til å skille mellom temperaturforhold enn menn, og de er mer sensitive overfor hvilken tilluftstemperatur de utsettes for. Isotherm tilluft eller tilluft med litt overtemperatur gir signifikant positivt utslag (symptomer og luftkvalitet). Mekanismene bak resultatet må vurderes nærmere.

6.6 Individuell brukerstyring

Masteroppgavene viser at muligheter for individuell brukerstyring gir større tilfredshet, selv om brukerne ikke alltid utnyttete muligheten så aktivt. I kontorlandskap er den reelle endringen per arbeidsplass ikke så stor, mens det naturlig nok er mer merkbar endring i cellekontor.

Romtemperaturen i Miljøhuset GK reguleres mot å ha flest mulig fornøyde brukere. Erfaringen er at romtemperaturen bør ligge rundt 22,5–23,5 °C. Dette nivået er høyere enn bransjen ofte snakker om, men harmonerer med verdier i NS 15251.

Det er grunnlag for å diskutere muligheter for å kunne tilføre lokal komfortvarme tilpasset de enkelte brukernes behov. Dette fordi det erfaringsmessig kan være enkeltindivid med andre temperaturpreferanser. Vi snakker om små effektbehov, i korte perioder noen få dager i året. De studerte ventilene gir indirekte mulighet til høyere temperatur ved å tilføre mer luft. Man kan også benytte løsninger med varmebatteri i ventilen, men det er ikke installert i Miljøhuset GK.

Betjeningspanelet for individuell brukerstyring må være enkelt og lett forståelig. Eksempler er nærmere beskrevet av Antonsen (2015)

6.7 Hovedkonklusjon fra prosjektet

Resultatene fra prosjektet viser at oppvarming via tilluft gir fornøyde brukere. Vi har dokumentert at det er mulig å oppnå i et godt isolert passivhusbygg i Oslo-klima, der det inngår aktive tilluftsventiler med egenskaper som Lindinvent-ventilen. Isoterm eller 1–2 °C overtemperatur gir fornøyde brukere, og ser ut til å være tilstrekkelig selv på kalde dager. Viktige forutsetninger er lavt oppvarmingsbehov, godt isolert vindu (U-verdi 0,8W/(m²K) eller bedre) og ventil med justerbar spaltehøyde i forhold til tilluftsmengde. Det vil være opp til prosjekterende i hvert enkelt prosjekt å beregne om forenkling er mulig, ut fra gitte forutsetninger, spesielt for andre klimasoner eller annen bygningskropp.

7 Anbefalte tekster til kravspesifikasjon – kortfattet funksjonsbeskrivelse

7.1 Om tekstene

Nedenfor følger anbefalte tekster til kortfattet funksjonsbeskrivelse i kravspesifikasjonen fra Byggherre (BH) for bygg der man ønsker oppvarming via tilluft.

Resterende kapitler i eksisterende kravspesifikasjon må kontrolleres slik at de ikke er i konflikt med disse anbefalingene. Funksjonsbeskrivelsen bør også legges ved som underlag til entreprenørene slik at de forstår forutsetningene for prosjektering og eventuelt kan komme med forslag til forbedringer.

7.2 Tekster for totalentreprise, NS 8407 kontrakt

Totalentreprenør (TE) prosjekterer og leverer et klimaanlegg hvor ventilasjonsanlegget også skal sørge for oppvarming av lokalene. Det skal i henhold til BHs krav ikke installeres et eget radiatoranlegg eller annet oppvarmingssystem i bygget. Rom med særskilte behov kan være unntak.

For å få til et vel fungerende anlegg er følgende momenter viktig:

- Bygningskroppen må være svært godt isolert slik at oppvarmingsbehovet blir svært lite. Vinduer må ha en U-verdi på $0,8W/(m^2K)$ eller bedre og bør ikke ha en høyde over 1,8 m for å unngå problemer med kaldras.
- BH framskaffer oversikt over og krav til interne varmelaster som skal legges til grunn for beregninger.
- TE setter seg grundig inn i forutsetninger og krav som er stilt til ventilasjonsanleggene og til de interne varmelastene som beregningene skal bygge på.
- TE lager sammen med BH en «oversiktstegning» som viser inndeling av bygget i ulike områder med ulike funksjoner. Fokus er på rom med spesielle krav til temperatur utover det vanlige, eksempelvis datarom, behandlingsrom, laboratorier.
- Ventilasjons- og oppvarmingskonseptet vurderes og planlegges nøye for ulike deler/soner av bygget.
- Varmebehovs- og klimaberegninger utføres. Det dokumenteres at krav i NS-EN 15251 – klasse II oppfylles. Eventuelle fravik diskuteres med BH og godkjennes.
- Avklaringene og forutsetningene over danner grunnlag for å velge aktuell løsning. Varmebatteri i aggregat, i tillegg til kanalbatteri for temperaturstyring av soner, er mulige løsninger.
- TE prosjekterer en optimal løsning for oppdeling av systemer/soner, plassering av aggregater, varmebatterier mv. Det legges vekt på rasjonelle/effektive føringsveier, og at nødvendig termisk isolering av tilluftskanaler er dokumentert. Se nærmere beskrivelser i kapittel 8 og 9.
- TE prosjekterer et fullverdig behovsstyrt ventilasjonsanlegg. Det er særskilt strenge krav til tilluftsentilener. Det må kunne dokumenteres at ventilene gir tilstrekkelig omrøring i rommet. Temperaturfordelingen i lokalet skal være innenfor kravene i NS 7730 ved overtemperatur opptil $2\text{ }^{\circ}\text{C}$, både ved store og små luftmengder. Romtemperaturen defineres i oppholdssonen, opp til 1,8 m over gulvnivået.
- Automatikk skal sørge for at luftmengden til rom eller soner reguleres for å opprettholde korrekt temperatur og holde et forsvarlig CO_2 -nivå i rom hvor det er aktuelt. Luftmengden i aggregat skal reguleres i forhold til luftbehovet ute i anlegget. Pådrag på ventiler styres av tilstedeværelse og temperaturføler, og i noen tilfeller CO_2 -føler.

