

SvalVent

– SVAL OG BEHAGELIG BEHOVSSTYRT VENTILASJON
FOR INDIVIDUELL KJØLING I YRKESBYGG



SINTEF Fag

Kari Thunshelle, Aileen Yang, Hanne Liland Bottolfsen,
Håkon Rikoll Solberg og Peter G. Schild

SvalVent

– Sval og behagelig behovsstyrt ventilasjon
for individuell kjøling i yrkesbygg

SINTEF akademisk forlag

SINTEF Fag 72

Kari Thunshelle, Aileen Yang, Hanne Liland Bottolfsen, Håkon Rikoll Solberg
og Peter G. Schild

SvalVent

**– Sval og behagelig behovsstyrt ventilasjon for individuell kjøling
i yrkesbygg**

Emneord: ventilasjon, individuell kjøling, termisk komfort, yrkesbygg

ISSN 1894-2466

ISBN 978-82-536-1689-6

Prosjektnummer: 102015000

Foto forside: SINTEF Community

© Copyright SINTEF akademisk forlag 2021

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 Community

Børrestuveien 3

Postboks 124 Blindern

0314 OSLO

Tlf.: 40 00 51 00

www.sintef.no/community

www.sintefbok.no

Forord

Forskningsprosjektet SvalVent – *Sval og behagelig behovsstyrt ventilasjon for individuell kjøling i yrkesbygg* – har sett nærmere på løsninger for lavere energibruk til kjøling i næringsbygg. Denne rapporten oppsummerer hovedresultatene i prosjektet.

Kravene i dagens TEK nærmer seg lavenerginivå. Byggenæringen opplever at en stadig økende andel av energibruken i moderne energieffektive bygg går til kjøling. Samtidig har utviklingen av behovsstyrte anlegg banet vei for helt nye muligheter for videreutvikling mot individuell styring av termisk komfort.

En løsning for individuell styring av kjøling kan gi både mer fornøyde brukere og lavere energibruk. Ny kunnskap om fysiologisk grunnlag har vært avgjørende for utvikling av produkt og konsept. Rapporten inneholder både teoretisk grunnlag, beskrivelse av forsøk for ny kunnskap samt energi- og økonomiske konsekvenser ved ulike reguleringskonsepter.

SvalVent har vært et Innovasjonsprosjekt for Næringslivet (IPN) fra 2017 til 2020. Prosjektet ble finansiert av Norges Forskningsråds program EnergiX og har vært drevet med betydelig egeninnsats fra prosjektpartnere GK inneklima, Trox Auranor, Entra og Topro elektronikk (tidligere Industri). Forskningspartnere er OsloMet og SINTEF Community.

GK Inneklima er eier av prosjektet. Forskningsarbeidet er ledet av SINTEF Community. Produktutviklingen basert på forskningsresultater er ledet av Trox Auranor, mens konseptutviklingen er ledet av GK Inneklima i tett samarbeid med prosjektpartnerne. Vi vil rette en spesiell takk til Entra for velvillig å stille sine lokaler og personell til disposisjon for ombygging og feltforsøk, samt gode innspill som krevende kunde. Topros spisskompetanse har gjort utvikling av styring og delkomponenter mulig.

Mer informasjon om prosjektet fins på <https://www.sintef.no/projectweb/svalvent/> samt i publikasjoner og studentoppgaver tilknyttet prosjektet.



Oslo, 16.2.2021

P. Pakdel Henniken

Partow Pakdel Henriksen
Forskningsjef
SINTEF Community

Kari Thunshelle

Kari Thunshelle
Prosjektleder
SINTEF Community



Sammendrag

Behovsstyrt ventilasjon er en forutsetning for bygg med lavt energibehov, og i Norge ligger vi langt framme når det gjelder forskning og praktisk implementering på området. En av de største utfordringene knyttet til yrkesbygninger med energiambisjoner er å redusere den andelen av energibruken som går til kjøling. Samtidig registreres det klager på at det oppleves å være for kaldt i disse bygningene. Det er dermed kunnskapshull på områdene ventilasjonskjøling og individuelle preferanser for termisk inn klima og trekk.

I prosjektet *SvalVent* har ambisjonen vært å utvikle markedsnære og robuste løsninger for individuell behovsstyring og klimatisering – spesielt for sommerforhold – for å oppnå lavere energibruk og flere fornøyde brukere. *SvalVent*-konseptet innebærer at økt lufthastighet skal kunne kompensere for høyere romtemperatur enn dagens løsninger. Det utfordrer dagens krav til termisk komfort og trekk.

Prosjektet har utviklet en ny tilluftsentil der en delluftsmengde kan rettes ned mot brukeren. Ved hjelp av en dyse fra himlingen kan brukeren oppnå bedre avkjøling gjennom økt lufthastighet og turbulens rundt personen. For prototype 2 fikk dysen individuell brukerstyring av lufthastighet, for prototype 3 ble styringen gjort trådløs med brukergrensesnitt via PC/app og inkludert styring av retning på strålen.

SvalVent-prosjektet har gjennomført to runder med labforsøk i 2018 og videre uttesting i feltlab sommeren 2019. Brukere i ulik alder og av begge kjønn har besvart spørreskjemaer om termisk komfort og opplevd hudtemperatur. I tillegg er det målt hudtemperatur og svette samt mer tradisjonelle inn klimaparametere. Labforsøk er gjennomført ved romtemperatur 24, 26 og 28 °C med lufthastigheter styrt av forsøksleder. Ved 26 °C romtemperatur er individuell brukerstyring og ulike tilluftstemperatur studert nærmere.

Resultatene viser at konseptet med bruk av dyser med høyere lufthastigheter ved høyere romtemperaturer anses å gi bedre termisk komfort og flere fornøyde brukere. Derfor bør dagens krav i henhold til ISO 7730 (0,15 m/s for vinter og 0,2 m/s for sommer) til lufthastigheter og romtemperaturer endres.

En økning i lufthastighet på 0,5 m/s ser ut til å kunne kompensere for en økning i romtemperatur på 2 °C, selv uten individuell brukerstyring. SvalVent-løsningen gir svært gode resultater ved en romtemperatur rundt 26 °C, der de aller fleste oppnår termisk komfort. Noe mer forskning er nødvendig for 28 °C, der tilgjengelig lufthastighet (0,75 m/s) ikke var nok til å redusere antall misfornøyde til akseptabelt nivå. anbefalt hastighet må over 1,0 m/s, kanskje opp til 1,3 m/s.

Resultatene fra laboratorieforsøkene viser at tilluftstemperaturen har lite å si for termisk komfort og opplevd hudtemperatur ved individuell styring. Valgt lufthastighet er personavhengig med til dels store individuelle forskjeller.

Labforsøkene ved en romtemperatur på 26 °C viste at individuell styring av lufthastighet kan redusere antall misfornøyde fra 21 til under 5 %. Den individuelle styringen gjør at de fleste finner en lufthastighet som gir termisk komfort, uavhengig av om dette skyldes kjønn, alder eller andre individuelle forskjeller. Ved 26 °C velges en lufthastighet på 0,25–0,50 m/s i mer enn 50 % av tilfellene. Passe lufthastighet rapporteres når personen oppgir å være hovedsakelig termisk nøytral, men av noen også litt varm eller litt kald. Selvvalgt sommerbekledning i kontor i vår studie ligger nærmere 0,7 clo enn den mye benyttede standardverdien 0,5 clo.

Simuleringene viser at settpunkt romtemperatur for når kjølingen skal slå inn, kan økes betraktelig, fra dagens 22 °C til 25,5 °C, og likevel gi akseptable romtemperaturer. Simuleringene viser videre at SvalVent-løsningen med standard kjølebatteri og økt tillufts-

temperatur til 19 °C, kan gi en reduksjon i kjølebehov på 50 %. Både standard kjølebatteri og adiabatisk kjøling med tilluftstemperaturer på 23 °C kan gi tilfredsstillende sommerforhold.

English summary

Demand-controlled ventilation is a prerequisite for buildings with low energy requirements, and research and practical implementation in this area is at the forefront in Norway. One of the biggest challenges for commercial buildings with energy ambitions is to reduce the proportion of energy consumption that goes to cooling. Nonetheless, consistent complaints of the temperature being too cold are registered in these types of buildings. Consequently, we need to address the issue of using ventilation for cooling while maintaining the individuals' preferences in indoor thermal comfort.

The SvalVent project aims to develop market-oriented and robust solutions for individual demand control and acclimatization, especially for summer conditions, to achieve lower energy consumption and more satisfied users. The SvalVent concept suggests that increased airspeed would compensate for higher room temperatures, unlike the current ventilation solutions. This challenges the present requirements for thermal comfort and cooling.

A new supply air valve where a partial volumetric airflow can be directed towards the user was developed. Using ceiling-mounted nozzles, the user can achieve increased cooling through increased air velocity and turbulence. The nozzle was further developed (prototype 2), incorporating an individual user control of the air velocity. The final stage of the prototype (prototype 3) included a wireless user interface accessed via the PC/app that enabled user-control of the air jet nozzle's direction.

The SvalVent project has carried out two lab studies, one in March and one in November 2018. A proof-of-concept in the field lab was carried out in the summer of 2019. Participants from different age groups, both male and female, participated in the studies by answering questionnaires about perceived thermal comfort and thermal sensation. Also, measurements of the skin temperature and sweat were carried out in one of the studies. In March, the lab study was carried out at controlled room temperatures of 24, 26, and 28 °C with air velocities controlled by the lab study coordinator. In November, the study was carried out at 26 °C room temperature, to assess individual user control of air velocity and the effect of supply air temperature on thermal comfort.

The results show that the concept of using air-jet nozzles with higher air velocities at higher room temperatures is not only acceptable but also results in better thermal comfort and more satisfied users. There is a need to reconsider the current requirements according to ISO 7730 (0,15 m/s for winter and 0,2 m/s for summer) for air velocities and room temperatures.

Increasing the air velocity by 0,5 m/s seems to compensate for an increase in room temperature of 2 °C, even without individual user control. The SvalVent concept yielded very good results at a room temperature around 26 °C, where many of the participants achieved thermal comfort. More research is needed at a room temperature of 28 °C, where the results indicated that the highest available air velocity of 0.75 m/s was not enough to reduce the percentage dissatisfied to an acceptable level. Suggested air velocity at 28 °C should be higher than 1.0 m/s, perhaps up to 1.3 m/s.

The supply air temperature has little effect on thermal comfort and perceived skin temperature where there is individual user control. We observed individual differences in the selection of air velocity as it varies very greatly from participant to participant.

The laboratory study at a room temperature of 26 °C showed that individual control of air velocity can reduce the percentage dissatisfied from 21 to below 5 %. Allowing the participants to have individual control of the air velocity resulted in a majority of the participants adjusting to an air velocity that would provide them thermal comfort, independent of gender, age, or

individual differences. At 26 °C, air velocities in the range of 0.25–0.50 m/s are selected in more than 50 % of the cases. Adequate air velocity is reported when the participants express their thermal sensation to be neutral and a little warm or a little cold. The participants' clothing insulation in our study was calculated to be 0.7 clo, somewhat higher than the commonly used standard value of 0.5 clo.

The simulations show that the setpoint room temperature for starting the cooling can be increased from the current 22 to 25.5 °C and still provide acceptable thermal comfort for the occupants. The simulations further show that the SvalVent concept with a standard cooling coil and increased supply air temperature of 19 °C can provide a 50 % reduction in cooling demand. Both standard cooling coil and adiabatic cooling with supply air temperatures of 23 °C can provide satisfactory summer conditions.

Innhold

FORORD	3
SAMMENDRAG	4
ENGLISH SUMMARY	6
1. INNLEDNING	10
HVORFOR ET KONSEPT MED INDIVIDUELL KJØLING VIA TILLUFT?.....	10
HOVEDMÅL: SVALVENT-KONSEPTET.....	10
DAGENS KRAV TIL KJØLING OG TERMISK KOMFORT UTFORDRES	11
<i>TEK og Arbeidstilsynets veiledning 444</i>	11
<i>NS-EN ISO 7730</i>	11
<i>NS-EN 15251:2007 + NA:2014</i>	12
<i>ASHRAE standard 55</i>	13
DAGEN PRAKSIS	13
2. TERMISK KOMFORT	15
BEKLEDNING	15
LUFTEMPERATUR OG STRÅLINGSTEMPERATUR	16
LUFTHASTIGHET OG KARAKTERISTIKK	17
HASTIGHETER OVER TVERRSNITT I STRÅLEN VED ULIKE LUFTHASTIGHETER	19
SUBJEKTIV VURDERING AV TERMISK INNEKLIMA OG TERMISK KOMFORT	20
<i>Opplevd hudtemperatur</i>	20
<i>Opplevd termisk komfort</i>	20
PMV/PPD-INDEKS	21
ER TERMISK NØYTRALT ALLTID DET BESTE?.....	22
HUDTEMPERATURMÅLINGER	23
3. PROTOTYPEUTVIKLING	24
PROTOTYPE 1	24
PROTOTYPE 2	25
PROTOTYPE 3	26
4. SVALVENT-FORSØKENE	29
MARS-FORSØK.....	29
NOVEMBER-FORSØK	30
ENTRA – PROOF OF CONCEPT	30
ENERGISIMULERINGER.....	31
5. RESULTATER	32
DELTAKERE	32
ER DET ENDRING I TERMISK KOMFORT OVER TID VED BRUK AV DYSER?	32
PÅVIRKES HUDTEMPERATUR OG TERMISK KOMFORT AV OM LUFTA TREFFER HODET ELLER BRYSTET?.....	34
ER DET OVERENSTEMMELSE MELLOM OPPLEVD HUDTEMPERATUR OG MÅLINGER AV KROPPSLIG TEMPERATUR?	37
<i>Kjønn og målt hudtemperatur</i>	38
<i>Svette</i>	39
KAN ØKT LUFTHASTIGHET VED BRUK AV DYSE I HIMLING GI TERMISK KOMFORT SELV VED HØYERE ROMTEMPERATURER ENN DAGENS PRAKSIS?.....	40
<i>Er økt lufthastighet OK ved sommerforhold?</i>	40
I HVOR STOR GRAD KAN ØKT LUFTHASTIGHET KOMPENSERE FOR HØYERE ROMTEMPERATUR?.....	42
HAR TILLUFTSTEMPERATUR NOE Å SI FOR TERMISK KOMFORT?.....	43
GIR INDIVIDUELL STYRING FLERE FORNØYDE BRUKERE?.....	47
HVA ER TILSTREKkelig LUFTHASTIGHET?	50
GIR SVALVENT-KONSEPT FLERE FORNØYDE BRUKERE ENN STANDARD REGULERING I FELTLAB?	53

6.	ERFARINGER VED OVERGANG FRA LAB TIL FELT	57
	PRAKTISKE ERFARINGER	57
	KJØLER VI TIL EN FOR LAV ROMTEMPERATUR?	57
7.	SVALVENT-KONSEPT: ENERGIBESPARINGSMULIGHETER SAMMENLIKNET MED TRADISJONELL LØSNING	58
	MODELLBESKRIVELSE AV ENERGIBEREGNINGER	58
	BESKRIVELSE AV CASE.....	58
	<i>Referansebygg</i>	58
	<i>Case for SvalVent-løsning</i>	59
	<i>Klimadata</i>	60
	RESULTAT ENERGISIMULERINGER	60
	<i>Energi</i>	60
	<i>Temperatur</i>	61
8.	KOSTNADER.....	62
9.	KONKLUSJON	64
	VIDERE ARBEID	65
10.	REFERANSER.....	66

1. Innledning

Hvorfor et konsept med individuell kjøling via tilluft?

Byggenæringen opplever at en stadig økende andel av energibruken i moderne høyisolerte bygg går til kjøling. Dette er en av de største utfordringene i yrkesbygninger med energiambisjoner. Både i denne typen bygg og i andre eksisterende yrkesbygg registreres det at det kjøles til en temperatur som for noen brukere oppleves som for kald. Næringen etterspør derfor mer kunnskap om ventilasjonskjøling og individuelle preferanser for termisk inn klima og trekk.

Behovsstyrt ventilasjon er en forutsetning for bygg med lavt energibehov, og i Norge har vi kommet langt når det gjelder forskning og praktisk implementering på området. Utviklingen har gått fra enkle VAV-systemer til avansert spjeldoptimalisering og presis regulering i henhold til sensorbaserte målinger i det enkelte rom. Aktive tilluftsventiler åpner for en helt ny mulighet for regulering ved den enkelte ventil.

Ulike løsninger for personlig klimatisering har vært forsøkt tidligere, for eksempel personlig ventilasjon ved Fangerinstituttet ved Danmarks Tekniske Universitet (DTU) og stoler med integrert varme/kjøling ved Centre for Built Environment ved UC Berkley, uten at det har blitt en mye brukt løsning. Oppvarming via tilluft ved bruk av aktive tilluftsventiler er allerede kommersielt akseptert etter dokumentasjon utviklet i samarbeid mellom SINTEF Community (tidligere SINTEF Byggforsk) og ambisiøse norske partnere i prosjektet *ForKlima*.

Forskningsprosjektet *ForKlima* dokumenterte at brukernes preferanser og sensitivitet er mer variert enn det vi forholder oss til ved prosjektering og temperaturregulering av anlegg. Prosjektet bekreftet at det er mulig å kombinere fordelene ved behovsstyrt ventilasjon og oppvarming via tilluft alene.

I *SvalVent*-prosjektet har vi ønsket å se på muligheten for en aktiv tilluftsventil som i tillegg kan dekke kjølebehovet. Prosjektet har hatt som ambisjon å utvikle markedsnære og robuste løsninger for individuell behovsstyring og klimatisering, spesielt for sommerforhold, for å oppnå lavere energibruk og flere fornøyde brukere.

Prosjektet har hatt hovedfokus på utvikling av løsninger for yrkesbygg, spesielt med tanke på nye og eksisterende kontorbygg.

Hovedmål: SvalVent-konseptet

Prosjektet SvalVent har hatt som hovedmål å utvikle et konsept for personlig tilpasset inn klima med aktive tilluftsventiler alene. Konseptet er spesielt rettet mot kjøling, men skal også være forenelig med oppvarming via tilluft. Konseptet skal være robust og brukervennlig, og det skal gi mer fornøyde brukere så vel som lavere energiforbruk.

Sentralt i konseptet er et nytt produkt som muliggjør individuell brukerstyring. Tanken er at en delluftmengde kan styres direkte ned mot brukeren ved ønske om kjøling. Ved hjelp av dyser samt med mulighet for å endre retning på luftstrålen skal brukeren kunne oppnå avkjøling gjennom økt lufthastighet og turbulens rundt seg. Mulighet for denne type luftkjøling kan gi en ekstra kjøleeffekt til de som trenger det, og gjør at det generelle innslagspunktet for kjøling kanskje kan økes noen grader celsius. Med dagens teknologiutvikling bør styringen være trådløs, og brukergrensesnittet bør være lett tilgjengelig, for eksempel ved bruk av app.