7.3 Tekster for anbudsbeskrivelse – NS 8405

Mål: oppvarming uten bruk av lokal varme

Dette bygget skal utføres uten bruk av lokal varme for å dekke basisbehovet for oppvarming. Det innebærer at oppvarmingsbehovet dekkes av ventilasjon i alle rom hvor det er mulig, samtidig som et forsvarlig inneklime opprettholdes.

Begrepsforklaring

Basisbehovet for oppvarming: Oppvarmingsbehov opp til en innelufttemperatur på ca. 22,5 °C, en erfaringsbasert optimal temperatur ut fra brukertilbakemeldinger

Individuelt oppvarmingsbehov: Oppvarming for å tilfredsstille enkeltbrukerens behov utover basisbehov for oppvarming.

Overtemperert ventilasjonsluft: Ventilasjonsluft med temperatur over romtemperatur

Bakgrunn

Godt isolerte bygg kan ha så lavt effektbehov at oppvarmingssystemene kan forenkles. Forenkling er mulig når oppvarmingsbehovet dekkes av normale internlaste selv på årets kaldere dager. Det innebærer i praksis at styrt tilførsel av varme skjer i rom uten tilstedeværelse av mennesker.

Mennesker er forskjellige med ulike preferanser for komforttemperatur. I tillegg til å ivareta basisbehovet for ventilasjon og oppvarming, skal brukerne ha mulighet for individuell brukerstyring via aktiv tilluftsventil.

Ventilasjonsanlegg har normalt både kjøle- og oppvarmingsfunksjon. Selv på kalde dager kan enkelte rom ha et kjølebehov, mens andre har et oppvarmingsbehov.

Forutsetninger

Bygget er uten separat oppvarmingssystem (for eksempel radiatoranlegg) og baserer seg på at oppvarmingsbehovet i brukstiden stort sett dekkes av internlastene. Reelle internlaste kartlegges tidlig. Kritiske rom inneklimate regnes med utgangspunkt i årets kaldere dager. I henhold til SINTEF Byggforsk anbefaling er det akseptabelt å dimensjonere med kortere perioder (1/2 t) med isotherm eller en svak overtemperatur på 1–2 °C i normal brukstid. Utenfor brukstiden kan bygget varmes med lengre perioder med svak overtemperatur. 2 °C overtemperatur skal være tilstrekkelig selv ved en utetemperatur på -20 °C (DUT Oslo), gitt at bygget er svært godt isolert.

Løsningens egnethet må vurderes ut fra byggets infiltrasjons- og transmisjonsvarmetap, interne laste og lokale klimaforhold. Se kapittel 8 om prosjekteringsveiledning.

Tiltak for temperaturutjevning mellom rom, som åpne dører til møterom og kontor som ikke er i bruk, samt sirkulering av luft nattestid, er aktuelt.

Krav til ventilasjonsløsning

Ventilasjon skal regulere varmepådraget i forhold til ønsket romtemperatur. Det velges aktive tilluftsventiler. Tilluftstemperatur velges ut fra det samlede behovet og blir tilnærmet den samme for alle rom koblet til samme anlegg. Videre regulering av varmepådraget til hvert rom skjer ved å tilpasse luftmengden. Der ulike rom har samtidig varme- eller kjølebehov, prioriteres rom med oppvarmingsbehov, og tilluftstemperaturen styres i forhold til dette. I rom med kjølebehov styrer man mot en minste akseptabel luftmengde. Temperaturen blir da den den blir. Denne konsekvensen aksepteres ved valg av aktive tilluftsventiler uten ettervarmebatteri.

Alternativt vurderes bruk av tilluftsventiler med integrert ettervarmebatteri. Da velges sentral overtemperatur når alle rom har oppvarmingsbehov. Der ulike rom har samtidig varme- eller kjølebehov, styres tilluftstemperaturen i forhold til å dekke kjølebehøvet, og så ettervarmes ventilasjonsluften til rom med oppvarmingsbehov.

Minimumskrav til reguleringsfunksjonalitet

Ved ventilasjonsløsningen med aktive tilluftsventiler reguleres luftmengden (q) ut fra tilstedeværelse (TilstedeværelsesDetektor TD), romtemperatur (t_r) og kanaltemperatur (t_k).

Det gis rom for å legge inn to minimumsverdier for luftmengder, en minste luftmengde ($V_{\min 1}$) for rom uten tilstedeværelse, og for rom med tilstedeværelse ($V_{\min 2}$). Videre settes det en maksimal verdi (V_{\max}), som tilsvarer nødvendig luftmengde ved dimensjonerende behov for oppvarming eller kjøling.

Rom uten tilstedeværelse:	$V_{\min 1}$
Rom med tilstedeværelse og tilfredsstillende temperatur:	$V_{\min 2}$
Rom med tilstedeværelse og for høy temperatur	V regulerer mot V_{\max} hvis $t_k < t_r$ V regulerer mot V_{\min} hvis $t_k > t_r$
Rom med tilstedeværelse og for lav temperatur:	V regulerer mot V_{\max} hvis $t_k > t_r$ V regulerer mot V_{\min} hvis $t_k < t_r$

Tilsvarende temperaturregulering må kunne gjøres i rom uten tilstedeværelse, men innenfor et bredere temperaturområde

Dokumentasjon

Dokumentasjon skal vise at normale internlaste ved bruk overstiger oppvarmingsbehøvet det meste av vinterhalvåret. Grensene for dette avklares i hvert prosjekt.

Det skal foreligge dokumentasjon som begrunner valg av aktive tilluftsventiler uten ettervarmebatteri eller aktive tilluftsventiler med ettervarmebatteri.

8 Prosjekteringsveiledning – ventilasjon og overtemperatur

8.1 Anbefalte fokusområder

8.1.1 Oppvarmingsbehov

For å kunne avgjøre om et bygg egner seg for forenklete klimatiseringsløsninger, må man beregne om oppvarmingsbehovet er tilstrekkelig lite. Det er ikke nok at bygget har en lav energiramme.

Oppvarmingsbehovet må være så lite at det er dekket av internlastene (personer og utstyr) de fleste dagene i året. $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ år}) - 10 \text{ W}/\text{m}^2$ er et godt utgangspunkt. I tillegg kan man periodevis tilføre litt ekstra varme via tilluft på kalde dager. Avgjørende elementer for å benytte forenklet løsning er:

- Tilstrekkelig god bygningskropp
- Hvilke internlast er det i bygget som kan legges til grunn ved beregning av nødvendig effektbehov
- Hvilket klima står bygget i

Ut fra dette kan man ved beregninger avgjøre om nødvendig klimatisering kan løses via tilluft med moderat overtemperatur. For Klima-prosjektet har vist fornøyde brukere med bruk av kortere perioder med isoterm eller 1–2 grader overtemperatur på tilluften i forhold til romtemperatur. For å få til en vellykket tilførsel av varme, er valg av behovsstyrt ventilasjon, type ventiler og styring avgjørende. God drift og temperaturutjevning mellom rom er også viktig for et vellykket resultat.

8.1.2 Krav til bygningskroppen

Forutsetningen for å vurdere løsninger med varme via tilluft er et bygg med svært lavt oppvarmingsbehov. Bygget må oppfylle krav i TEK og benytte verdier i NS 3701 som retningsgivende. Vi vil gjøre oppmerksom på viktigheten av følgende forhold for å oppnå godt resultat med oppvarming via tilluft:

- Lave U-verdier og tett bygningskropp
- Yttervegger må ha fokus på å minimalisere kuldebroer
- Lavt lekkasjetall ($n_{50} < 0,6$)
- Tregt bygg er en fordel. Se også kapittel 10.4.

Verdier for Miljøhuset GK er gitt i tabell 3. Kravene er i henhold til Dokka mfl. (2009). Verdiene i rød ramme er faktisk oppnådde verdier. Disse verdiene er også benyttet som inputdata for CFD-beregningene foretatt i prosjektet.

Tabell 3. Krav og faktiske verdier for Miljøhuset GK

Energiytelse		
Beskrivelse	Verdi	Krav
Netto oppvarmingsbehov	10,6 kWh/m ²	15,0 kWh/m ²
Netto kjølebehov	9,3 kWh/m ²	10,0 kWh/m ²
CO ₂ -utslipp	22 kg/m ²	25 kg/m ²

Minstekrav enkeltkomponenter		
Beskrivelse	Verdi	Krav
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,14	0,15
U-verdi tak [W/m ² K]	0,10	0,13
U-verdi gulv mot grunn og mot det fri [W/m ² K]	0,09	0,15
U-verdi glass/vinduer/dører [W/m ² K]	0,80	0,80
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]	0,03	0,03
Årsmidlere temperaturvirkningsgrad varmegjenvinner ventilasjon [%]	88	80
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]:	1,2	1,50
Lekkasjetall (lufttetthet ved 50 Pa trykkforskjell) [luftvekslinger pr time]	0,50	0,60

8.1.3 Anbefalinger for vindu

Riktig utforming av vindu er viktig for et vellykket resultat. Velg vinduer (glass inkludert karm) med U-verdi bedre enn 0,8 W/(m²K). For å unngå fare for kaldras bør ikke vinduene være for høye. Vi anbefaler ikke høyere vinduer enn 1,8 m. Bruk knevegg, ikke vindu fra gulv til tak. Dokumentasjon fra Miljøhuset GK finnes i kapittel 6. Resultatene viser liten fare for kaldras, og som normalt bør ikke arbeidsplasser plasseres tett inntil vindu.

Høyere vindusflater bør vurderes særskilt, tiltak anbefales ved behov. Utfyllende informasjon og formelverk for beregninger finnes i Skåret (2000), kapittel 5.2 om kaldrasets fysikk og motvirkning. Vurderinger gjøres i henhold til Byggforskserien 421.501.

8.1.4 Kartlegging av bruk, tilstedeværelse og samtidighet

Personene i bygget er en viktig oppvarmingskilde i et passivhus. Med oppvarming via tilluft vil tilført effekt være avhengig av tilført luftmengde og temperatur. Det er derfor viktig å vite noe om bruk av ulike arealer i bygget, og tilrettelegge for god regulering.

Som i andre prosjekter med behovsstyrt ventilasjon er det viktig at byggeier tidlig har kartlagt hva slags bruk de forskjellige arealene skal ha. Type rom (kontorer, møterom, laboratorier, andre) og aktivitet kartlegges for prosjektering av luftmengder og temperatur. Med hensyn til behovsstyring trengs kunnskap om personene ofte er ute av lokalet, bruker de andre rom eller sitter de ved arbeidsplassen sin store deler av dagen?

Tilstedeværelsesfaktor (t) kan beregnes ved:

$$t = n_{\text{tilstede}} / n_{\text{dimensjonert}} \quad \text{der } n = \text{antall personer}$$

Typisk tilstedeværelsesfaktor i kontorbygg er i størrelsesorden 20–60 % i kontorbygg (Halvarsson, 2012).

Regnskapsbedrifter og call-sentre har typisk høyere tilstedeværelsesfaktor enn ingeniørbedrifter.

Er tilstedeværelsesfaktoren tatt ut i arealbruk eller skal det reguleres via ventilasjon?

Samtidighet (S) i et ventilasjonsanlegg kan uttrykkes ved:

$$S = \text{samtidig luftmengde} / \text{maksimal luftmengde.}$$

$$S = t + b - b * t$$

der

b = grunnventilasjon i rom/full ventilasjon i rom

Se Mysen og Schild (2014) for flere detaljer.

En lav tilstedeværelsesfaktor gir lavere varmetilskudd fra personer og utstyr til romoppvarming. Det kan da være behov for tilleggsvarme. Samtidigheten påvirker også faktisk tilskudd til romoppvarmingen. Er samtidigheten liten, blir det behov for å tilføre ekstra varme. Med høy samtidighet synker gevinsten av å behovsstyre ventilasjonen.

Rom som krever ekstra oppmerksomhet i forhold til stor personbelastning, forurensende belastning eller strenge/andre krav til ønsket temperatur i enkelte områder, må identifiseres tidlig i prosessen. ARK/RIV kan da ta hensyn til det i utarbeidingen av romlayout. Rom med avvikende behov kan gjerne samles.