Svakheten med dagens løsninger er at man kjøler til en temperatur som for mange gir ubehag. SvalVent-løsningen antas å gi en vesentlig reduksjon av dagens energibruk til kjøling, som er en utfordring både i bygg med energiambisjoner og i eksisterende yrkesbygg.

Klimatisering over ventilen alene kan gi sparte installasjonskostnader både for separat varmeanlegg og annen type kjøling, for eksempel med kjøleblåser. Mer behovsstyrt kjøling gir grunnlag for flere optimaliserte anlegg og færre kjøleinstallasjoner.

Oppsummerte mål ved prosjektets start:

- 1) Utvikling av en tilluftsventil tilpasset den enkeltes ønske om regulering av kjøling. Mulighet for endringer i luftbevegelse (retning, turbulensintensitet) i tillegg til en personlig luftstråle for å oppnå økt kjøling er innovative fokusområder.
- 2) Økt kunnskap om variasjon basert på brukerens preferanser
- 3) Optimalisert konsept for lavest mulig energibruk til kjøling
- 4) Brukergrensesnitt for styring

Dagens krav til kjøling og termisk komfort utfordres

For å kunne benytte et konsept som SvalVent må man utfordre dagens akseptgrenser for romtemperatur og lufthastighet. Hele konseptet bygger på at kjøling via økt lufthastighet skal kunne kompensere for en romtemperatur som er høyere enn det som vanligvis aksepteres.

Nedenfor oppsummeres dagens krav og praksis.

TEK og Arbeidstilsynets veiledning 444

Krav til inn klima er gitt av plan og bygningsloven (pbl) via byggt teknisk forskrift (TEK) med veiledning. Veiledningen til TEK17 § 13-4 angir en anbefalt operativ temperatur på 19–26 °C for lett arbeid som kontorarbeid. Denne kan ikke overskrides i mer enn 50 timer i et normalår. Termiske forhold skal dokumenteres med dynamiske simuleringer.

Når bygget tas i bruk, gjelder Arbeidstilsynets veiledning 444: *Veiledning om klima og luftkvalitet på arbeidsplassen*. Den anbefaler at lufttemperaturen så langt mulig holdes under 22 °C når det er oppvarmingsbehov. Videre stiller veiledningen krav til operativ temperatur ved ulike typer arbeidssituasjoner (se Tabell 1-1) og at det skal tilstrebes individuelle reguleringsmuligheter.

Tabell 1-1. Anbefalinger av verdier for operativ temperatur ved vurderinger

Aktivitetsgruppe	Lett arbeid	Middels tungt arbeid	Tungt arbeid
Temperatur (°C)	19–26	16–26	10*–26

* Uten beskyttelse av fingrene

NS-EN ISO 7730

Termisk komfort vurderes ut fra kriterier i 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*.

Kravene er angitt fra kategoriene A, B og C, hvor A er den strengeste. Standardens kriterier for kontorbygg er gjengitt i Tabell 1-2.

Tabell 1-2. Kriterier for kontorbygg i NS-EN ISO 7730:2005

Aktivitet [W/m ²]	Kategori	Operativ temperatur [°C]		Maks gjennomsnittlig lufthastighet [m/s]	
		Sommer (kjølesesong)	Vinter (varmesesong)	Sommer (kjølesesong)	Vinter (varmesesong)
70	A	24,5±1,0	22,0±1,0	0,12	0,10
	B	24,5±1,5	22,0±2,0	0,19	0,16
	C	24,5±2,5	22,0±3,0	0,24	0,21

Kriteriene er gjeldende ved en bekledning tilsvarende 0,5 clo for sommerforhold og 1,0 clo ved vinterforhold samt en turbulensintensitet på 40 % som angir omrøringsventilasjon.

Ifølge NS-EN ISO 7730 vil en normalt tilfredsstillende kategori B, som vanligvis legges til grunn, og oppnå termisk komfort om sommeren ved en temperatur mellom 23 og 26 °C og en lufthastighet lavere enn 0,2 m/s.

NS-EN 15251:2007 + NA:2014

Basert på kriterier definert i NS-EN ISO 7730 er det definert forskjellige klasser for termisk inneklima i NS-EN 15251 *Inneklimaparametere for dimensjonering og vurdering av bygningers energiytelse inkludert inneluftkvalitet, termisk miljø, belysning og akustikk*, med Nasjonalt tillegg fra 2014.

Standarden angir følgende kategorier:

- I Høyt forventningsnivå. Akseptabelt
- II Normalt forventningsnivå. Nye bygninger og rehabilitering
- III Akseptabelt, moderat nivå, eksisterende bygninger
- IV Verdier utenfor kriteriene ovenfor

Tabell 1-3 gjengir tabell NA1 i denne standarden. Den gir en oversikt over ulike klasser for termisk inneklima i bygninger. Termisk tilstand for kroppen som helhet er lik med opprinnelig standardtekst, mens *Lokalt termisk ubehag* og *Soneinndeling* er utarbeidet for Norsk tillegg.

Tabell 1-3. Oversikt over klasser for termisk inneklima i bygninger. Hentet fra NS-EN 15251 + NA:2014

Klasse	Termisk tilstand for kroppen som helhet		Lokalt termisk ubehag				Sone- inndeling
	Prosent misfor- nøye (PPD)	Forventet middelvurdering	Prosent misfornøye				
			Pga. vertikal temp.- gradient	Pga. varmt eller kaldt gulv	Pga. stråle- asymmetri	DR Trekking	Størst antall personer per termisk sone
I	< 6 %	-0,2 < PMV < +0,2	< 3 %	<10 %	< 5 %	<10 %	1
II	< 10 %	-0,2 < PMV < +0,2	< 5 %	<10 %	< 5 %	<20 %	30
III	< 10 %	-0,2 < PMV < +0,2	< 5 %	<10 %	< 5 %	<20 %	Ingen krav
IV	> 10 %	-0,2 < PMV < +0,2	< 5 %	<10 %	< 5 %	<20 %	Ingen krav

Vi ser at for å oppnå høyeste klasse, det vil si flest fornøyde brukere, må man kunne regulere temperatur i sin egen termiske sone. Ønsket temperatur kan avvike fra nøytraltemperaturen til en standardperson, PMV = 0. For å kunne si at det er én per sone må justeringsmuligheten være tilgjengelig til enhver tid. Det kan for eksempel løses med romtermostat, web-grensesnitt til SD-anlegg og eventuelt vindu som kan åpnes. Per i dag er det kun cellekontor som oppfyller kriteriet til egen termisk sone.

Antall misfornøyde er grunnlaget for temperaturgrensene angitt i Tabell 1-4. For kontorbygninger med stillesittende/stående aktivitet på 1,2 met angis følgende operative temperaturer i Nasjonalt tillegg, tabell NA.2:

Tabell 1-4. Temperaturgrenser for ulike kategorier. Kilde: NS-EN 15251 + NA:2014

Kategori	Laveste temperatur for oppvarming [°C] Bekledning = 1,0 clo	Høyeste temperatur for kjøling [°C] Bekledning = 0,5 clo
I	21	24
II	20	26
III	20	26
IV	<20	>26

ASHRAE standard 55

I ANSI/ASHRAE standard 55, kapittel 5.3.3 er det fra 2017 inkludert en metode for "elevated air Speed comfort zone" som åpner opp for bruk av høyere hastigheter ved høyere operativ temperatur. ASHRAE-standarden angir videre et flytskjema for å bestemme grenser for luft-hastighet. Hvis brukeren ikke kan kontrollere lufthastigheten selv, er grensen for gjennomsnittlig hastighet satt til 0,8 m/s for operative temperaturer over 25,5 °C.

For operativ temperatur mellom 23 og 25,5 °C kan øverste grense for gjennomsnittlig luft-hastighet uten egen kontroll beregnes ut fra følgende formel:

$$V_{\text{gj.snitt}} = 50,49 - 4,4047 (t_{\text{op}}) + 0,096425 (t_{\text{op}})^2 \quad [\text{m/s, } ^\circ\text{C}]$$

Kurven gjelder for personer med clo-verdi 0,7 eller lavere, samt MET-verdi under 1,3.

ASHRAE standard 55 åpner med andre ord opp for økt operativ temperatur ved bruk av høyere lufthastigheter, men angir kun verdier for maks hastighet uten egen kontroll. Ved egen kontroll er det ingen grense. Standarden bygger blant annet på de Dears arbeid [1] med adaptive thermal comfort model og studiene til Arens et al. [2] om kjøling basert på personlig kontrollerte luftbevegelser.

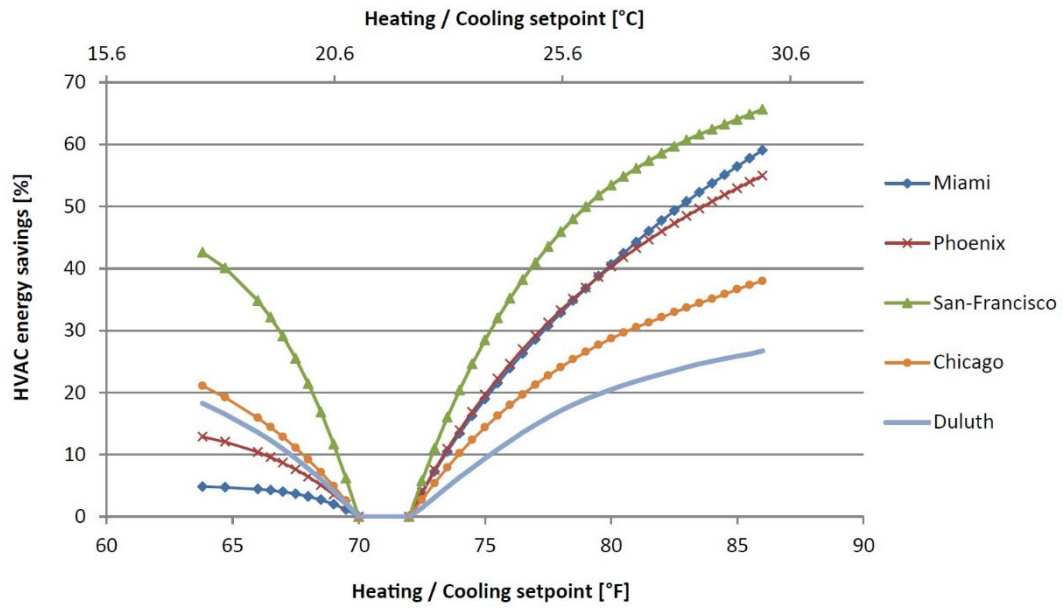
Underlaget som standarden baserer seg på, er mer generell luftbevegelse i rommet fra takvifter eller annen luftbevegelse, ikke luftstråler tilknyttet ventilasjon slik SvalVent har ønsket å utvikle. Selv om dagens versjon av standarden ikke gir oss noen holdepunkter for anbefalt maks lufthastighet når det er individuell styring, viser Parkinson og de Dear [3] til ASHRAE 55: 2013, der hastigheter opp til 1,2 m/s var godkjent ved omgivende temperaturer over 27,5 °C med individuell kontroll og en bekledning på 0,5 clo.

Dagens praksis

Dagens kontorbygg prosjekteres som regel i henhold til TEK og NS 15251, kategori II, med en maks operativ temperatur på 26 °C.

For driftssituasjon er trekk-kriterier i henhold til ISO 7730, kategori B allment akseptert med en trekkgrense på 0,15 m/s for vinter og 0,2 m/s for sommer. Makstemperatur tilstrebes under 26 °C, men det er ikke uvanlig at settpunkt-temperaturen er under 23 °C og reell temperatur ofte så lav som 22 ±1,0 °C. Prosjektpartner GK inneklimate rapporterer om en praksis med settpunkt 22,5-23,5 °C som et godt referansepunkt i nye bygg for å unngå klager (jf. Forklimarapporten [4]).

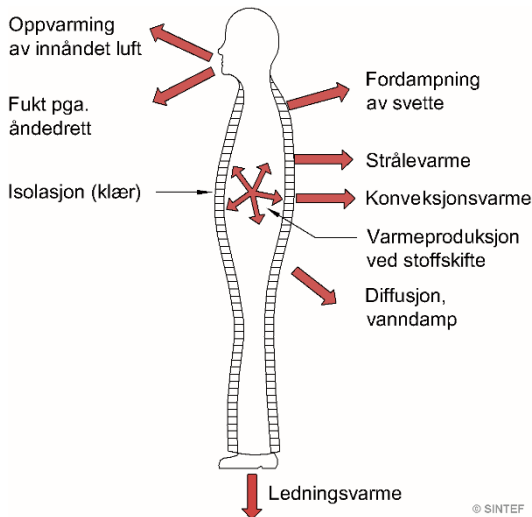
Temperaturreguleringen med dagens kjølestrategi defineres ofte til et smalt reguleringsbånd mellom minimum og maksimum, som igjen gir høyere energibruk sammenliknet med å tillate større temperatursklidning. Hoyt et al. [5] viser betydelig potensiell energibesparelse ved høyere settpunkttemperatur i ulike byer i USA; San Francisco med sitt kystklima er ikke helt ulikt norske forhold.



Figur 1-1. Energibesparelse ved ulike settpunkttemperatur. Kilde: Hoyt et al. [5]

2. Termisk komfort

Termisk komfort er en subjektiv følelse eller sinnstilstand der vi er tilfredse med det termiske inneklimaet. Vi ønsker det ikke kaldere eller varmere, verken for kroppen som helhet eller for de enkelte kroppsdelene (føtter, nakke e.l.). Lokale termiske ubehag for kroppsdelene er for eksempel trekk, for kalde/varme føtter eller for stor forskjell i lufttemperatur mellom ankel- og hodenivå. Vår termiske komfort er avhengig av bekleddingen, aktivitetsnivået og det termiske inneklimaet. Ulike personer kan ha ulike termiske preferanser, og den enkeltes preferanser kan også være påvirket av dagsform. For å oppnå lav andel misfornøyde vil det derfor være behov for individuell regulering.



Figur 2-1. Kroppens varmebalanse. Kilde: Byggforskserien, Byggetaljer 421.501

For å opprettholde termisk komfort må kroppens energiregnskap være i balanse. Produsert varme må være lik avgitt varme. Varmeproduksjon angis som Watt per m² kroppsoverflate, eller i den relative enheten met, der 1 met = 58 W/m² og tilsvarer energiomsetningen for en stillesittende, avslappet person. Dette er tall basert på eldre studier som ikke har tatt hensyn til kjønn og alder. Nyere studier viser at både kjønn og alder bør tas hensyn til, og kvinner har en lavere varmereproduksjon, angitt til 45 W/m² [6]. Aktivitetsnivå for stillesittende eller stående kontorarbeid er 1,2 met. Termisk komfort er avhengig av både kjernetemperatur og opplevd hudtemperatur.

Når vi studerer termisk komfort, må vi ha kontroll på aktivitetsnivå, bekledding, lufttemperatur, strålingstemperatur, lufthastighet (og turbulens) samt luftfuktighet.

Bekledning

Bekledning hjelper kroppen å oppnå termisk komfort. Varmetapet begrenses av klærnes isolasjonsevne, hvilket angis i clo. Som regel antas en clo-verdi på 0,5 for sommerbekledning og 1,0 for vinterbekledning. NS-ISO 7730 inneholder utfyllende informasjon om clo-verdien til ulike klesplagg. Lista må sies å gjenspeile en litt annen klesstil enn dagens kontorbekledning, men kan lett benyttes for å regne ut mer nøyaktig clo-verdi for faktisk bekledding.

For SvalVent labforsøk er forsøkspersonene bedt om å ha på seg lange bukser (olabukser), kortermet genser eller skjorte, samt lette sko. Dette utgjør en clo-verdi på 0,7.

For SvalVent feltforsøk fikk forsøkspersonene velge bekledding selv. For å kunne vurdere clo-verdi ble det lagt til en egenrapportering av bekledding i spørreskjemaene der de kunne krysse av for aktuelle klesplagg (lange bukser, korte bukser, kortermet genser, langermet genser, sko, sokker etc.) i samsvar med NS-ISO 7730.

Hva har du på deg i dag (nå)? Kryss av det som passer.*

1. Kortmet genser/skjorte e.l.

2. Langermet skjorte/bluse

3. Genser/jakke

4. Bukser/langt skjørt

5. City shorts/kort skjørt

6. Sommerkjole

7. Nylonstrømper/strømpebukser

8. Vanlige sko og sokker

9. Lette sko/sandaler

Figur 2-2. Skjermdump av spørsmålet om bekledding i spørreskjemaet for Entraforsøket

Luftfuktighet

Høy luftfuktighet om sommeren er et langt mindre problem i Norge enn i mange andre land. I forkant av Svalvent-forsøkene har vi studert værdata fra Meteorologisk institutt ved Blindern i 10-årsperioden 2007–2017 med tanke på fuktnivå. Som et mål på varme perioder er de 500 høyeste lufttemperaturene (timesobservasjoner) valgt ut og fuktinnholdet i lufta beregnet.

Tabell 2-1. Beregnet luftfuktighet ved ulike lufttemperaturer

	Maks	Min	Middelverdi	Standardavvik
Lufttemperatur	32,6	26	27,8	1,5
Fuktgrad (g/kg)	13,4	3,5	8,3	1,9

Variasjon mellom 20 og 60 % har liten betydning for komfortfølelsen. Valgt fuktnivå i laboratorieforsøkene er satt til 40 % relativ fuktighet (RF). Forsøkene er utført ved temperatur 24, 26 og 28 °C, som tilsvarer henholdsvis 7,4, 8,3 og 9,3 gram vann per kg tørr luft. Alle er innenfor ±1 standardavvik hvis vi ikke regner med innendørs fukttilskudd, som vi uansett antar er ganske beskjedent i kontorbygg i sommersituasjon.

Lufttemperatur og strålingstemperatur

Temperatur er en mye omdiskutert parameter i inneklimasammenheng, uten at man alltid tar høyde for alle innvirkende forhold.

I vitenskapelig sammenheng benyttes gjerne operativ temperatur. Operativ temperatur, t_{op} , kan beregnes som den aritmetiske middelen av gjennomsnittlig strålingstemperatur og lufttemperatur. Formelen er:

$$t_{op} = 0,5 \cdot (t_L + t_{fm}) \quad [^{\circ}\text{C}]$$

hvor:

- t_L er lufttemperatur
- t_{fm} er gjennomsnittlig strålingstemperatur

Formelen gjelder for lufthastigheter mindre enn 0,2 m/s eller når forskjellen mellom middelstrålingstemperaturen og lufttemperaturen er mindre enn 4 °C.