8.1.5 Internlaster fra utstyr

Elektronisk utstyr som PC, skjerm og lignende er internlaster som er med på å dekke oppvarmingsbehovet i bygget. En god prosjekteringsprosess har derfor fokus på hvilket utstyr det er aktuelt å bruke i bygget. Generelt bør det stilles krav om lavt effektforbruk til teknisk utstyr som PC, skjermer og printere. Videre er det i prosjekteringen og beregninger viktig å ta utgangspunkt i reelle, oppdaterte verdier, da det hele tiden er en teknologisk utvikling. Reelle verdier kan ofte være lavere enn de som vanligvis benyttes som input for beregninger. Det finnes få gode oversikter. Det stilles krav til tekniske produkter for hviletilstand, men vi har ikke oppdaterte tall for bruk. Undersøkelser fra Multiconsult vinteren 2012 viser at en bærbar PC ved normal bruk ligger på ca. 12–28 W avhengig av størrelsen (12"–17"). En monitor på 24"–27" bruker ca. 30–50 W. Så langt det lar seg gjøre, bør man prøve å bruke reelle og oppdaterte verdier for beregninger i det konkrete prosjektet.

8.2 Er det grunnlag for forenklet klimatisering?

8.2.1 Vurderingskriterier

Basert på avklarte forutsetningene beskrevet i kapittel 6, må kritiske rom inneklimateberegnes for årets kaldeste dager. Beregningene kan gjøres med simuleringsverktøy som Simien, TekSjekk eller IDA-ICE.

Ut fra prosjekteringsresultatene gis følgende vurderingskriterier:

Løsningen er sikker når:

$P(\text{tr}+\text{inf}) < \text{Minimum Interne Varmetilskudd i rom i bruk}$

Løsningen kan vurderes når:

$P(\text{tr}+\text{inf}) < \text{Minimum Interne Varmetilskudd} + (L/3) \cdot 2^{\circ}\text{C overtemperatur}$

$P(\text{tr}+\text{inf})$ = Oppvarmingsbehov pga. transmisjons- og infiltrasjonsvarmetap [W/m^2]

Interne varmetilskudd = Personer, utstyr, lys

L = luftmengde [$\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$]

Anbefalingen er basert på at internlastene i utgangspunktet skal kunne dekke oppvarmingsbehov på grunn av transmisjons- og infiltrasjonsvarmetap. I henhold til NS 3031 kapittel 6.1.1.1 kan vi, ved eliminering av kuldebroer og balanserte luftmengder, beregne oppvarmingsbehovet ut fra:

$$P = (\Sigma UA + 0,33 \cdot n_{\text{inf}} \cdot V) \cdot dT_u / A_{\text{gulv}} \quad [\text{W/m}^2]$$

der:

$$n_{\text{inf}} = n_{50} \cdot e$$

e = terrengskjermingskoeffesient, standard verdi på 0,07

dTu er temperaturforskjell mellom romtemperatur og dimensjonerende utetemperatur

I tillegg kan vi benytte oss av oppvarming via tilluft, isotermt eller opp til to grader overtemperatur.

Vi kan sette opp følgende uttrykk for tilført effekt P ved en tilluftsmengde L [m³/h*m²]:

$$P = L \cdot (c_p \cdot \rho / 3600) \cdot dT_{\text{oppv}} = L \cdot (1005 \cdot 1,2 / 3600) \cdot 2 = L(1/3) \cdot 2$$

$$P = (L/3) \cdot 2 \quad [\text{W/m}^2]$$

der:

c_p er luftens varmekapasitet

ρ er luftens tetthet

dT_{oppv} er antall grader overtemperatur, maks to grader (= tilluftstemperatur – romtemperatur)

Kriterier for når oppvarming via tilluft kan benyttes

- Oppvarmingsbehovet må være svært lite, i størrelsesorden 15,0 kWh/(m²år), det vil si 10 W/m².
- Oppvarmingsbehovet må kunne dekkes av internt varmetilskudd de fleste dagene i året, med en svak overtemperatur de kaldeste dagene.
- Ut fra prosjektresultatene i ForKlima mener SINTEF Byggforsk det er akseptabelt med en overtemperatur på opptil 2 °C (i forhold til ønsket romtemperatur) de kaldeste dagene i året. Overtemperatur benyttes i kortere perioder med personer til stede. På nattetid, når lokalene ikke er i bruk, er det basert på driftserfaring akseptabelt med en noe høyere overtemperatur på rundt 3 °C og noe lengre perioder.
- CFD-beregninger gjort for Miljøhuset GK og dimensjonerende utetemperatur på -20°C (Oslo) viser at 2 °C overtemperatur gir akseptabelt inneklime selv på de kaldeste dagene, med utgangspunkt i romtemperatur på 22 °C.
- Løsningen krever behovsstyrt ventilasjon med aktive tilluftsventiler som opprettholder god lufthastighet og dermed omrøring i forhold til varierende luftmengde. Dette trengs for å opprettholde god ventilasjonseffektivitet og unngå fare for trekk. Ventilens egenskaper skal være dokumentert.
- Utjevning av temperatur mellom kritiske rom og kjernerom er i Miljøhuset GK løst med mulighet for nattdrift.

Hvis kriteriene ovenfor ikke kan innfris, er følgende tiltak aktuelle:

- Bedre isolering av bygningskropp hvis mulig
- Hvis overtemperatur på 2 °C ikke er tilstrekkelig, kan luftmengden økes uten at det må gi komfortproblemer. Høyere luftmengder gir mer tilført effekt.

Hvis tiltak ikke er nok, anbefales tradisjonell løsning.

- Hvis grensen på 2 °C overtemperatur ikke kan innfris, må det installeres muligheter for tilleggsvarme, enten i form av elektriske staver/ovner eller separat radiatoranlegg.

8.2.2 Eksempel

Vi vil vurdere et rom med følgende forutsetninger:

- Agulv = 10 m² (kontor)
- Fasadeareal: 7,5 m²
- Vindusareal: 2 m
- Takhøyde: 3 m
- U-vegg: 0,12 W/(m²K)
- U-vindu: 0,8 W/(m²K)
- Lekkasjetall: 0,6 oms/t
- Utetemp: -20 °C
- Innetemp: +20 °C
- Interne varmetilskudd:
 - Person: 7 W/m²
 - Lys: 4 W/m²
 - PC: 6 W/m²

Oppvarmingsbehov pga transmisjons- og infiltrasjonsvarmetap:

$$\begin{aligned} P(\text{tr+inf}) &= (\sum UA + 0,33 \cdot n_{\text{inf}} \cdot V) \cdot dT_u / A_{\text{gulv}} \\ &= (0,12 \cdot (7,5 - 2) + 0,8 \cdot 2 + 0,33 \cdot 0,07 \cdot 0,6 \cdot 10 \cdot 3) \cdot 40 / 10 \\ &= (0,66 + 1,6 + 0,42) \cdot 4 \\ &= \underline{11 \text{ W/m}^2} \end{aligned}$$

Oppvarmingsbehovet på grunn av transmisjons- og infiltrasjonstap er 11 W/m². Når kontoret er i bruk, vil internt varmetilskudd fra person, PC og lys dekke behovet:

$$\text{Interne varmelaster} = (7 + 4 + 6) \text{ W/m}^2 = 17 \text{ W/m}^2$$

Det er ikke behov for ekstra varmetilskudd (17 W > 11 W). NB. Dette er en statisk beregning

Mulig tilført effekt for å sikre termisk komfort (dynamisk beregning)

For å sikre termisk komfort kan man ventilere med 2°C overtemperatur i korte perioder med personer tilstede. Tilført effekt [P] ved en luftmengde på L=10 [m³/hm²] er da:

$$P = L \cdot (c_p \cdot \rho / 3600) \cdot dT_{\text{oppv}} = L \cdot (1005 \cdot 1,2 / 3600) \cdot 2 = L(1/3) \cdot 2 = 10(1/3) \cdot 2 = \underline{7 \text{ W/m}^2}$$

Nødvendig overtemperatur når kontoret ikke er i bruk:

Når kontoret ikke er i bruk, må oppvarmingsbehovet dekkes med overtemperatur. Nødvendig overtemperatur vil da være:

$$P = (L/3) \cdot dT_{\text{oppv}} \Rightarrow dT_{\text{oppv}} = P \cdot (3/L) = 11 \cdot 3/10 = \underline{3,3 \text{ °C}}$$

Vi ser at oppvarmingsbehovet kan dekkes av de interne varmelastene. I tillegg kan man varme noe med personer til stede og dekke varmebehovet i tomt rom med litt høyere temperatur. Her er det grunn til å vurdere bruk av oppvarming via tilluft. Dynamiske beregninger gjøres i tillegg for bedre vurdering.

9 Utforming av anlegg

9.1 Generelt om behovsstyrte anlegg

Når forutsetningene for forenklet behovsstyrt klimatisering er vurdert som akseptable, utformes anlegget i tråd med prosjektering av andre behovsstyrte anlegg. Utfyllende informasjon om sensorer, ulike systemløsninger, sonespjeld, automatikk og styring samt krav ved innkjøp etc. finnes i Byggforskserien:

552.323 *Behovsstyrt ventilasjon (DCV). Prinsipper*

552.324 *Behovsstyrt ventilasjon (DCV). Krav ved innkjøp og kontroll ved overlevering*

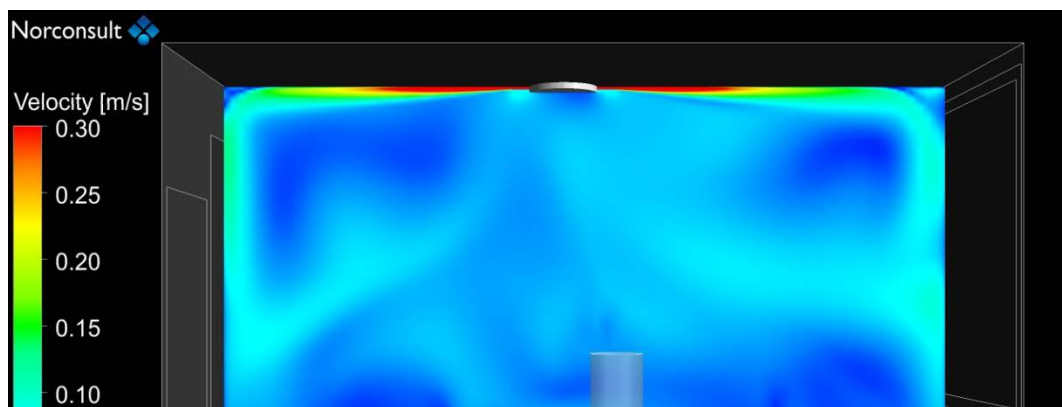
552.325 *Behovsstyrt ventilasjon (DCV). Systemløsninger og regulering*

552.326 *Behovsstyrt ventilasjon (DCV). Innregulering og dokumentasjon av anleggsfunksjon*

Veiledning for vurdering av samtidighet, samt forutsetninger og utforming av energioptimale anlegg, finnes i Mysen og Schild (2014).

9.2 Valg av ventil er viktig

Valg av ventil er avgjørende for å lykkes med oppvarming via tilluft. Riktig hastighet ut av ventilen for å oppnå riktig kastelengde og god omrøring er viktig for å oppnå god luftvekslingseffektivitet og temperaturfordeling over romhøyden. Se også Byggforskserien 552.351. Behovsstyrt ventilasjon vil ha varierende luftmengde. Aktive tilluftsventiler er derfor nødvendig. Ventilen benyttet i våre forsøk har radiell utblåsning og kan variere spalteåpningen ut fra tilluftsmengden. Slik opprettholdes omtrent konstant hastighet ut av ventilen. Ventilens egenskaper og reguleringsmuligheter er svært viktig for resultatene i prosjektet. Still derfor krav om god dokumentasjon av ventil ved prosjektering av oppvarming via tilluft.



Figur 10. Aktiv tilluftsventil som opprettholder hastighet ved ulike luftmengder er viktig for ventilasjonseffektiviteten ved oppvarming via tilluft. (Kilde: Venås mfl., 2014))

9.3 Temperaturregulering

Anlegget reguleres ut fra tilstedeværelse og temperatur (i kanal og i rom). Ventiler må ha mulighet for at man kan legge inn to minimumsverdier (med og uten tilstedeværelse) samt en maksimalverdi for oppvarming. Se også kapittel 7. For god regulering i landskap, må det velges nok antall tilstedeværelsessensorer i forhold til sensorens dekningsområde, se Byggforskserien 552.324. Ventilen har gjerne integrert sensor.