I SvalVent-forsøkene er romtemperaturen regulert ved å varme opp tilstøtende arealer rundt og under forsøksrommet. Slik blir romtemperaturen stabil og strålingstemperaturen svært lik romtemperaturen. Øvrig temperaturopplevelse reguleres av strålens retning, lufthastighet, turbulensintensitet og tilluftstemperatur.

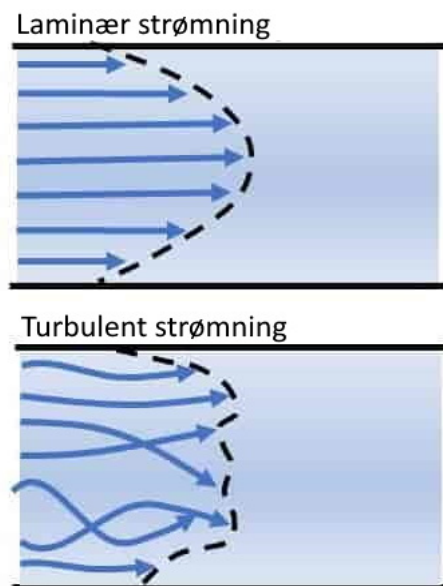
SvalVent-forsøkene tar utgangspunkt i forhold der vanlige forutsetninger for 0,2 m/s er overskredet.

Lufthastighet og karakteristikk

Termisk komfort er ikke bare avhengig av lufthastighet, men også turbulens.

Trekk er uønsket lokalt konvektivt varmetap. Ubehaget ved trekk avhenger ikke bare av det lokale varmetapet. Svingningene i hudtemperaturen har også betydning. Det betyr at en høyturbulent (raskt varierende) luftstrøm er mer ubehagelig enn en lavturbulent luftstrøm, selv om varmetapet er det samme [7].

Turbulensintensitet uttrykker forholdet mellom gjennomsnittslufthastighet og standardavvik, og sier noe om hvor turbulent strømmingen er fra 0 til 100 %. En luftstrøm med 0 % turbulensintensitet er en tilnærmet laminær strømming. En turbulent luftstrømming karakteriseres av fluktuasjoner i strømmingen på grunn av variasjonene i hastighetene. Figur 2-3 viser forskjellen på laminær og turbulent strømming.



Figur 2-3. Illustrasjon av laminær og turbulent strømming. Kilde: <https://snl.no/turbulens>

Turbulensintensiteten, t_u , er definert som:

$$t_u = (100 S_d) / v_a \quad [\%]$$

hvor:

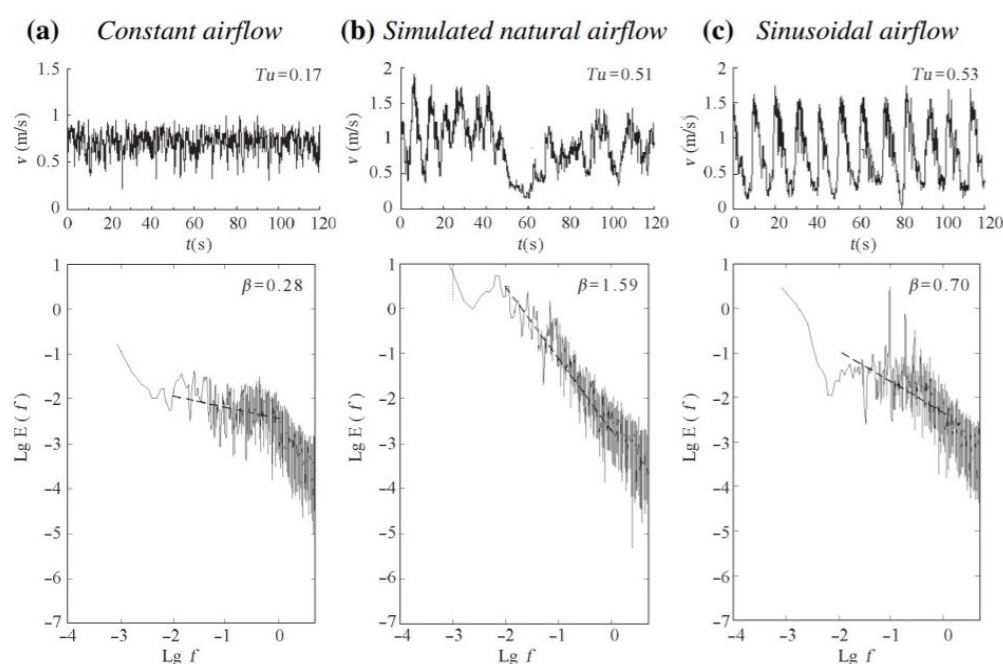
- S_d er standardavviket av lufthastigheten, normalt over en måleperiode på tre minutter (m/s)
- v_a er lokal gjennomsnittlig lufthastighet, normalt over en måleperiode på tre minutter (m/s)

I oppholdssonen i moderne kontorlokaler måler man sjelden lufthastigheter over 0,2 m/s. Turbulensintensiteten varierer som regel mellom 30 og 60 % i lokaler med mekanisk omrøringsventilasjon. I rom med fortrenningsventilasjon er vanligvis turbulensintensiteten og lufthastighetene lavere.

Studier har vist at en økning i turbulensintensitet ved samme gjennomsnittlig lufthastighet vil øke kjøleeffekten, der en stor variasjon (svingning) i lufthastigheter gir en sterkere kjøleeffekt enn mer konstant hastighet [8], [9]. Kjøleeffekten var størst når variasjonens frekvens lå mellom 0,5 og 1,0 Hz [10].

Power spectrum analyse benyttes for å karakterisere de dynamiske egenskapene til naturlig vind. Analysen viser sammenhengen mellom frekvens (f) og energi (E). Fra power spectrum-kurven framkommer et negativt stigningstall, også kalt power spektrum eksponent, den såkalte β -verdien. Normalt benyttes en logaritmisk framstilling.

Power kurve: $E(f) = 1/f^\beta$



Figur 2-4 a–c. Power spectrum-kurver for tre ulike typer luftstrøm med tilhørende turbulensintensitet og β -verdier. Kilde: [9]

β -verdien til naturlig og mekanisk vind er ulik og kan dermed avgjøre hvordan en person oppfatter luftstrømmen. β -verdien er avhengig av hastighet og turbulensintensitet. Verdien synker med økt lufthastighet, og øker med økt turbulensintensitet. Studier har vist at en β -verdi tilnærmet naturlig vind, det vil si mellom 1,1 og 2, kan oppleves mer behagelig og gi flere fornøyde brukere enn en β -verdi for ren mekanisk produsert vind som etter vifte [8], [11], [12].

Innledende studier av β -verdi gjort i SINTEFs laboratorier ved luftmengde $100 \text{ m}^3/\text{h}$, 23 (27) °C. Dyse fra tak med 3 m høyde.

Tabell 2-2. Nedadrettet stråle. Verdiene i parentes er ved 27 °C

Posisjon, avstand fra tak	Hastighet, gjennomsnitt (m/s)	Turbulensintensitet (%)	β -verdi
Høy (0,68m)	1,888 (0,517)	38 (54)	0,498 (0,466)
Middel (1,81m) - hode	0,844 (0,381)	38 (72)	0,164 (0,536)
Lav (2,91m)	0,328 (0,373)	48 (39)	0,176 (0,443)

Tabell 2-3. 45 grader skråstilt stråle (27 °C)

Posisjon	Hastighet, gjennomsnitt (m/s)	Turbulensintensitet (%)	β -verdi
Høy (0,68m)			
Middel (1,81m) - hode	0,232	75	0,793
Lav (2,91 m)	0,413	46	0,736
Fothøyde	0,243	50	0,547

Tabell 2-4. 45 grader skråstilt stråle, målt i hodehøyde (1,81 m) med rigg i avstand fra dyse

Avstand (m)	Hastighet, gjennomsnitt (m/s)	Turbulensintensitet (%)	β -verdi
0,25	0,196	86	0,644
0,50	0,081	53	1,138
0,75	0,105	47	1,176
1,0	0,082	57	1,195

Det er vanskelig å oppnå verdier nær naturlig vind uten å innføre forstyrrelser i luftstrømmen. Innledende studier viser likevel en økt β -verdi med 45 graders vinkel og økt avstand. Dyser bør derfor plasseres med en viss avstand fra personen.

Laboratoriestudiene i SvalVent hverken bekrefter eller avkrefter påstanden i andre studier ([8]–[10]) om at det er gunstig med en høy Beta-verdi. SvalVent-forsøkene beviser imidlertid at det er en sterk korrelasjon mellom gjennomsnittlig lufthastighet og opplevelsen av kjøling. Derfor er det troverdig å anerkjenne påstanden at luftstråler med høy Beta-verdi gir "vindpust" som har høyere hastighet (jf. Figur 2-4 b) som lettere kan penetrere luftgrensesjiktet nær huden) enn luftstråler med lav turbulensintensitet ved samme gjennomsnittlige lufthastighet.

Målingene over viser at SvalVent-dysen har en høyere Beta-verdi i utkanten av strålen enn i strålens kjerne. For å oppnå god komfort kan brukere dermed justere både lufthastighet og retning (i forhold til kroppen), som gir en ønsket kombinasjon av både lufthastighet og turbulensstruktur.

Hastigheter over tverrsnitt i strålen ved ulike lufthastigheter

Ønsket luftmengde i dyse er regulert og kalibrert ut fra ønsket lufthastighet ved testpersonen. Omfattende målinger av resulterende lufthastigheter i varierende høyde ved testpersonens posisjon var bestemmende for valgte luftmengder i dyse ved labforsøk.

Tabell 2-5. Oppsummerte målinger av lufthastighet (v_a), turbulensintensitet (t_u) og beta-verdien (β)

Parameter	24 °C			26 °C			28 °C		
	Ekstra høy	Høy	Lav	Ekstra høy	Høy	Lav	Ekstra høy	Høy	Lav
v_a (m/s)	0,50	0,43	0,15	0,67	0,42	0,12	0,55	0,38	0,12
t_u (%)	53	46	61	42	45	58	50	47	63
β (-)	0,60	0,69	1,14	0,48	0,65	1,23	0,62	0,68	1,23
P_{amp} (m ² /s)	1,12	0,70	0,22	0,73	0,79	0,16	1,27	0,57	0,18
T_{luft} (°C)	24	24	23,9	25,7	25,5	25,3	27,5	27,6	27,8

Studier har benyttet lufthastigheter fra 0,2 til 1,6 m/s avhengig av operativ temperatur [13]–[15]. Andre studier har vist at lufthastigheter mellom 0,2 og 0,8 m/s kan være akseptable uten individuell kontroll ved romtemperaturer over 23 °C og høyere ved bruk av naturlig vind eller ulike vifteløsninger. Vi har ikke funnet studier som benytter individuelle dyser fra tak. Kurazumi og Rezgals [16] viser at ved lufthastigheter over 0,3 m/s vil sammenhengen mellom konvektiv varmetransportkoeffisient og lufthastighet ikke være avhengig av omgivelsestemperaturen. Toftum et al. [13] fant at forsøkspersonene ikke føler trekk ved lufthastigheter opp til 0,4 m/s hvis de var varmere enn nøytral og selv hadde kontroll over hastigheten. Cattarin og Olesen [17] fant at foretrukket lufthastighet for skandinaver var 0,7 m/s ved 26 °C

og 0,8 m/s ved 28 °C ved bruk av bordvifter, hvilket er noe lavere enn hva som er foretrukket i asiatiske land (1 m/s ved 28 °C). Ubehag for skandinaver er vist ved 30 °C og 0,1 m/s. Her vises det til at det er individuelle preferanser. Studier fra klasserom i Gävele viser tilfredsstillende termisk oppfattelse ved transiente forhold ved en romtemperatur på 25 °C, 0,4 m/s og 22 % turbulens, eller 0,2 m/s og 29 % turbulens [18]. ASHRAE har en øvre grense på 0,8 m/s for $T_{op} > 25,5$ °C om personene ikke har individuell kontroll.

Subjektiv vurdering av termisk inneklime og termisk komfort

Subjektive spørreskjemaer kan benyttes for vurdering av termisk inneklime. I SvalVent-prosjektet har vi valgt å vurdere opplevd hudtemperatur (thermal sensation) og opplevd termisk komfort. Opplevd hudtemperatur kan relateres til opplevd termisk følelse. For eksempel kan man være litt varm og oppleve det som komfortabelt eller litt ukomfortabelt avhengig av person eller situasjon. Om det er varmt i rommet, gjør det kanskje ikke noe at huden på armene føles kald (avkjølt av luftstrålen), men faktisk oppleves som svært komfortabelt.

Opplevd hudtemperatur

I de fleste forsøk inkluderes opplevd hudtemperatur som en standard parameter. Den er definert i NS-EN ISO 7730 og ASHRAE standard 55 med en sjupunktsskala som går fra -3 (kaldt) til +3 (varmt), som vist i Tabell 2-6. I SvalVent-prosjektet benyttes en nipunktsskala som går fra -4 (veldig kaldt) til +4 (veldig varmt). Dette er en utvidet versjon av standard skala siden labforsøkene gjennomføres for høyere romtemperaturer og høyere lufthastigheter enn normalt. Skalaen for opplevd hudtemperatur har blitt brukt både som en kontinuerlig og kategorisk parameter [19]. I SvalVent har vi valgt å bruke en kategorisk nipunktsskala, se Figur 2-5, og opplevd hudtemperatur er vurdert både for hele kroppen og for ulike deler som høyre/venstre arm, bein, hender, føtter, hodet, pannen og bryst. Det er i tråd med tidligere arbeid ved Berkeley, men skalaen benyttet i deres studie er kontinuerlig [2].

Tabell 2-6. Sjupunktsskala for vurdering av opplevd hudtemperatur. Kilde: P.O. Fanger. *Thermal Comfort*. New York: McGraw-Hill, 1972

Skala	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
Vurdering	kaldt	kjølig	noe kjølig	nøytralt	noe varmt	varmt	hett

Opplevd termisk komfort

Figur 2-5 viser den visuelle skalaen for opplevd termisk komfort som ble brukt i SvalVent-prosjektet. Det er en kontinuerlig skala som går fra 0 (veldig ukomfortabel) til 4,99 (så vidt ukomfortabel) og 5,01 (så vidt komfortabel) til 10 (veldig komfortabel). "Slideren" må flyttes vekk fra midtstilling før skjemaet kan leveres. Grenseverdien for akseptabel opplevd termisk komfort ble satt ved dette midtpunktet (numerisk satt til 5,01). Dette er en omforent praksis i ulike standarder og fagmiljøer.

Du skal nå svare på noen spørsmål om opplevd hudtemperatur og termisk komfort. Du vil først bli spurt om opplevd hudtemperatur for hele kroppen og deretter for ulike kroppsdeler.

Figur 2-5. Skjermdump av skalaene brukt til å registrere opplevd hudtemperatur (øvre) og opplevd termisk komfort (nedre)

Tidligere forskning har visst at kvinner har en annerledes oppfatning av termisk komfort enn menn [6], [20], [21]. Kvinner uttrykker gjerne mer misnøye enn menn, spesielt i kalde omgivelser. Resultater fra ForKlima-prosjektet [4] viser at kvinner er mer følsomme for temperaturendringer enn menn. Dette er senere støttet av andre funn.

PMV/PPD-indeks

For å vite hvordan en gruppe mennesker vurderer termisk inneklima og om et eventuelt avvik er akseptabelt, er det innført to standardiserte indekser: PMV-indeks og PPD-indeks. PMV er en forkortelse for Predicted Mean Vote. Det angir en forventet gjennomsnittlig vurdering av termisk inneklima og baserer seg på spørreskjemaet om opplevd hudtemperatur som gitt i Tabell 2-6. PMV-indeksen er utarbeidet av P.O. Fanger på 1970-tallet og er standardisert i NS ISO 7730. PMV er en funksjon av operativ romtemperatur, bekledning, lufthastighet og aktivitetsnivå.

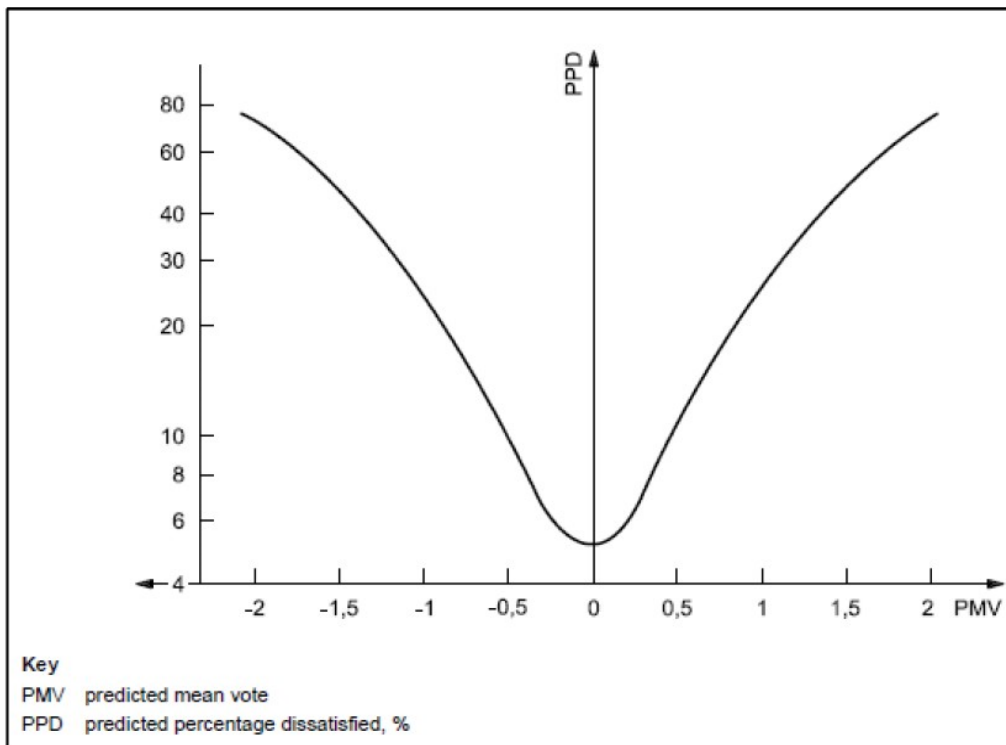
PPD er en forkortelse for Predicted percentage dissatisfied. Det angir prosentandelen av et normalisert utvalg av mennesker som vil være misfornøyd med termisk inneklima ved gitt bekledning og aktivitet. Forholdet mellom PMV og PPD kan uttrykkes ved hjelp av likningen nedenfor og er illustrert i Figur 2-6.

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp(-0,03353 \cdot PMV^4 - 0,2179 \cdot PMV^2)$$

I praksis kan verdiene til PMV og PPD bestemmes av måleutstyr eller regnes ut ved hjelp av et web-basert verktøy utviklet av Berkeley (<http://comfort.cbe.berkeley.edu/EN>).

Gitt at mennesker har forskjellige termiske preferanser, er det ikke mulig å ha et romklima som tilfredsstillende alle, noe som går fram av figuren nedenfor. Minste PPD-indeks man regner å kunne oppnå er 5 %. NS-EN ISO 7730 anbefaler at PMV-indeksen bør ligge mellom -0,5 og +0,5. Det forutsetter en kontinuerlig skala.

Ved hjelp av besvarelsene fra spørreskjemaet om opplevd hudtemperatur kan vi regne ut faktisk andel som er misfornøyd (APD: actual percentage dissatisfied) med termisk inneklima. Grenseverdiene for å være fornøyd med termisk inneklima er satt til -1 (litt kaldt), 0 (nøytral) og +1 (litt varmt).



Figur 2-6. Sammenheng mellom PMV og PPD. Kilde: NS-EN ISO 7730

Er termisk nøytralt alltid det beste?

Mye av teorien bak termisk komfort relateres til studier av Fanger på 1970–80-tallet [22], [23]. Arbeidet bygger på å optimalisere termisk komfort for kroppen som helhet, slik at kjernetemperatur og hudtemperaturen oppleves termisk nøytrale. Alle påvirkninger som fører til at personens termiske tilstand forandrer seg mot varm og kald, regnes som negativt. Temperatur, trekkgrenser m.m. er basert på antall misfornøyde ved denne nøytrale tilstanden. Det gir forholdsvis smale driftsbånd for akseptabel innetemperatur, og tillater i liten grad trekk.

Termisk positiv *alliesthesia*, her omtalt som termisk velbehag, er et fenomen som ble studert på 1970-tallet [24], [25]. Teorien bygger på at en påvirkning kan oppleves som behagelig eller ubehagelig avhengig av personens tilstand. Om en person er varm, vil en påvirkning som kjøler ned kroppen, føles behagelig, mens for en person som er kald, vil en påvirkning som kjøler ytterligere, oppleves som ubehagelig. Derimot vil enhver påvirkning fra nøytral være negativ.

En ytre påvirkning som fører oss tilbake mot nøytral tilstand, vil kunne oppleves som mer behagelig enn en nøytral tilstand i seg selv. For eksempel vil en flau vind en varm sommerdag gi velbehag og en positiv opplevelse. Vinden er ønsket. Som Parkinson & de Dear [3] påpeker, er det denne effekten på termisk komfort som utnyttes ved økt lufthastighet for kjøling (tvungen konveksjon), i kombinasjon med adaptiv termisk komfort.

Vi må i denne sammenheng skille mellom opplevd hudtemperatur og opplevd termisk komfort. Opplevd hudtemperatur er sansbar informasjon, mens termisk komfort er resulterende opplevelse. Man kan føle at huden er under kjøling, men det oppleves behagelig fordi kroppen som helhet er varm.



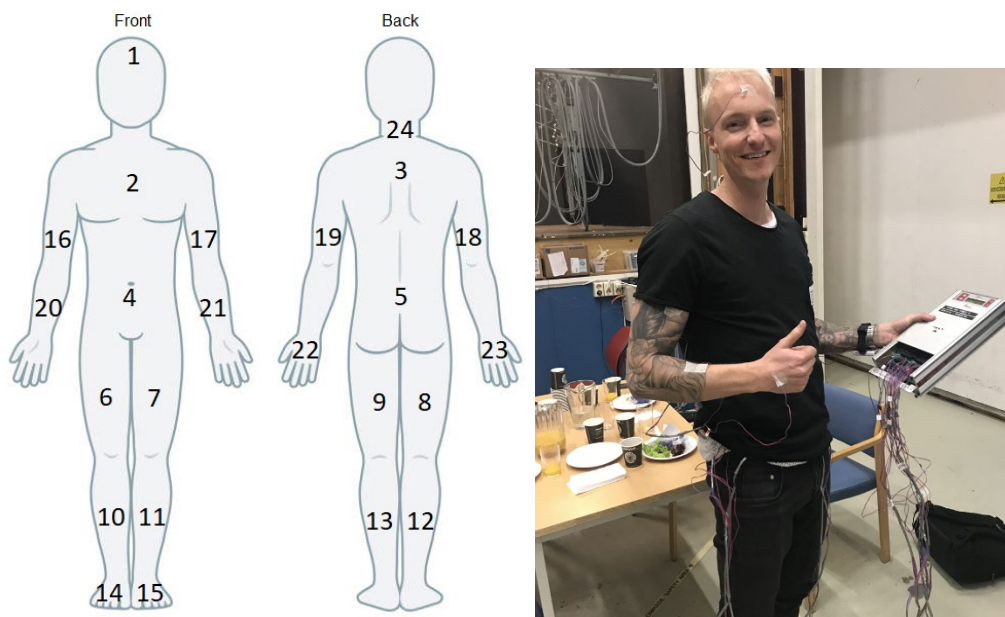
Figur 2-7. Situasjoner som gir lokalt velbehag. Foto: Shutterstock (t.v.), Pixabay (t.h.)

Enkelt illustrert kan man tilsvarende oppleve lokalt velbehag ved å varme hendene på en kopp kakao etter en lang skitur. Kalde hender varmes opp, hvilket gir lokalt velbehag. Elektroniske signaler sendes til hjernen og påvirker vår totale termiske opplevelse av situasjonen. Det er denne kunnskapen om ulike termoreseptorer på kroppen som ligger til grunn ved hudtemperaturmåling og vekting til resultat for "hele kroppen" i modeller utviklet av Zhang et al. [26].

En viktig presisering når det gjelder termisk komfort i inneklimasammenheng, er å skille mellom transient (midlertidig) velbehag og mer varig velbehag. Opplevd velbehag kan være størst i de første 2–3 minutter av eksponeringen, for så enten å avta eller flate ut etter noen minutter. Rapporteres det velbehag etter denne tiden, anses det som en mer varig effekt. I forsøkene er det derfor spørreskjema ved start, etter ti minutter og på slutten av testrunden.

Hudtemperaturmålinger

For bedre å kunne avgjøre faktisk hudtemperatur sammenliknet med rapportert opplevd temperatur ble det i prosjektet utviklet en egen måletrøye for hudtemperaturmålinger. Måletrøya er basert på studiet til Sakoi et al. [27] og utviklet til en versjon med 24 ulike målepunkter. Utfyllende informasjon fins i Solberg [28].



Figur 2-8. Illustrasjon av de ulike målepunktene av hudtemperatur, og benyttet måletrøye

3. Prototyp utvikling

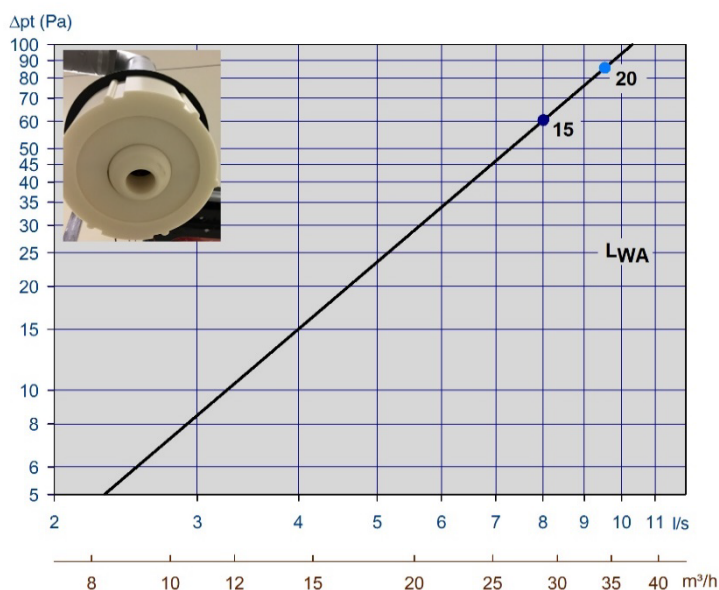
Hensikten med SvalVent-konseptet har vært å gi brukerne kontroll over en delluftmengde for økt kjøling på varme dager slik at de kan styre sitt eget mikroklime. Prototyp utvikling er gjort i tett samarbeid mellom prosjektpartnere.

Basert på innledende studier av luftkarakteristikk og dyseutforming ble prototyper av dyser testet og videreutviklet hos Trox Auranor. Dyser ble implementert i prototype 1 og videreutviklet til prototype 2 og 3 på bakgrunn av forsøksresultater. Prototypene ble testet ut i et kontrollert klimakammer hos SINTEF Community i to forsøksrunder. Deretter ble de benyttet i feltforsøk i Entras kontorlokaler. I feltforsøk var også erfaringer med installering av SvalVent-løsningen i eksisterende ventilasjonssystem og testing av reguleringskonsept viktig. Utviklingen av de tre ulike prototypene blir beskrevet i de neste avsnittene. Alle prototypene benytter Trox Auraflex kanaler mellom plenumskammer og dyser.

Utvikling av SvalVent-dyse

SvalVent-dyse ble utviklet på bakgrunn av innledende studier av vindkarakteristikk og utvikling av beregningsprogram for β -verdier. En tilnærming mot naturlig vind var ønskelig. Resultater ble tatt videre i målinger på ulike prototype-dyser hos Trox' utviklingsavdeling. Tidlige prototypedyser ble modifisert til mindre størrelse for å oppnå ønsket lufthastighet og karakteristikk. Benyttet dyse har en åpning på 40 mm og en karakteristikk som angitt nedenfor.

Svalvent i kanalende Ø100.



Figur 3-1. Trykkfall over dyse

Prototype 1

Første prototype ble brukt i laborieforsøk mars 2018 og besto av et plenumskammer med mulighet for uttak av luft til to dyser. I tillegg hadde hvert plenumskammer en tilluftsventil slik at tilstrekkelig grunnventilasjon ble tilført testdeltakerne. To plenumskammer ble installert i himlingen. Luft til både plenumskammeret, og dysene ble styrt av forsøksleder ved hjelp av VAV-spjeld. Forsøksdeltakerne hadde dermed ikke mulighet til å styre selv. Balansert ventilasjon ble opprettholdt for dette forsøket.



Figur 3-2. Bildet viser et plenumkammer brukt i prototype 1 før det ble installert i første forsøksrunde.

Prototype 2

Prototype 2 ble benyttet i labforsøket i november 2018. Med prototype 2 ble det gjort videreutvikling i retning individuell styring ut fra erfaringer fra labforsøk i mars. En fysisk styringsboks ble koblet til hver dyse for at testdeltakerne skulle få muligheten til å styre luftmengdene selv. Styringsboksen ble utviklet av Topro, programmert av SINTEF Community og tilpasset forsøkene. Testdeltakerne kunne regulere luftmengde stegvis opp og ned under forsøkene, med en startposisjon på null. Figur 3-3 viser koblingen til styringsboksene som henger ned fra himlingen.

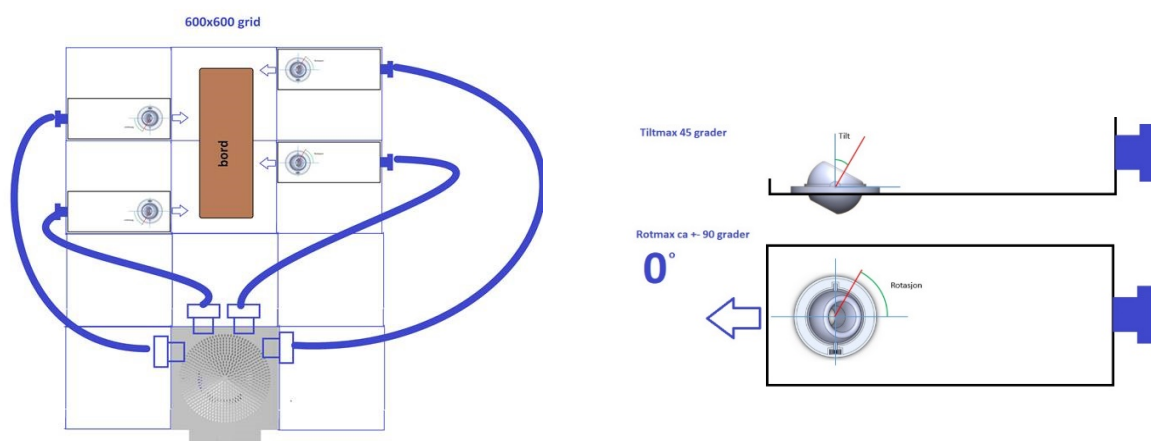
I tillegg ble VAV-spjeldene og kanaldimensjon til plenumskammer neddimensjonert. En reduksjon i kanaldimensjon gjorde at viftepådraget til hele systemet kunne reduseres og dysehastighet reguleres bedre, noe som ga mindre støy. Retningen på dysen var fortsatt manuelt innstilt av forsøksleder i forsøkene. En første prototype på bevegelig dyse ble utprøvd av deltakerne i etterkant av forsøksdagen.



Figur 3-3. Prototype 2 i bruk på laboratoriet hos SINTEF Community, der 4 testdeltakere hadde hver sin styringsboks som er tilkoblet regulering av den enkelte dyse

Prototype 3

Prototype 3 ble brukt i Entra-lokalet og kan tilpasses eksisterende ventilasjonsanlegg. Et helt nytt system (styring og dyser) ble laget basert på erfaringer fra lab. **Error! Reference source not found.** viser konseptet til prototype 3, der hvert plenumkammer inneholdt 2–4 dyser og hver dyse er rettet mot en arbeidsplass. Dysene er integrert i en stålplate tilsvarende en halv himlingsplate (30 x 60 cm) i størrelse, og kan om nødvendig forskyves og vendes til optimal posisjon. Med en egen integrert styring per dyse/arbeidsplass kunne deltakerne selv styre dysen til ønsket posisjon og regulere lufthastigheten fra dysen. Posisjonering av dysen gjøres med motorer i x- og y-aksen, og lufthastigheten reguleres med en hjelpevifte. Høyere lufthastigheter ble oppnådd med prototype 3 enn de tidligere prototypene som ble benyttet i laboratoriet hos SINTEF Community. Dysen er innstilt på en utgangsposisjon, men kan justeres 90 grader fra denne. Tilt opp og ned er ca. 45 grader.



Figur 3-4. Konsept for prototype 3. Venstre: Illustrasjon av plenumskammeret med 4 dyser. Høyre: Dyse integrert i himlingsplate. Dysen kan roteres og tiltes.

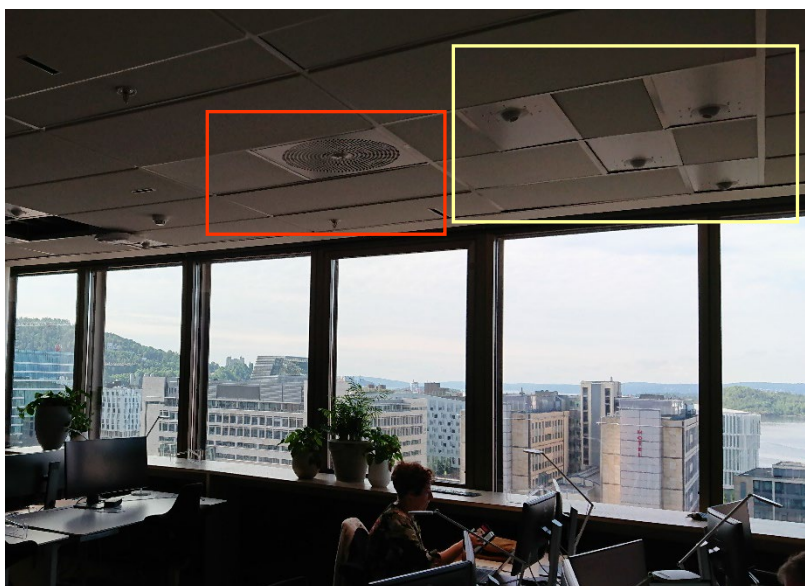


Figur 3-5. Styring av dyseposisjon (pil opp og ned = tilt, venstre og høyre = rotasjon) og lufthastighet (slider) via webside

Styringen var trådløs og ble levert av Trox Auranor og Vitir. Brukeren opererer sin dyse enten via en mobil app eller en webside. Denne kommuniserer direkte med styringen i dysen via Bluetooth. SvalVent-løsningen kommuniserer på Modbus og BACnet på RS485.

Dyseposisjon og lufthastighet kan leses og skrives til fra for eksempel et SD-anlegg via dette grensesnittet.

Den største begrensningen ved installering er enheter relatert til brann, lys m.m., som fører til at himlingsplata ikke kan erstattes med en dyseplate. Det må ikke være noen fysiske hindringer i himling mellom dyse og personen den betjener. Plassering ga ingen større utfordringer ved Entra-forsøket.

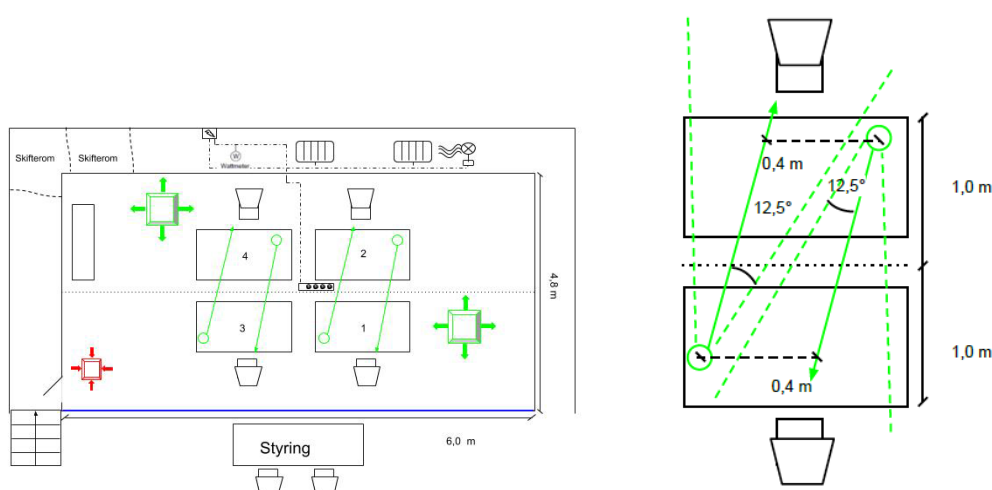


Figur 3-6. Installasjon av prototype 3 (SvalVent-løsningen) i himlingen med 4 dyser (gul boks). Den røde boksen viser tilluftsventil, med tilhørende plenumsammer over himling.