Tilluftstemperaturen ved den enkelte ventilen er avhengig av tilluftstemperaturen ut fra aggregatet. Regulering av romtemperaturen i to rom med ulikt oppvarmingsbehov vil i korte perioder gå ut over tilført luftmengde. Rom som trenger mindre tilført varme, får også litt lavere tilluftsmengde. En mer differensiert tilluftstemperatur vil kreve et ekstra varmebatteri ved/før tilluftsventilen,

Driftserfaring viser at en jevn romtemperatur over døgnet på ca. 22,5–23,5 °C gir mest fornøyde brukere. Det avviker fra normale romtemperaturkrav, som gjerne ligger mellom 20–26 °C, men samsvarer med temperaturpreferanser registrert for passivhusboliger (Løvåsen og Landberg, 2016). Temperaturen holdes stabil av et godt isolert bygg, utjevning av temperatur nattetid og oppvarming via tilluft ved behov.

Utjevning av temperatur mellom rom er en fordel. På dagtid kan det løses med åpne dører til tomme rom. Utenfor driftstid er det gjerne noe varierende temperatur i ulike rom, avhengig om det er kjerneareal, rom med større varmelaster, hjørnerom, rom med store vindusflater etc. I bygg der det ikke er fare for spredning av forurensninger, kan det på nattetid være hensiktsmessig å tilrettelegge for bruk av ventilasjonsaggregat i «omluftfunksjon» – det vil si å la aggregatet gå uten å tilføre friskluft slik at varmen i bygget jevnes ut, da med bruk av gode filtre. Det er mulig i Miljøhuset GK, men effekten av et slikt tiltak er ikke studert i ForKlima-prosjektet.

Nattsenkning er ikke nødvendig i godt isolerte bygg, se kapittel 10.4

9.4 Utforming av planløsning og anlegg for god temperaturregulering

God temperaturregulering via tilluft krever god planlegging også av planløsning. Et kjernetema er at arealer med samme funksjon og temperaturutfordringer samles. Arealene betjenes av samme ventilasjonssystem i samme aggregat, slik at det ikke blir altfor stor spredning i ønsket temperatur og ønsket luftmengde. Det gir bedre regulering og mer robuste løsninger. Planleggingen må starte tidlig i god dialog med arkitekt og utbygger/byggeier.

Aktuelle forhold kan være å plassere cellekontorer mot fasade og møterom i kjerne. Atypiske rom plasseres samlet og gis eget aggregat, slik at ønsker om mer kjøling eller mer varme lettere kan imøtekommes. Større møteromsone kan med fordel ha eget aggregat.

Romslige aggregater og anlegg gir lave trykkfall, lav SFP og fleksibilitet i anlegget. Legg vekt på god oppdeling av anleggene med hensyn til regulering og stabilitet. Erfaringer fra Miljøhuset GK er at oppdeling mellom nord- og sydfasade har liten betydning når solavskjermingen er god, mindre enn antatt.

Kanalnettet for tilluft bør isoleres, først og fremst for framføring av kjølig tilluft, men også for å kunne levere overtemperert tilluft uten for stort temperaturfall fra aggregat til ventil. Temperaturmålinger i intervensjonsstudiene viser et temperaturfall på ca. 2,5 °C ved en overtemperatur på ca. 2 °C på tilluften ved leveringspunktet selv om kanalene er isolert. Nødvendig isolasjonstykkelse beregnes.

9.5 Leietaker må forstå forutsetninger og brukstilpassing

En viktig del av prosjekteringsprosessen er å diskutere forutsetninger og begrensninger for bruk med byggeier/leietaker. Hovedprinsippet for oppvarming via tilluft er at interne varmelaster dekke oppvarmingsbehovet det meste av tiden. Følgende forhold er verdt å merke seg:

- Når det ikke er personer til stede i et rom, er også en viktig varmekilde borte. For å få varme til møterom og kontorer utenfor brukstiden, bør dørene stå åpne når rommet ikke er i bruk slik at det blir utjevning av temperatur.
- Arbeidsplasser bør være 60 cm fra vinduene, på samme måte som i andre bygg (NS 7730). Simuleringer og målinger foretatt i prosjektet viser at det er svært liten fare for trekk selv på de kaldeste dagene for Miljøhuset GK i Oslo. Men også vindu med lav U-verdi vil ha en liten luftbevegelse/kaldras helt inntil vinduet. Plassering av arbeidsplass helt inntil vindu er derfor uheldig, og enkelte brukere kan oppleve ubehag.
- Personer med arbeidsplass tilhørende samme aggregat/sone, vil ha omtrent samme romtemperatur. Begrenset tilpassing med bekledning kan være nødvendig.
- Det er viktig å informere brukerne av bygget om forutsetninger og mulige tiltak i hverdagen som beskrevet ovenfor. Lag en plan sammen med byggeier.

10 Anbefalinger for god drift

10.1 Erfaringer

Nedenfor følger GKs erfaringer etter 3–4 års drift, med utfyllende informasjon fra prosjektresultater. Dette er punkter som man må ta hensyn til for å oppnå et godt resultat

10.2 Fokus på god drift og estimert tid til oppfølging

Med god drift mener vi tiltak/aktiviteter som gir:

- Fornøyde brukere
- Godt inneklima (som avtalt eller som forventet?)
- Lavt energiforbruk (som avtalt eller som forventet?)
- Lave kostnader (som avtalt eller som forventet?)
- Optimal drift i forhold til hva som er installert

Behovsstyrte anlegg med oppvarming via tilluft krever noe mer oppfølging/forståelse i driftsfasen enn normale anlegg. Det har også en kostnadsside som det bør tas høyde for i prosjektet.

Erfaringstall på tidsbruk fra Miljøhuset GK på 14 300 m² er en time ukentlig pluss to timer per måned for utvidet kontroll/analyser pr. Totalt tid til oppfølging er da ca. 75 timer per år. Anslagsvis må man påregne 30–40 % mer tid første sesong for innkjøring og tilpasninger til brukernes ønsker. Tidsbruk første år kan reduseres noe med erfaring fra lignende anlegg.