Dyseplassering og avstander

Forsøk i lab er gjort i et rom tilsvarende standard oppsett for åpne landskap for fire personer. Rommets størrelse er 6 m x 4,8 m, med takhøyde 2,7 m, hvilket tilsvarer et kontorareal på 28,8 m². Fire bord er plassert mot hverandre i avstand som tilsvarer standard arbeidsplass (1,0 m dybde, 1,2 m bredde). Rommet ble tilført en konstant luftmengde på 240 m³/h i henhold til standardkrav, og som kunne styres mellom tilluftsventil og dyser.

En rekke innledende forsøk ble gjennomført for å finne egnet dyseretning og vinkel (foran/bak, side, hode/bryst/føtter). Basert på subjektiv evaluering og måling av hudtemperatur ble dyse rettet mot hode og bryst ved sittende posisjon valgt for videre studier i marsforsøket. Dyser rettet mot hodet var indikert å gi en god nedkjølingseffekt, mens dyser rettet mot bryst gjør at eventuelt ubehag ikke oppstår like fort ved at bryst er mindre sensitivt.



Figur 3-7. Oppsett for kontorareal i lablokalene til SINTEF [28]

Termisk komfort er ikke bare avhengig av lufthastighet, men også turbulensintensitet og såkalt β -verdi. Innledende studier med prototypedyse viser en økt β -verdi med økt avstand. Dyser

bør derfor plasseres med en viss avstand fra personen – ikke rett over (som også gir større trekkfare), men heller ikke så langt unna at hastigheten blir for lav og strålen for bred. Luftstrålen skal skape et mikroklima rundt brukeren, men ikke forstyrre tilliggende arbeidsplass. Utbredelse av runde stråler øker med en vinkel på ca. 22 grader. Dyser ble derfor plassert i lab i en avstand på 1,7 meter (horisontalt) fra testpersonens sittende posisjon, og med en sideveis plassering som unngår at strålene påvirker hverandre. Resulterende plassering er da over nabopult i en forskjøvet posisjon i forhold til senter, se Figur 3-7.

Tilsvarende avstander mellom dyse og person ble tilstrebet i feltforsøk for å sikre tilstrekkelig lufthastighet og dermed kjølekapasitet. Himlingshøyden var 2,8 m, og dyseposisjon måtte tilpasses himlingsplan. Luftstrålene skulle ikke krysse hverandre. Det ble arbeidet ut fra en maksimal (skrå)avstand fra dyse til hodehøyde i sitteposisjon på 2,4 m ($2,0 \pm 0,4$ m).

4. SvalVent-forsøkene

I løpet av prosjektet har det vært gjennomført tre større forsøk med SvalVent-konseptet der tre ulike prototyper er blitt testet ut. De to første forsøkene ble utført i et fullskala ventilasjonslaboratorium ved SINTEF Communitys lokaler i Oslo i mars og november 2018. Det siste forsøket ble utført i Entras lokaler sommeren 2019, med konseptet installert for opptil 22 brukere i åpent landskap mot sørvendt fasade.

Forsøkene ble gjort for å få mer kunnskap om variasjoner i ønsket temperatur, samt hvordan personer reagerer på høyere lufthastigheter og turbulens enn dagens komfortkrav hvis de selv kan påvirke egen situasjon. Aktuelle problemstillinger er:

1. Er det endring i termisk komfort over tid ved bruk av dyser?
2. Hastigheter over tverrsnitt i strålen ved ulike lufthastigheter
3. Påvirkes hudtemperatur og termisk komfort av om luften treffer hodet eller brystet?
4. Er det overenstemmelse mellom opplevd hudtemperatur og målinger av kroppslig temperatur?
5. Kan økt lufthastighet ved bruk av dyse i himling gi termisk komfort selv ved høyere romtemperaturer enn dagens praksis?
6. I hvor stor grad kan økt lufthastighet kompensere for høyere romtemperatur?
7. Har tilluftstemperatur noe å si for termisk komfort?
8. Gir individuell styring flere fornøyde brukere?
9. Hva er tilstrekkelig lufthastighet?
10. Gir SvalVent-konseptet flere fornøyde brukere enn standard regulering i feltlab?

Mars-forsøk

Første forsøket med SvalVent-konseptet ble utført over tre uker i mars 2018. Formålet med forsøket var å undersøke hvor godt SvalVent-konseptet fungerte ved forholdsvis høye romtemperaturer. To ulike lufthastigheter ble testet ut med SvalVent-konseptet: lav (0,25 m/s) og høy (0,5 m/s) i et cross-overdesign. I tillegg ble det gjennomført en forsøksrunde med ekstra høy (0,75 m/s) lufthastighet. Romtemperaturen i laboratoriet ble holdt konstant hver forsøksuke, henholdsvis 24, 26 og 28 °C. Luftfuktigheten ble holdt stabil til sommerlige forhold (40 %) ved hjelp av en dampbefukter med tilførsel i tilluftskanal.



Figur 4-1. Venstre: Deltaker med svettesensor. Høyre: Simulering av kontorplass med fire deltakere i lab

I alt var 21 deltakere involvert i forsøket, og de fleste deltok alle tre ukene. Fire personer deltok hver dag, og disse hadde på seg en svettesensor for logging håndsvette. To av deltakerne hadde også på seg måletrøye for logging av ulike hudtemperaturer. En forsøksdag hadde to økter, med 5 testrunder før og etter lunsj. Deltakerne ble akklimatisert til riktig romtemperatur i forkant av hver halvdags økt. Hver testrunde varte i 30 minutter. Deltakerne ble utsatt for forhåndsbestemte lufthastigheter og luftstråleretninger (hode/bryst). Ved hver testrunde ble

testpersonene spurt om å besvare spørreskjemaene tre ganger: ved starten, etter 10 minutter og før slutten. Alle ble bedt om å ha på seg bukser, t-skjorte og lette sko, en bekledding tilsvarende 0,7 clo.

November-forsøk

Hovedformålet med forsøket var:

- Undersøke hvordan ulike tilluftstemperaturer påvirker opplevd termisk komfort. Økt tilluftstemperatur gir lavere kjølebehov og redusert energibehov.
- Undersøke om individuell styring av lufthastighet førte til flere fornøyde brukere.

Forsøket ble utført over en uke i november 2018. Både romtemperaturen og relativ fuktighet ble holdt stabil i laboratoriet, med et settpunkt på 26 °C og 40 % relativ fuktighet. 20 personer deltok i forsøket, hvor 4 personer deltok hver dag. Samme dyseretning (hodet) ble benyttet for alle fire personene, og alle hadde på seg svettesensorer. Alle ble bedt om å ha på seg bukser, t-skjorte og lette sko, en bekledding tilsvarende 0,7 clo.

Luftmengden som ble tilført laboratoriet, var konstant, mens tilluftstemperaturen varierte utover dagen. Tilluftstemperaturen var satt til 17, 19, 21 og 26 °C. Hver person kunne styre luftmengden/lufthastigheten fritt med en prototype styringsboks med en liten økning/reduksjon (men for dem ukjent størrelse) per klikk.

Hver forsøksdag hadde to økter, med 4 testrunder før og etter lunsj. Hver testrunde varte i 30 minutter. Personene ble akklimatisert til riktig romtemperatur før hver økt. Testpersonene ble utsatt for varierende tilluftstemperaturer i et cross over-design. Ved hver testrunde ble testpersonene spurt om å besvare spørreskjemaene, ved starten, etter 10 minutter og før slutten. Personene hadde samme bekledding som ved mars-forsøkene.

Entra – proof of concept

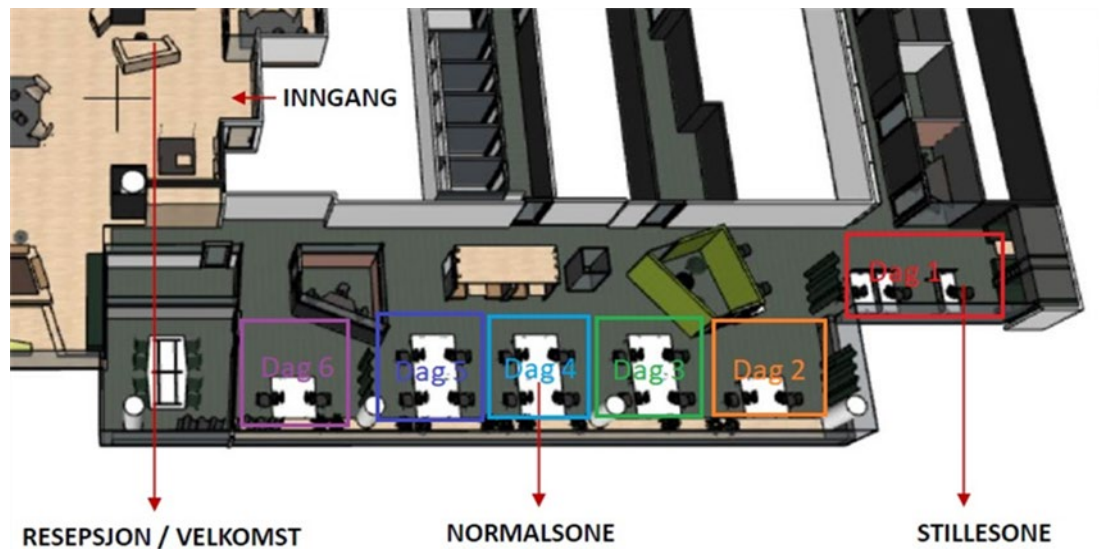
For å teste SvalVent-konseptet mot standardkonseptet i et reelt bygg ble prototype 3 installert hos Entra. Målet var å undersøke om individuell styring av dyse ga tilfredsstillende kjøling og fornøyde brukere ved en høyere romtemperatur enn tradisjonelle løsninger. Ventilasjonssystemet på Entra er behovsstyrt, og standard regulering innebar økt luftmengde for kjøling fra en romtemperatur på 23 °C, V_{\max} fra 24 °C. Kjølebafler slås på hvis romtemperaturen økes ytterligere med 0,5 °C. SvalVent-reguleringen innbar at settpunktet for både maks luftmengde og kjølebafler ble økt med 2,5 °C. Tabell 4-1 gir en oversikt over reguleringen ved ulike settpunkter.

Tabell 4-1. Settpunkter (°C) for standard versus SvalVent-konseptet

Dagtid	Standard	SvalVent
Tilluftstemperatur (°C)	16,5	19,0
Romtemperatur morgen	23,0	23,0
Romtemperatur før økt luftmengde	23,0	25,5
Maks luftmengde ved:	24,0	26,5
Kjølebafler starter ved:	24,5	27,0
Kjølebafler maks	25,5	28,0

Det ble benyttet et cross-over forsøksdesign. Kontorlandskapet ble delt i to, der halvparten av kontorlandskapet kunne benytte seg av individuell styring av dyser, den andre ikke. To dager var dedikert til standard regulering og 2 dager til SvalVent regulering. Forsøkene ble gjennomført på varslede gode sommerdager. I alt 18 kontorplasser, 9 med dysestyring og 9 uten, var tilgjengelig for deltakerne (Figur 4-2). 24 deltakere ble rekruttert og fikk faste kontorplasser der

det var mulig. Ikke alle deltakerne deltok alle dagene. De ble bedt om å svare på spørreskjema om opplevd termisk komfort og hudtemperatur to ganger om dagen, kl. 10 og kl. 14. For å beregne clo ble deltakerne også spurt om hva de hadde på seg, og kunne krysse av for ulike plagg som vist i Figur 2-2. Inneklimaparametere som luftmengde, romtemperatur og kanaltemperatur ble hentet fra SD-anlegget. I tillegg ble mobilt og kalibrert måleutstyr benyttet for å logge romtemperatur, relativ fuktighet og CO₂.



Figur 4-2. Montasje av nye SvalVent-ventiler og -dyser i Entras lokaler (Bokser markert "Dag" representerer installasjonsrekkefølge for ulike soner.)

Energisimuleringer

Det er gjennomført dynamiske energiberegninger i simuleringsprogrammet IDA-ICE for sammenlikning av energibruk med og uten SvalVent-løsningen. Beregningene er utført for et referansebygg og tre ulike caser hvor SvalVent-løsningen benyttes, se kapittel 7.

5. Resultater

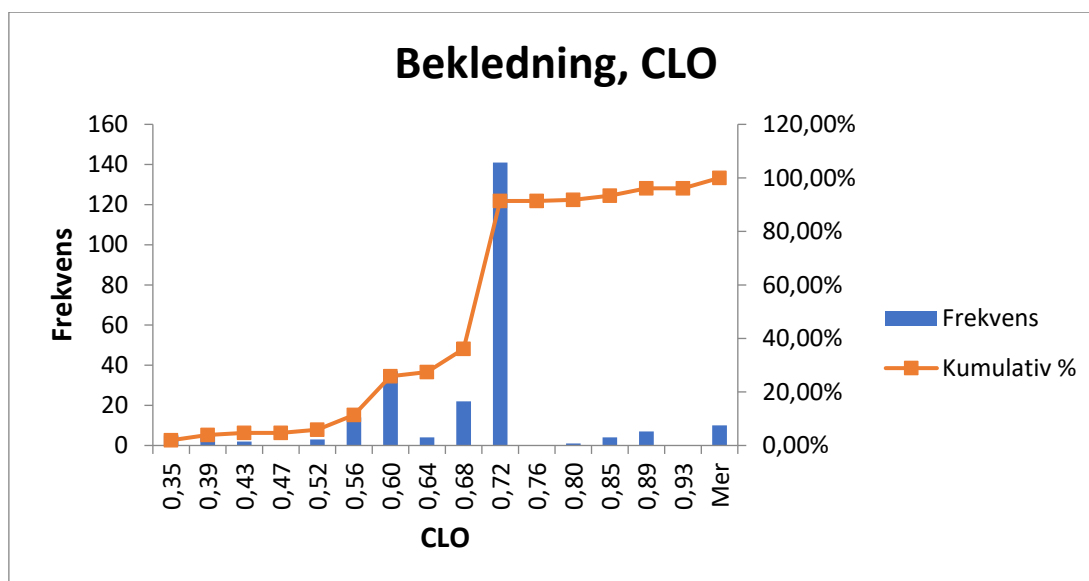
Deltakere

41 personer (25 menn og 16 kvinner) deltok på labforsøkene i SINTEFs lokaler. 23 personer (14 kvinner og 9 menn) deltok på forsøket i Entras lokaler. Aldersspennet på testdeltakerne kan ses i Tabell 5-1.

Tabell 5-1. Aldersspenn til deltakerne som deltok i de ulike SvalVent-forsøkene

Aldersspenn	Labforsøk mars (N = 21)	Labforsøk nov. (N = 20)	Feltforsøk Entra (N = 23)
20–29	48 %	35 %	9 %
30–39	14 %	25 %	30 %
40–49	5 %	10 %	26 %
50–59	14 %	20 %	35 %
60+	19 %	10 %	

I feltforsøket på Entra var deltakerne kledd etter eget ønske. Clo-verdi ble beregnet ut fra selvrapportert bekledding ved avkryssing i spørreskjema utformet i tråd med NS 7730. Resultatene er vist i Figur 5-1. Et klart flertall av deltakerne rapporterte en sommerbekledding tilsvarende 0,72 clo. Deltakerne utførte standard kontorarbeid ved PC, hvilket regnes som et aktivitetsnivå tilsvarende 1,2 met.

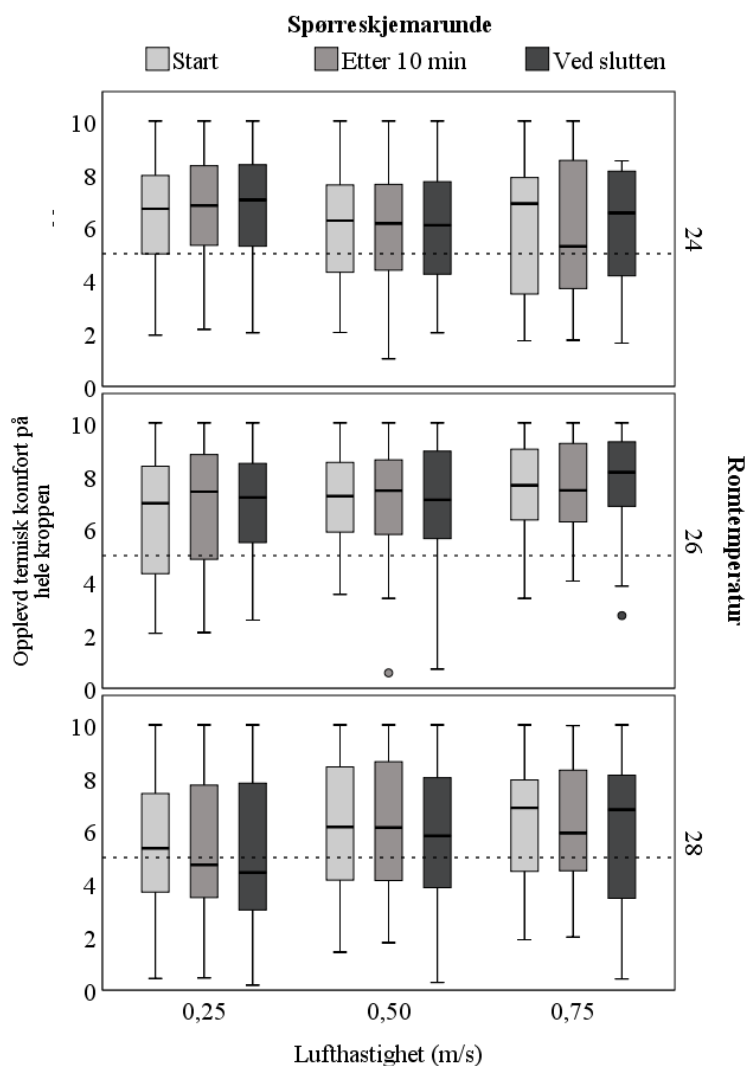


Figur 5-1. Frekvensdiagram for bekledding hos deltakerne som deltok på Entra-forsøket

Er det endring i termisk komfort over tid ved bruk av dyser?

Ved design av studiene ønsket vi å ta høyde for eventuelle endringer i termisk komfort over tid. Vi kjenner alle til bruk av dyser i bil eller på fly. Om det er varmt, skrur vi gjerne opp lufthastigheten og får en kjølede effekt. Etter hvert som temperaturen føles mer behagelig, skrur vi hastigheten ned. Dette kan beskrives som en "transient" tilstand. Vi er varme, skrur opp hastigheten, og etter hvert som vi er termisk nøytrale, reduseres lufthastigheten.

Studier har vist at denne effekten opptrer innen de første 5–10 minuttene. For å fange opp ubehag over tid eller en mer adaptiv effekt varer forsøkene i 30 minutter. Med en spørreskjemarunde ved oppstart, etter 10 minutter og ved slutten av hver forsøksrunde kan man studere effekt over tid.