Forutsetninger for god drift er at driftsansvarlige har god:

- Anleggsforståelse
- Systemforståelse
- Forståelse for funksjonsbeskrivelse og reguleringsstrategi på romnivå
- Kompetanse på hjelpemidler, som for eksempel SD-anleggets informasjonsmuligheter

For å få et godt resultat og fornøyde brukere er det viktig at driftspersonalet er engasjert og har en proaktiv drift. Dette betyr at man bør ha en aktiv driftsstrategi, forsøke å ligge litt i forkant, tenke framover i forhold til værforhold og bruk av lokalene. Er det behov for justeringer? Hvis det er klager, tilpasses driften, eller man går aktivt inn for å gi den som klager god informasjon om faktiske forhold. Det er viktig å følge opp tilbakemelding ved aktiv bruk av SD-anlegg. Loggede verdier kan gi verdifull dokumentasjon på hvordan forholdene faktisk er, slik at man kan gi god informasjon og tilbakemeldinger til brukerne. Ved god dokumentasjon er det også enklere å velge riktig tiltak.

GKs erfaring er at god drift oppnås med en god dialog mellom driftspersonalet og brukere. Det er viktig å informere brukerne om hva som er installert og hva de kan forvente.

10.3 Erfaringer som gir fornøyde brukere

Basert på driftserfaring er følgende forhold av betydning for å oppnå et godt opplevd inneklima med lavt energibehov:

Temperatur

- Romtemperatur styres mot 22,5–23,5 °C hele året. Rom varmes opp om natten/morgenen, slik at rommet har ønsket temperatur når det tas i bruk.
- Når personene kommer i lokalene, er interne varmekilder – person, lys og PC – hovedoppvarmingskilde slik at tilluftens temperatur kan være 1 til 2 °C *under* ønsket romtemperatur, ikke overtemperert.
- Det er svært få dager hvor det er behov for overtemperatur på tilluften.
- Anleggene har brukerstyrt driftsstart. Det er montert tilstedeværelsesdetektorer i lokalene. Anlegget starter når flere enn 3 (innstillbart) er kommet på jobb.
- Ønsket basistemperatur i lokalene kan variere (avhengig av leietaker, aktivitet og preferanse). Temperaturen tilpasses til et nivå med minimum antall klager.
- GK's erfaring er at brukernes forventninger er høyere enn kravspesifikasjonens 20 – 26 °C. 20 °C om vinteren og 26 °C om sommeren aksepteres ikke av brukerne. En temperatur på. 22,5–23,5 °C er ønsket hele året så langt.

Vinduer

- Noen leietakere ønsker høyere romtemperatur vinterstid grunnet noe ugunstig innredning, som for eksempel arbeidsplass nær vindu eller utenfor oppholdssonen
- Det er ingen varmekilder under vindu. Det er derfor fristende å sitte helt inntil vinduet, noe som har ført til noen klager på trekk/kald stråling fra vindusrammen. Vinduet har svært god U-verdi, men likevel blir det noe kaldere i vindusbenken.

Utjevning av temperatur

Drift av ventilasjon om natten, med omluft, gir en gunstig utjevning av romtemperaturene (vinter). Det er ikke prøvd tilsvarende om sommeren

Møterom og andre lukkede rom der det er varierende internlast, kan om vinteren oppleves som kjølige når de er lite i bruk. I brukstiden er det interne laster som personer, lys og PC som er hovedoppvarmingskilde i rommene. Tilluften kan normalt være 1 til 2 °C *under* ønsket romtemperatur. Åpen dør til møterom for utjevning av temperatur når rommet står tomt viser seg som et effektivt tiltak.

10.4 Nattdrift

GKs driftserfaring er følgende:

Den første tiden lot vi romtemperaturen synke gjennom natten (vinter) til 19-20 C ved 6-tiden, men dette førte til klager fordi brukerne synes det var for kaldt. Vår konklusjon var at det burde være 22,5–23,5°C ved arbeidstidens begynnelse. Bygget driftes i dag uten nattsenking av romtemperatur, dvs. 22,5–23,5 °C 24/7 ved lave utetemperaturer. Oppvarming i rom gjøres nå på natt/morgen slik at romtemperaturen er ca. 22–23 C når rommene tas i bruk. Tilluftstemperaturen er ca. isotherm 1–2 timer til ca. kl. 0930–1000, deretter undertemperert.

SINTEF Byggforsks kommentar:

Bygget har høy varmetreghet. I henhold til NS 3031 kapittel 6.1.1 ligning (7) og (8) er:

Byggets varmetreghet $\alpha_H = 1 + \tau/16$

Byggets tidskonstant $\tau = C/H =$ bygningens varmekapasitet/byggets varmetransportkoeffesient

Et lufttett og godt isolert bygg med god varmegjenvinner har lite transmisjons- infiltrasjons- og ventilasjonstap. Det totale varmetapet blir lite. Dermed får bygget større treghet enn en slankere veggkonstruksjon med samme konstruksjonsprinsipp. Innvendige overflatematerialer avgjør i større grad treghet. For Miljøhuset GK er tidskonstanten senere beregnet til ca. 20 timer ved maks luftmengde og ca. 73 t ved minimumsluftmengde (Holt, 2014). Nattsinking av temperaturen er dermed ikke en anbefalt løsning.

10.5 Nye tiltak å se nærmere på

Utekompensert tilluftstemperatur for litt høyere temperatur for sommerhalvåret er diskutert men ikke utprøvd i Miljøhuset GK. Tilluftstemperaturen er avtrekkskompensert og styrt av Lindinvent-ventilene.

Økt tilluftstemperatur i forkant av kalde perioder er ikke utprøvd. De kalde periodene har vært for korte til å få statistisk gode erfaringer.