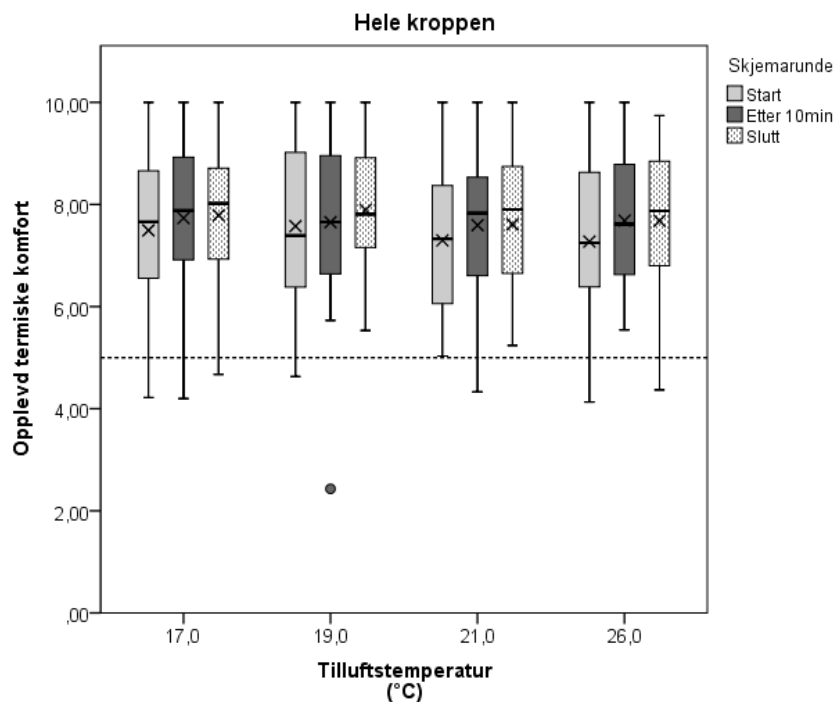
Figur 5-2. Besvarelsene av opplevd termisk komfort fra tre spørreskjemarunder for hele kroppen ved ulike lufthastigheter og romtemperaturer. Fra mars-forsøket, uten individuell styring

Resultatene av alle besvarelsene fra mars-forsøkene vises i Figur 5-2 ved en romtemperatur på 24 °C øverst, 26 °C nederst. Boksplot viser resultater ved oppstart, etter 10 minutter og ved 25 minutter for hver av de benyttede lufthastighetene lav (0,25 m/s), høy (0,50 m/s) og ekstra høy (0,75 m/s).

For 24 °C ser vi at termisk komfort er jevnt over tid for lufthastigheter på 0,25 og 0,50 m/s. Det er et tydelig fall i medianverdien ved 0,75 m/s etter 10 minutter, mens samlet score er forholdsvis jevn. Ved denne temperaturen ser lave hastigheter ut til å gi best termisk komfort.

For 26 °C er det jevn termisk komfort med liten forskjell mellom de ulike variasjonene. Lav lufthastighet (0,25 m/s) gir noen ukomfortable i starten og en svak adaptiv effekt over tid.

For 28 °C er det en svak negativ trend over tid ved lav (0,25 m/s) og høy (0,50 m/s) lufthastighet. Også her er det et tydelig fall i medianverdien etter 10 minutter og en svak utvikling mot termisk ubehag for noen respondenter over tid.



Figur 5-3. Besvarelse av opplevd termisk komfort fra tre spørreskjemarunder ved ulike tilluftstemperaturer

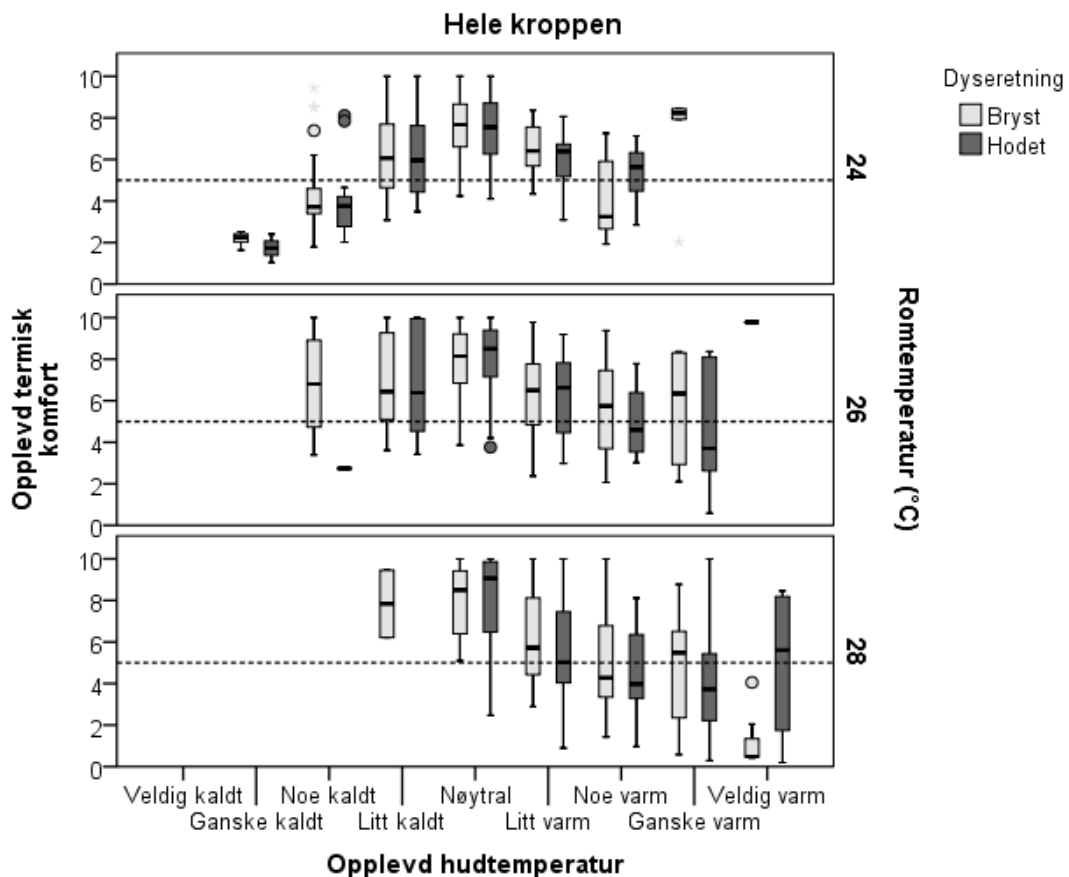
Figur 5-3 viser tilsvarende fordeling over tid for november-forsøkene. Denne gangen er det tilluftstemperaturen som varierer, mens romtemperaturen er konstant 26 °C. Også denne gangen er det liten variasjon over tid, men en svak adaptiv effekt.

Basert på resultatene fra labforsøkene med og uten individuell styring av dysehastighet, kan vi trekke følgende slutninger om termisk komfort endrer seg over tid:

- Alt i alt er det små variasjoner over tid. I de videre analysene er det derfor valgt å se besvarelsene fra samme forsøksrunde i ett.
- Et lite obs ved 28 °C over tid

Påvirkes hudtemperatur og termisk komfort av om lufta treffer hodet eller brystet?

Innledende forsøk (ved vanlig ukontrollert romtemperatur) for å bestemme dyseretning og plassering indikerer at dyser rettet mot hodet kan gi en god nedkjølingseffekt, mens dyser rettet mot bryst gjør at eventuelt ubehag ikke oppstår like fort ved at bryst er mindre sensitivt. I mars-forsøkene var to dyser rettet mot hodet, mens to var rettet mer mot bryst.



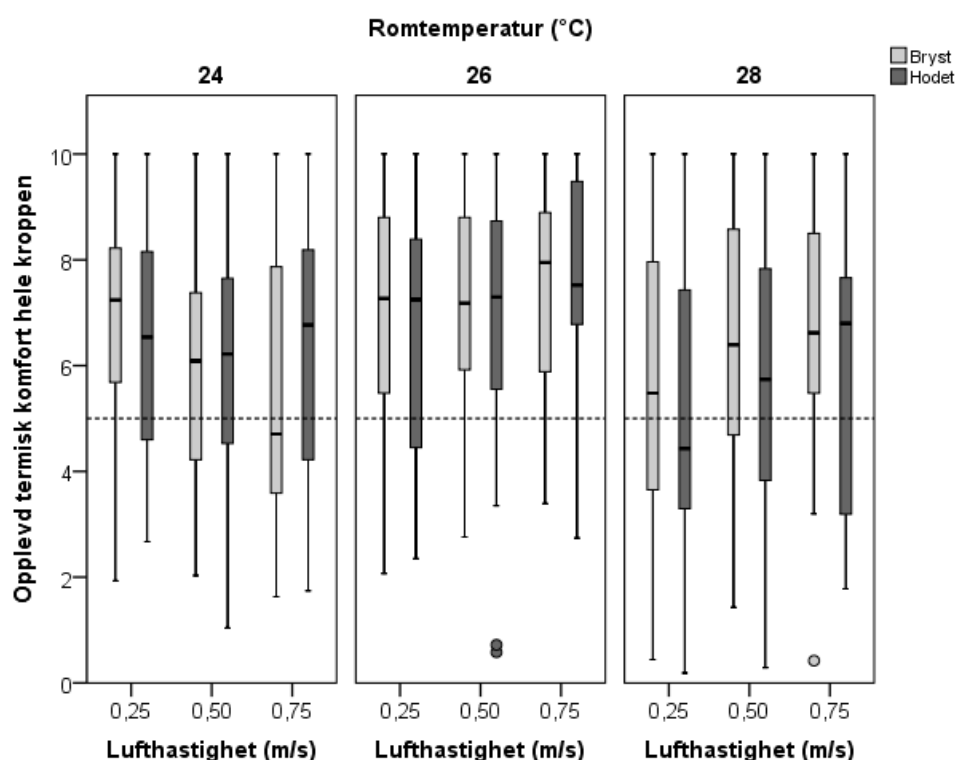
Figur 5-4. Oversikt over opplevd termisk komfort og hudtemperatur når dyse er rettet mot bryst/hodet ved ulike romtemperaturer.

I Figur 5-4 ser vi at det er forholdsvis små forskjeller på termisk komfort med dysen rettet mot hodet og bryst når personene føler seg "litt kaldt", "nøytral", og "litt varmt". Personene føler seg generelt kaldere ved 24 °C og varmere ved 28 °C. Vi ser variasjoner i opplevd termisk komfort (y-aksen) ved ytterpunktene av opplevd hudtemperatur (x-aksen) for hver av romtemperaturene. Likevel er det kun ved 28 °C og "veldig varmt" at dyseretningen gir en reell (signifikant) forskjell. I dette tilfellet er det en tendens til at dysen rettet mot hodet gir bedre termisk komfort enn hvis dysen er rettet mot bryst. Tabell 5-2 viser at det er rapportert 7 ganger "veldig varmt" med dyse mot bryst, og generelt misfornøyde med termisk komfort. 4 ganger er det rapportert "veldig varmt" med dyse mot hodet, og her varierer termisk komfort en del.

Tabell 5-2. Oversikt over antall besvarelser fra mars-forsøket for opplevd hudtemperatur for hele kroppen ved ulike dyseretninger og romtemperaturer

Hele kroppen	24 °C		26 °C		28 °C	
	Bryst	Hodet	Bryst	Hodet	Bryst	Hodet
Veldig kaldt	0	0	0	0	0	0
Ganske kaldt	9	3	0	0	0	0
Noe kaldt	29	27	8	1	0	0
Litt kaldt	80	85	36	19	2	0
Nøytral	88	102	125	126	72	56
Litt varm	25	19	47	71	88	82
Noe varm	9	5	34	29	57	70
Ganske varm	5	0	12	22	41	53
Veldig varm	0	0	1	0	7	4

Deler man opp på ulike lufthastigheter personene er utsatt for, som i Figur 5-5, ser vi at dyseretning gir små utslag når personene oppgir sin opplevde termiske komfort. Det er en liten tendens til at dyse rettet mot bryst gir noe bedre score av opplevd termisk komfort ved en romtemperatur på 28 °C, men det kan ikke regnes som et funn.



Figur 5-5. Opplevd termisk komfort for hele kroppen når deltakerne blir utsatt for ulike lufthastigheter med dysen rettet mot bryst/hodet ved ulike romtemperaturer

Resulterende lufthastighet fra dyse ved personens sitteposisjon er målt over tverrsnittet av luftstrålen. Lufthastigheten er størst i midten. Det er denne lufthastigheten som tilstrebes å gi bør-verdien og refereres til som strålens lufthastighet. Lufthastigheten avtar med økt avstand fra senter. Resultatet viser at området rundt halsen vil påvirkes noe av strålen uansett om dysen var rettet mot hode eller bryst.

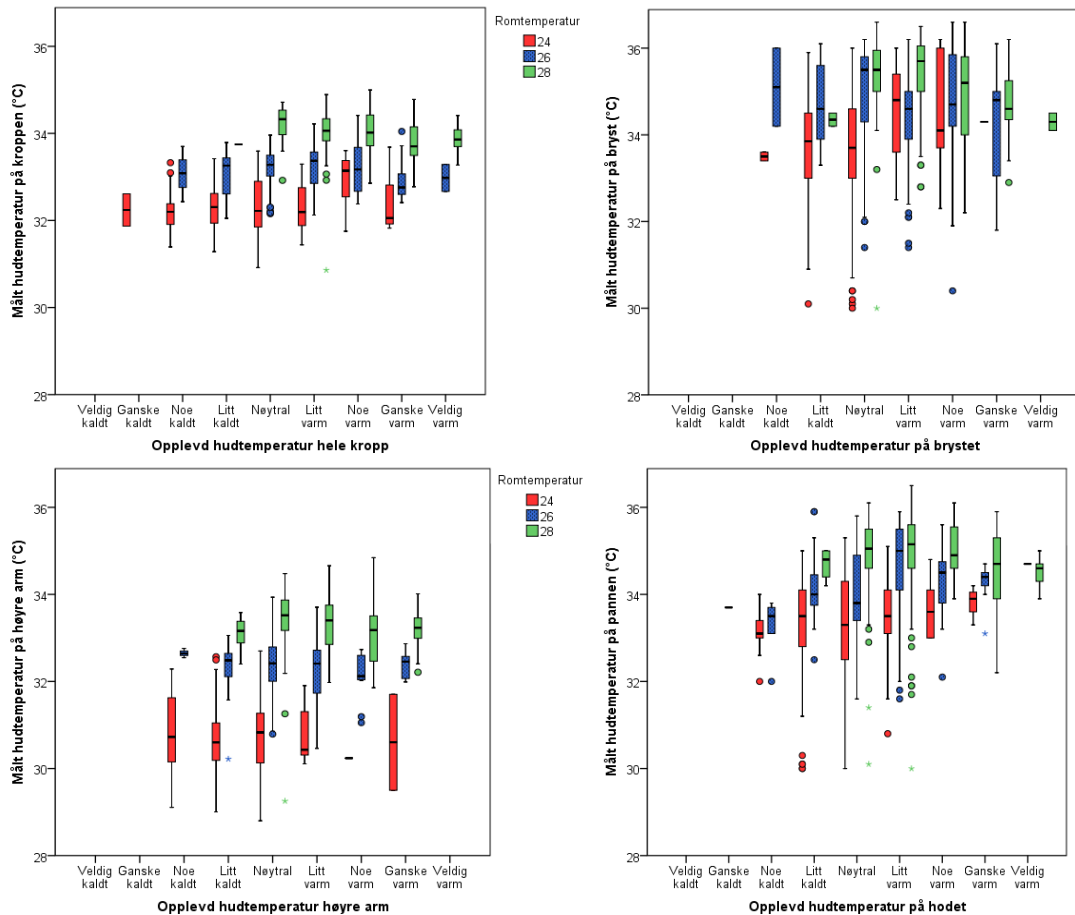
Basert på mars-forsøket uten individuell styring av lufthastigheten, kan vi trekke følgende slutninger om betydningen av om lufta treffer hodet eller brystet:

- Det er lite forskjell i resultatene når dyser er rettet mot hode eller mot bryst.
- Det er også en vist fysisk overlapp mellom de to, da utbredelsen av strålen gjør at begge posisjoner påvirker hals.
- Det er i videre forsøk i november kun benyttet én innstilling, med senter omtrent ved hake. Strålen vil da treffe hodet/hals/øvre bryst.

Er det overenstemmelse mellom opplevd hudtemperatur og målinger av kroppslig temperatur?

Hudtemperatur

SvalVent ønsket å studere sammenhengen mellom egenrapportert opplevd hudtemperatur via spørreskjema og faktisk hudtemperatur målt på kroppen. Har de som rapporterer at de er varme eller kalde, faktisk en høyere eller lavere temperatur på deler av eller hele kroppen enn når de føler seg nøytrale? Egne måletrøyer ble utviklet, og 11 personer (7 menn og 4 kvinner) hadde på seg måletrøyer under mars-forsøkene. Resultater for "hele kroppen" er en vektet verdi basert på målinger fra ulike kroppsdelene.



Figur 5-6. Resultater av målt hudtemperatur og opplevd hudtemperatur for ulike deler av kroppen ved forskjellige romtemperaturer fra mars-forsøkene. N = 11 personer

Figur 5-6 viser forholdet mellom målt og opplevd hudtemperatur for ulike deler av kroppen når deltakerne oppholdt seg i lab ved 24 – 26 – 28 °C. Resultater for hele kroppen viser en klar sammenheng mellom målt hudtemperatur og romtemperatur. Økende romtemperatur viser en systematisk økning i målt hudtemperatur for ulike deler av kroppen. Gjennomsnittlig målt hudtemperatur på de ulike kroppsdelene øker med 1,42 °C (bryst) til 2,64 °C (høyre arm) når

romtemperaturen økes fra 24 til 28 °C. Samtidig rapporterer deltakerne opplevd hudtemperatur som høyere. Målt hudtemperatur på kroppen øker med litt over 2 grader, fra 32,3±0,6 °C til 34,0±0,5 °C når romtemperaturen økes fra 24 til 28 °C. Når personene rapporterer at de er varmere, gjenspeiles dette i målingene.

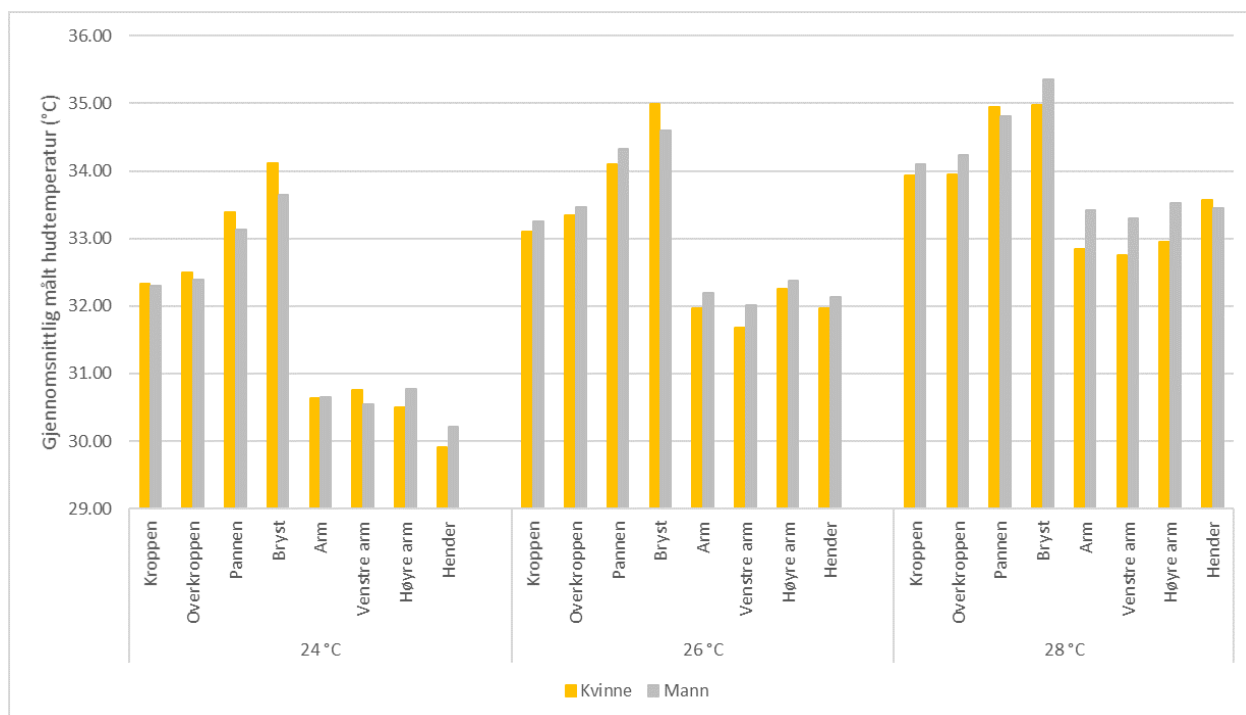
Målte temperaturer på brystet ligger høyere enn målinger på andre kroppsdelene. Økning i målt hudtemperatur på brystet er mindre sammenliknet med tilsvarende økning i romtemperatur. Ved 24 °C er gjennomsnittlig målt hudtemperatur på bryst 33,8 °C, mens ved 28 °C er den 35,2 °C. Dette henger sammen med at bryst representerer kjernetemperatur og at bekledding isolerer for varmeavgivelse.

Hender måles til å ha lavere temperaturer. Hendene er mer eksponert for luftbevegelser enn bryst/kjernen. Temperaturøkningen på hender/armene ved økt romtemperatur er større enn på bryst, hvilket indikerer en mer aktiv temperaturregulering i kroppen. Små blodårer i hender og armer regulerer blodgjennomstrømningen. Når man er kald, trekker blodårene seg sammen. Blodgjennomstrømningen og varmeavgivelsen minker, og hudtemperaturen blir litt lavere. Tilsvarende vil blodårene utvide seg og gi økt blodgjennomstrømning (vasodilation) og varmeavgivelse når man føler seg varm, for å oppnå varmebalanse.

Kjønn og målt hudtemperatur

Av de 12 personer som hadde på seg måltrøye i mars-forsøket, var 4 kvinner. Dette er et lite materiale, men siden tidligere studier tilsier mulige forskjeller mellom kvinner og menn [29]–[32], er dette tatt med i analysen.

Ved en romtemperatur på 24 °C er gjennomsnittlig målt hudtemperatur noe høyere for kvinner enn for menn, spesielt på øvre kroppsdelene (Figur 5-7). På hender og armer er den målte hudtemperaturen lavere for kvinner, med en forskjell på under 0,3 K. Målingene viser at ved romtemperatur 28 °C, er gjennomsnittlig målt hudtemperaturen for kvinner lavere enn for menn.



Figur 5-7. Gjennomsnittsverdien av målt hudtemperatur på ulike kroppsdelene for menn og kvinner ved ulike romtemperaturer

Som vist i Tabell 5-3 øker målt hudtemperatur noe mer på menn enn kvinner for alle kroppsdeler, med unntak av hender, når romtemperaturen økes.

Tabell 5-3. Endring i målt hudtemperatur med økning i romtemperatur fra 24 til 28 °C.

	Kroppen	Overkroppen	Pannen	Bryst	Arm	Venstre arm	Høyre arm	Hender
Menn	1,81	1,84	1,69	1,71	2,76	2,77	2,75	3,24
Kvinner	1,60	1,45	1,56	0,86	2,22	1,99	2,45	3,65

Vi anser ikke at endring i målt hudtemperatur på hender er direkte påvirket av økt romtemperatur (det er ikke et resultat av målefeil). Regresjonsanalyser viser at kvinner ser ut til å ha i gjennomsnitt omtrent 0,2 til 0,3 K lavere målt hudtemperatur når man tar hensyn til lufthastighet.

Antall respondenter i studien er lav, og resultatene må betraktes som en indikasjon. Mer forskning er nødvendig for å trekke endelige konklusjoner. Det er likevel grunn til å tro at individuelle forskjeller er like viktige som kjønn, se også avsnitt om valgt lufthastighet. Videre er det verdt å merke seg at våre funn er ved endring i opplevd temperatur fra noe kaldt til ganske varmt, og at varmereguleringen i kroppen kan påvirkes av dette.

I motsetning til en del tidligere studier har SvalVent-forsøkene inkludert ulike aldersgrupper. Tallmaterialet er for lite til å kunne gi resultater med hensyn til alder.

Svette

Når temperaturen i et rom øker, forsøker kroppen å kvitte seg med overskuddsvarme gjennom økt blodsirkulasjon og konveksjonsvarmetap. Når dette ikke lenger er tilstrekkelig, igangsettes svetteproduksjon for mer effektiv varmeavgivelse ved fordamping. Det er derfor målt svette i hendene med medisinsk utstyr for å se om testpersonene blir så varme at denne reaksjonen igangsettes og påvirker resultatene.

Svettemålingene på håndflatene (fingre) til testpersonene viste ingen tegn til svettetilløp. Det kan tyde på at SvalVent-løsningen gir termisk komfort under grensen for økt svetteproduksjon. Muligens kan dette også være en positiv bieffekt av SvalVent-løsningen som gjør at fukt transporteres fortere vekk fra kroppen ved høyere lufthastighet, men dette er lite sannsynlig med tanke på kompensering av romtemperatur (se avsnitt om tilstrekkelig lufthastighet). Erfaringene med svettemålingene viser også at det er vanskelig å oppnå gode og pålitelige resultater av målingene. Tilsvarende erfaringer er beskrevet i litteraturen [33], [34]. Lan et al. [35] fant en økt svetteproduksjon med økt romtemperatur til 27 °C og selvvalgt bekleddning til termisk komfort, men uten økt lufthastighet.

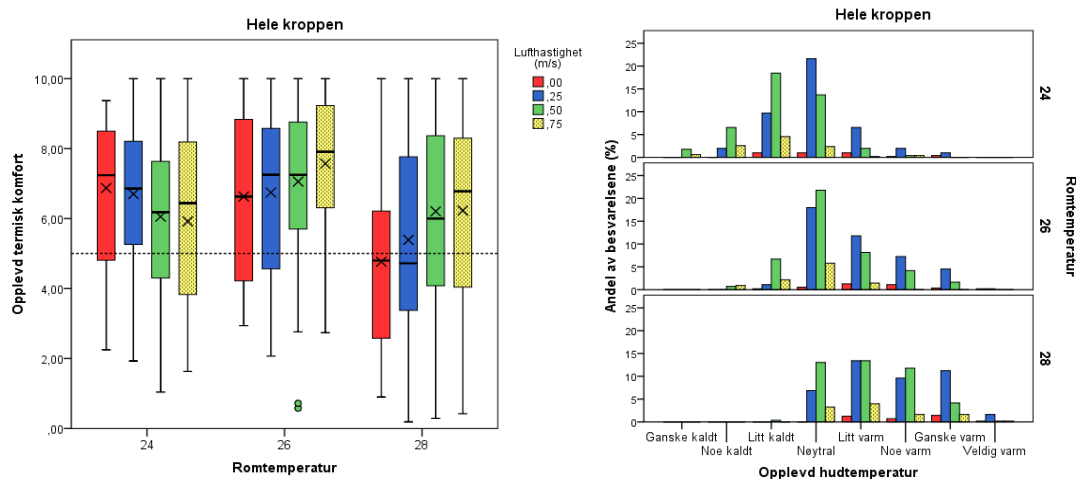
Vi kan trekke følgende slutninger om målt og opplevd hudtemperatur:

- Det er en omtrent lineær sammenheng mellom økning i romtemperatur, målt hudtemperatur og opplevd hudtemperatur for de forholdene som er studert. Når personene rapporterer at de er varme, har de høyere målt hudtemperatur.
- Vi ser ingen tegn til økt svette. SvalVent-løsningen ser ut til å gi termisk komfort på et nivå der svettereaksjon ikke aktiveres for økt varmeavgivelse.
- Det er målt en liten forskjell i hudtemperatur mellom kvinner og menn, der kvinner generelt er noe kaldere på armer og hender. Individuelle forskjeller anses likevel som mer framtrepende enn kjønn.

Kan økt lufthastighet ved bruk av dyse i himling gi termisk komfort selv ved høyere romtemperaturer enn dagens praksis?

Termisk komfort ved ulike romtemperaturer

Deltakerne ble i spørreskjemaene bedt om å rangere opplevd termisk komfort og opplevd hudtemperatur for hele kroppen og ulike deler av kroppen. Hovedfokus ved mars-forsøket var å undersøke termisk komfort med lufthastigheter på 0,25 og 0,50 m/s ved tre ulike romtemperaturer: 24, 26 og 28 °C. Tilleggsforsøk med en ekstra høy lufthastighet (0,75 m/s) ble også kjørt mot slutten av dagen. Lufthastigheten var styrt av forsøksleder.



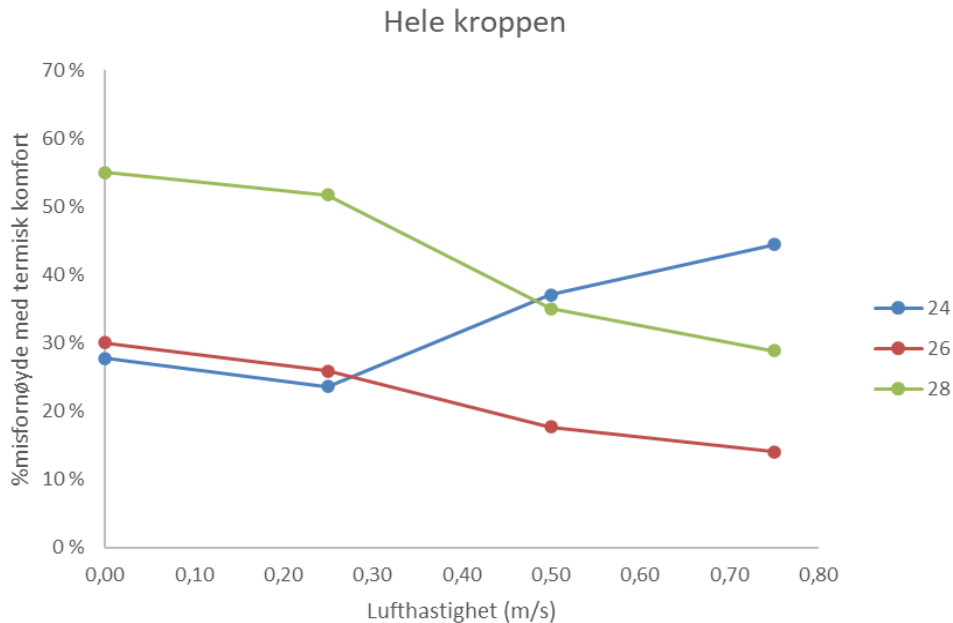
Figur 5-8. Venstre: Opplevd termisk komfort for hele kroppen ved ulike romtemperaturer og lufthastigheter. De innrammede boksene representerer halvparten av besvarelsene, tverrstreke er medianverdi og X er gjennomsnittsverdien. Stiplet linje viser grensen for akseptabel termisk komfort. Høyre: Opplevd hudtemperatur for hele kroppen. Prosentandel av besvarelsene ved ulike romtemperaturer og lufthastigheter

I venstre del av Figur 5-8 ser vi at det er en tendens til at opplevd termisk komfort for hele kroppen øker med økende lufthastighet ved de to høyeste romtemperaturene, mens ved en romtemperatur på 24 °C minker opplevd termisk komfort med økt lufthastighet. Høyeste gjennomsnittlige termiske komfort er ved 26 °C og de to høyeste lufthastighetene.

Det er en klar relasjon mellom ønsket lufthastighet og opplevd hudtemperatur (Figur 5-8, høyre del). Litt grovt kan vi si at høyere lufthastighet er negativt når man rapporterer opplevd hudtemperatur på den kalde siden av skalaen, og positivt når opplevd hudtemperatur er nøytral eller på den varme siden.

Er økt lufthastighet OK ved sommerforhold?

Et viktig spørsmål ved økt lufthastighet er om det i det hele tatt er akseptabelt med høyere lufthastigheter enn standard krav til maks 0,2 m/s ved sommerforhold. Figur 5-8 og Figur 5-9 viser klart at høyere lufthastigheter er positivt ved høyere romtemperaturer. Termisk komfort går opp og prosentandel misfornøyde går ned med økende lufthastighet.



Lufthastighet \ Romtemperatur	0 m/s	0,25 m/s	0,50 m/s	0,75 m/s
N ved 24 °C	18	216	216	54
N ved 26 °C	20	236	238	57
N ved 28 °C	20	236	237	59

Figur 5-9. Prosentandel misfornøyde med termisk komfort på hele kroppen ved ulike lufthastigheter og romtemperaturer. Tabellen under viser oversikten over totalt antall besvarelser. Lufthastigheten er styrt av forsøksleder

For alle romtemperaturer er det en reduksjon av prosentandel misfornøyde når lufthastigheten økes til 0,25 m/s. Her går det et klart skille: For de to høye romtemperaturene reduserer økt lufthastighet prosentandel deltakere som er misfornøyde. For 24 °C gir økende lufthastighet økt prosentandel av tiden deltakerne er misfornøyde. Det kan henge sammen med at økende lufthastigheter ved 24 °C fører til at deltakerne opplever en kaldere hudtemperatur.

Figur 5-8 og Figur 5-9 viser også at lufthastighetene som ble benyttet i mars-forsøket, ikke var tilstrekkelig. Ved 28 °C var høyeste tilgjengelige lufthastighet på 0,75 m/s ikke nok til å få deltakerne til å føle seg termisk komfortable. Forventet andel misfornøyde på 20 % ved standard ventilasjonsløsning oppnås ikke.

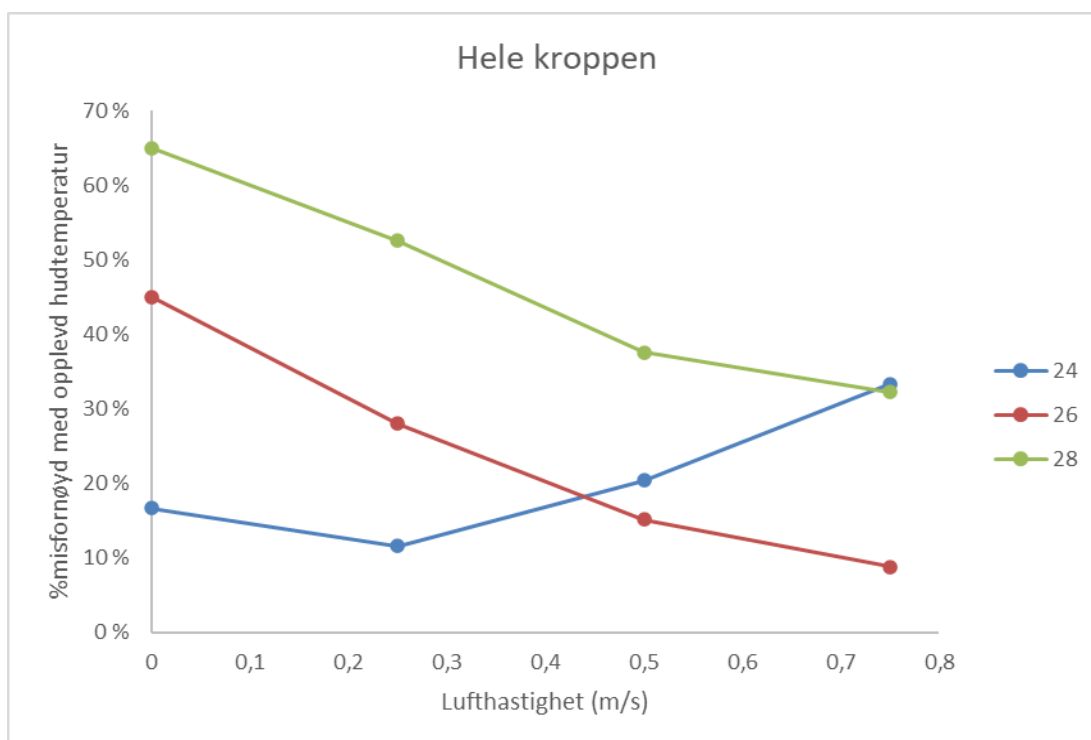
Om økte lufthastigheter, uten individuelle styring, kan gi termisk komfort ved høyere romtemperaturer, kan vi trekke følgende slutninger:

- Høyere lufthastigheter enn standardkrav er positivt.
- Høyere lufthastigheter enn 0,25 m/s gir økt prosentandel misfornøyde ved romtemperatur 24 °C uten individuell styring av lufthastigheter.
- Det er en klar sammenheng mellom opplevd hudtemperatur og ønsket lufthastighet.
- Ved en romtemperatur på 28 °C er det behov for høyere lufthastighet enn 0,75 m/s for å redusere prosentandel misfornøyde til et akseptabelt nivå.

I hvor stor grad kan økt lufthastighet kompensere for høyere romtemperatur?

Økt lufthastighet kan gi en opplevelse av avkjøling, men som nevnt innledningsvis er også turbulensintensitet og fluktuasjon viktige parametere for hvor behagelig luftstrålen oppleves.