Referanser

- Antonsen, A. (2015). *Direkte brukerstyring av aktiv tilluftsventil i cellekontorer*. Oslo: Høgskolen i Oslo og Akershus.
- Aslaksen, V. (2014). Use of DCV for heating and the influence on IAQ in passive house buildings *35th AIVC Conference, 4th TightVent Conference, 2nd venticool Conference*, Poznan, Poland 24-25 September 2014.
- BKS 421.501. (1999). *Temperaturforhold og lufthastighet. Betingelser for termisk komfort*. Oslo: Norges Byggeforskningsinstitutt.
- BKS 552.323. (2016). *Behovsstyrt ventilasjon (DCV). Prinsipper*. Oslo: SINTEF Byggeforsk.
- BKS 552.324. (2016). *Behovsstyrt ventilasjon (DCV). Krav ved innkjøp og kontroll ved overlevering*. Oslo: SINTEF Byggeforsk.
- BKS 552.325. (2016). *Behovsstyrt ventilasjon (DCV). Systemløsninger og regulering* Oslo: SINTEF Byggeforsk.
- BKS 552.326. (2016). *Behovsstyrt ventilasjon (DCV). Innregulering og dokumentasjon av anleggfunksjon*. Oslo: SINTEF Byggeforsk.
- BKS 552.351. (1996). *Fordeling av ventilasjonsluft i rom*. Oslo: Norges Byggeforskningsinstitutt.
- Cablé, A., Mysen, M., & Thunshelle, K. (2014). Can Demand Controlled Ventilation replace space heating in office buildings with low heating demand? *Proceedings of the 13th International Conference Indoor Air 2014*. S.l.: ISIAQ.
- Dokka, T. H., Klinski, M., Haase, M. A., & Mysen, M. (2009). *Kriterier for passivhus- og lavenergibygge - yrkesbygg* (Vol. 42-2009). Oslo: SINTEF byggeforsk.
- Feist, W. (2005). *First Steps: What can be a Passive House in Your Region with Your Climate?* . Darmstadt: Passive House Institute.
- Halvarsson, J. (2012). *Occupancy pattern in office buildings : consequences for HVAC system design and operation*. (2012:37), Norwegian University of Science and Technology, Faculty of Engineering Science and Technology, Department of Energy and Process Engineering, Trondheim.
- Holt, P. M. (2014). *Utvikle optimal modell/strategi for regulering av optimal tilluftstemperatur i Miljøhuset GK utenfor brukstid*. Oslo: Høgskolen i Oslo og Akershus.
- Kasa, A. M. (2015). *Direct user control of active supply air diffusers in open plan office*. Oslo: Høgskolen i Oslo og Akershus.
- Løvåsen, H. S., & Landberg, E. (2016). *Beboeres opplevelse av å bo i passivhus og TEK-10 hus = Residents' experience of living in passive houses and TEK10-houses* Ås: NMBU, Institutt for landskapsplanlegging
- Mysen, M., & Schild, P. G. (2014). *Behovsstyrt ventilasjon, DCV – forutsetninger og utforming. Veileder for et energioptimalt og velfungerende anlegg*. Oslo: SINTEF akademisk forlag.
- NORDTEST VVS 019. (1988). *Buildings - ventilation air: Local mean age*. Espoo, Finland: NORDTEST
- NORDTEST VVS 047. (1985). *Buildings - ventilating air: Mean age of air* Espoo, Finland: NORDTEST.
- NS-EN 15251:2007+NA:2014. (2014). *Inneklimaparametere for dimensjonering og vurdering av bygningers energiytelse inkludert inneluftkvalitet, termisk miljø, belysning og akustikk*. Oslo: Standard Norge.
- NS-EN ISO 7726. (2001). *Ergonomi for termisk miljø - Instrumenter for måling av fysiske størrelser (ISO 7726:1998)*. Oslo: Standard Norge.
- NS-EN ISO 7730. (2005). *Ergonomi i termisk miljø - Analytisk bestemmelse og tolkning av termisk velbefinnende ved kalkulering av PMV- og PPD-indeks og lokal termisk komfort (ISO 7730:2005)*. Oslo: Standard Norge.

- NS 3031. (2014). *Beregning av bygningers energiytelse - Metode og data*. Oslo: Standard Norge.
- NS 3700. (2013). *Kriterier for passivhus og lavenergibygninger - Boligbygninger = Criteria for passive houses and low energy buildings - Residential buildings* Oslo: Standard Norge.
- NS 3701. (2012). *Kriterier for passivhus og lavenergibygninger. Yrkesbygninger*. Lysaker: Standard Norge.
- NS 8405. (2008). *Norsk bygge- og anleggskontrakt*. Oslo: Standard Norge.
- NS 8407. (2011). *Alminnelige kontraktsbestemmelser for totalentrepriser*. Oslo: Standard Norge
- Skåret, E. (2000). *Ventilasjonsteknisk håndbok (Vol. 48)*. Oslo: Norges byggforskningsinstitutt.
- TEK10. Kommunal- og regionaldepartementet. (2010). *Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift, TEK10): av 26. mars 2010 nr. 489*".
- Venås, B., Harsem, T. T., & Børresen, B. A. (2014). CFD simulation of an office heated by a ceiling mounted diffuser *35th AIVC conference, 4th TightVent Conference, 2nd Ventilcool Conference "Ventilation and airtightness in transforming the building stock to high performance", Poznan, Poland 24-25 September 2014, Proceedings PP 655-664*.

OPPVARMING VIA TILLUFT

VEILEDNING OG KRAV FOR NÆRINGSBYGG MED ENERGIAMBISJONER

Denne veilederen oppsummerer resultatene fra Fou-prosjektet ForKlima – forenklet behovsstyrt klimatisering i kontorbygg med svært lavt oppvarmingsbehov. Den viser hvordan det i bygg med tilstrekkelig lavt oppvarmingsbehov er mulig å forenkle dagens klimatiseringsløsning og samtidig oppnå godt inneklima med fornøyde brukere og lavere kostnader.

Veilederen gir råd om prosjektering, drift og bruk. Videre gir den eksempler på anbefalte kravspesifikasjoner for installasjoner i næringsbygg med energiambisjoner.

ForKlima var ledet av SINTEF Byggforsk og pågikk fra 2013 til 2016. Prosjektet ble finansiert av Norges forskningsråd, GK Norge, Norconsult, Multiconsult, COWI, Trox Auranor, Statsbygg, Link Arkitektur, HiOA og SINTEF Byggforsk.