I spørreskjemaet for opplevd hudtemperatur er det benyttet kategoriske verdier (0, ±1, ±2 ..., ±4) og ikke kontinuerlige verdier. Det er da vanlig å definere fornøyd med opplevd hudtemperatur hvis de angitte svarene er -1 (litt kaldt), 0 (nøytral) og 1 (litt varmt). Dette samsvarer også med våre funn i forsøkene (se individuell styring). Øvrige kategorier regnes som misfornøyde. Basert på svarene fra deltakerne kan vi da regne ut faktisk prosentandel misfornøyde (APD: actual percentage dissatisfied) med opplevd hudtemperatur. Figur 5-10 viser faktisk prosentandel misfornøyde (APD) ved ulike lufthastigheter og romtemperaturer når deltakerne ikke styrer lufthastighetene selv.



Figur 5-10. Prosentandel misfornøyde med opplevd hudtemperatur ved ulike lufthastigheter og romtemperaturer. Basert på resultatene fra mars-forsøkene, uten individuell styring av lufthastighet

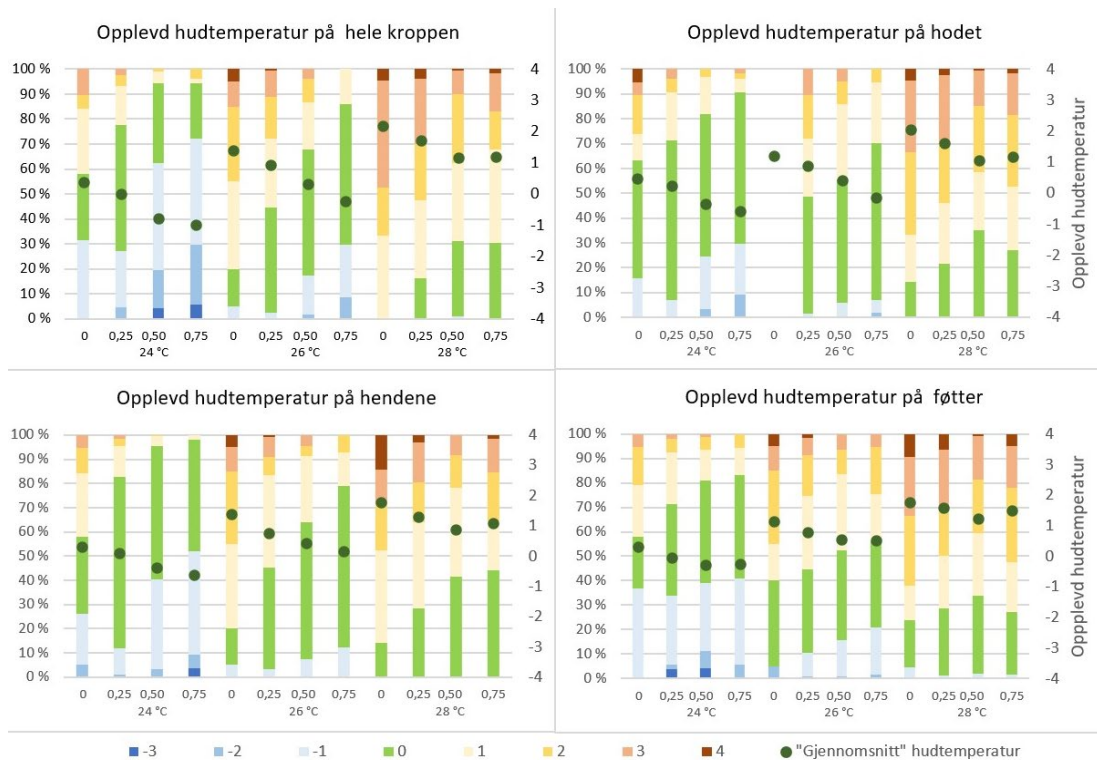
Ved 24 °C observeres et minimumsnivå på 10 % misfornøyde med opplevd hudtemperatur uten individuell styring av lufthastighet på 0,25 m/s. Tilsvarende antall misfornøyde fins ved en lufthastighet på 0,75 m/s ved 26 °C, men denne gangen uten sikkerhet for at dette er et minimumsnivå. En økning av lufthastighet på 0,5 m/s gir samme opplevde hudtemperatur når romtemperaturen økes med 2 °C.

Tilsvarende ser vi at en lufthastighet på 0,25 m/s gir ca. 30 % misfornøyde ved 26 °C, omtrent samme prosentandel som ved 24 og 28 °C med 0,75 m/s. Dette kan være relatert til at ved 26 og 28 °C blir de respektive lufthastighetene for lave, mens den ved 24 °C blir for høy. Likevel ser en økning av lufthastighet på 0,5 m/s ut til å samsvare med en endring i romtemperatur på to grader.

Figur 5-11 illustrerer hvordan den gjennomsnittlige opplevelsen av hudtemperatur minker med økende lufthastighet for ulike deler av kroppen. Vi observerer at økt lufthastigheter gir en opplevelse av kjøling som er tilnærmet lineær med økende lufthastighet ved de to laveste temperaturene. Det er tegn til en "metning" ved 28 °C – det skjer tilsynelatende ingen reduksjon

sjon i opplevd hudtemperatur og lite reduksjon i andel misfornøyde når lufthastigheten økes fra 0,50 til 0,75 m/s.

Ser vi litt nærmere på nyanser av opplevd hudtemperatur i Figur 5-11, finner vi samme trend, det vil si at en økning av lufthastighet på 0,50 m/s kan kompensere for en økning av 2 °C i romtemperatur. 24 °C og 0 m/s gir omtrent samme gjennomsnittlige hudtemperatur som 26 °C og 0,5 m/s. Med andre ord: Opplevelsen av å sitte i rommet er den samme ved 26 °C romtemperatur og lufthastighet 0,50 m/s som å sitte i rommet med 24 °C uten luft i dyse; tilsvarende 24 °C og 0,25 m/s med 26 °C og 0,75 m/s. Den største prosentandelen oppgir også nøytral (Figur 5-11 grønt område i stolpediagrammene) som opplevd hudtemperatur. Ved 26 °C og 0,75 m/s derimot, har de tilsvarende ved 24 °C blitt litt kalde (blå nyanser), mens de ved 28 °C er litt varme (oransje/rødt).



Figur 5-11. Opplevd hudtemperatur på hele kroppen, hodet, hendene og føttene ved ulike kombinasjoner av romtemperatur og lufthastigheter gjennom dysene (mars)

Vi kan trekke følgende slutninger om hvor mye økt lufthastighet (uten individuell styring) kan kompensere for økt romtemperatur:

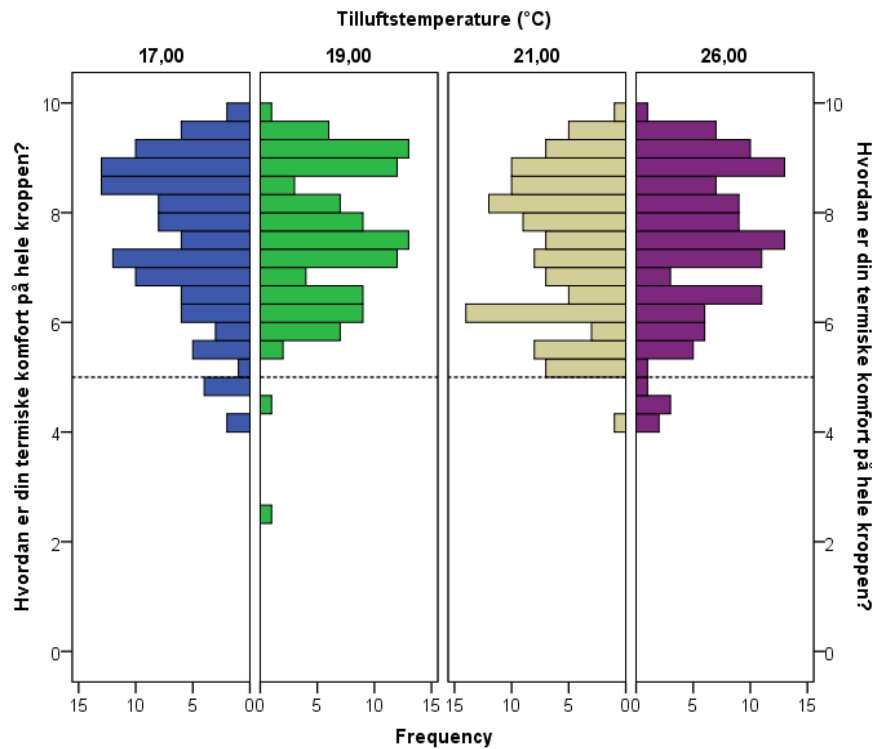
- En økning av lufthastighet på 0,5 m/s kan kompensere for en økning på 2 °C romtemperatur ved bruk av SvalVent-dyse. Resultatene gjelder for romtemperatur i området 24–28 °C og gir omtrent samme opplevd hudtemperatur.

Har tilluftstemperatur noe å si for termisk komfort?

I mars-forsøket ble tilluftstemperaturen holdt konstant på 21 °C, mens aksept ved ulike romtemperaturer ble studert. November-forsøket er gjennomført med individuell styring av lufthastighet i en romtemperatur på 26 °C, og vi studerte effekten av ulike tilluftstemperaturer på termisk komfort.

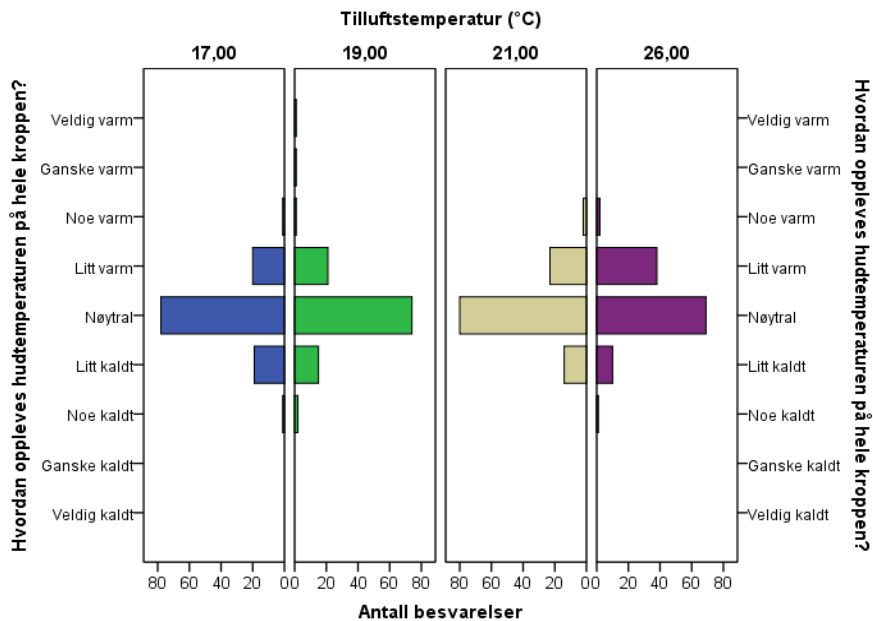
Figur 5-12 viser at tilluftstemperatur har liten effekt på opplevd termisk komfort. Det er få besvarelser der deltakerne avgir en score under 5, som er grenseverdien for akseptabel termisk

komfort. Videre er det små forskjeller når det gjelder hvor termisk fornøyde de er, med en svak tendens til noe høyere misnøye ved den laveste og høyeste tilluftstemperaturen. Prosentandelen misfornøyde med termisk komfort på hele kroppen er generelt lav (< 5 %, Figur 5-17).



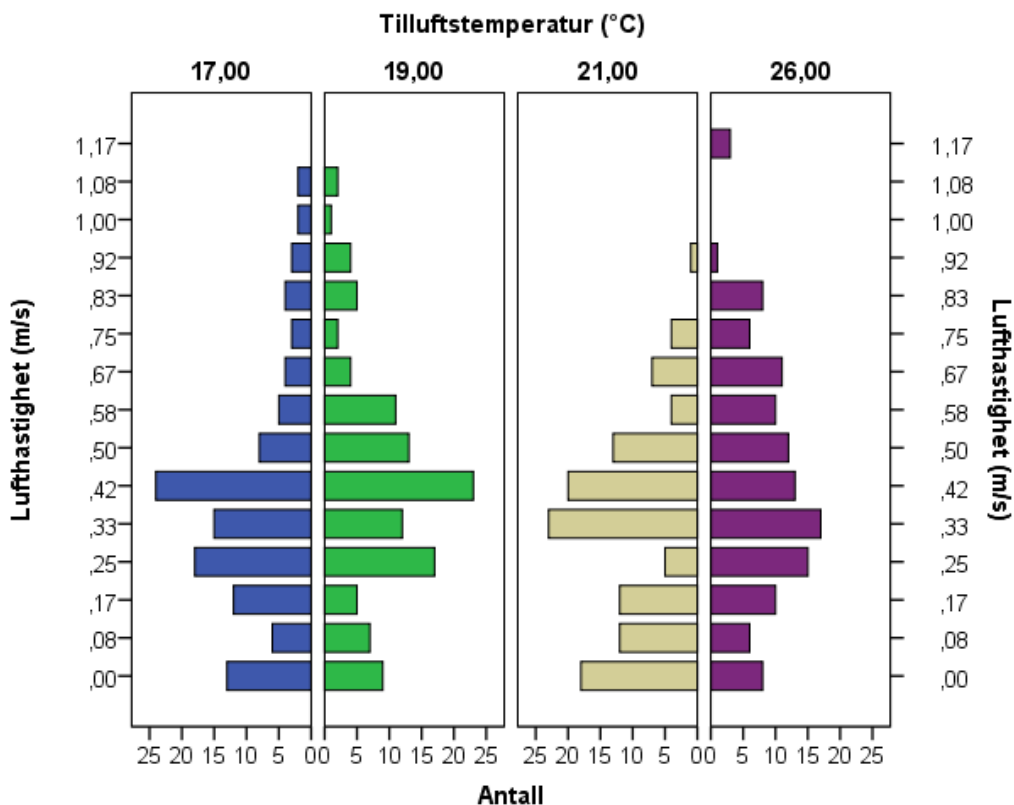
Figur 5-12. Frekvensdiagram av termisk komfort for hele kroppen ved ulike tilluftstemperaturer

Tilsvarende observasjoner gjøres for opplevd hudtemperatur (Figur 5-13), der nøytral hudtemperatur oppgis i over halvparten av besvarelsene ved de ulike tilluftstemperaturene. Hudtemperatur "litt varm" og "litt kaldt" oppgis omtrent like ofte, det er kun ved tilluftstemperatur 26 °C vi ser at flere oppgir "litt varm". Ut fra disse figurene kan man trekke ut at deltakerne er generelt fornøyde med opplevd termisk komfort og hudtemperatur uansett tilluftstemperatur.



Figur 5-13. Besvarelsene av opplevd hudtemperatur for hele kroppen ved ulike tilluftstemperaturer

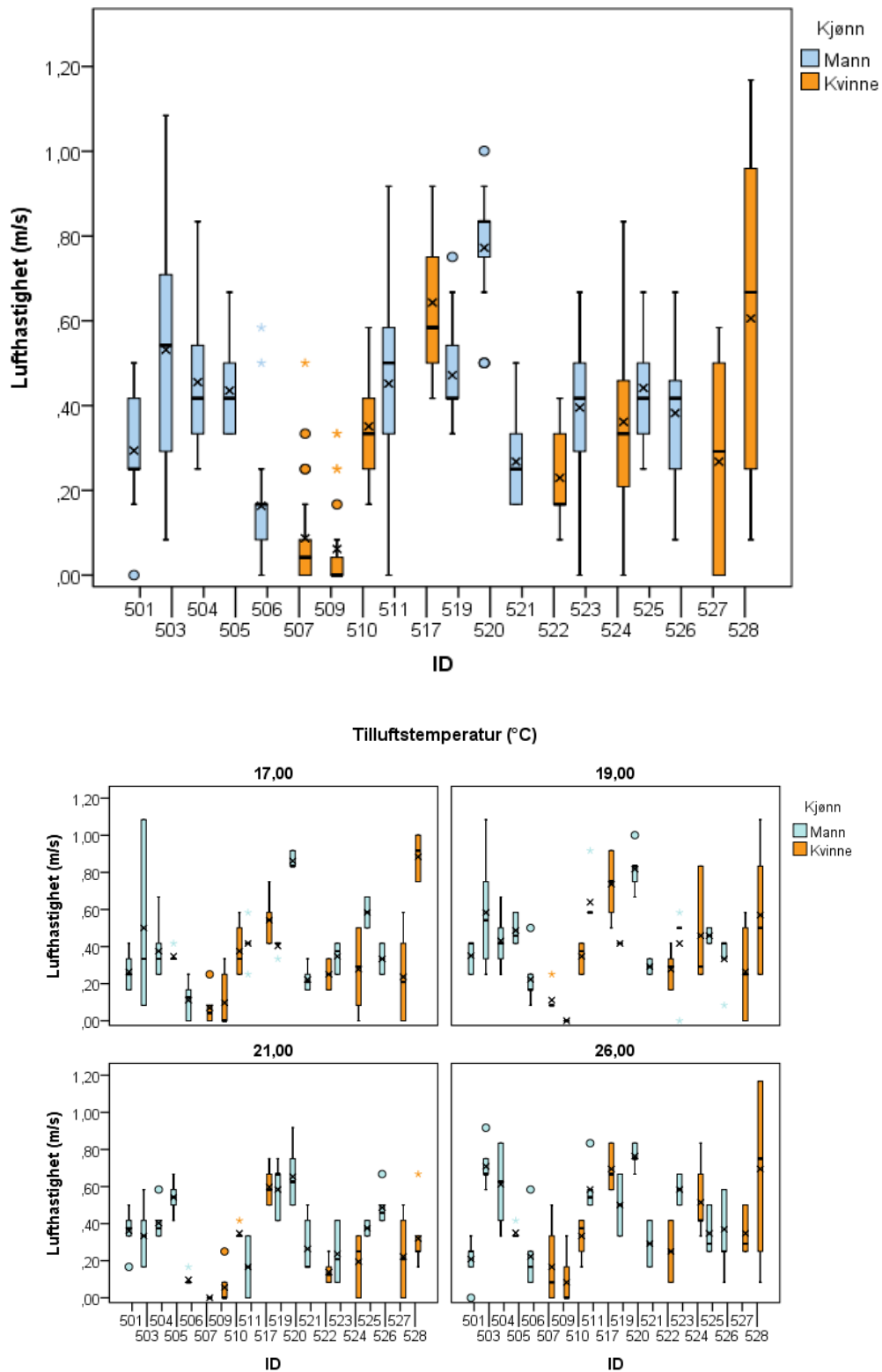
I november-forsøket kunne deltakerne selv styre lufthastighet. Reguleringen av lufthastighet var basert på luftmengdemålingen. Angitt lufthastighet er beregnet resulterende lufthastighet ved personen, ut fra en kalibrering ved 0,25, 0,5 og 0,75 m/s.



Figur 5-14. Antall ganger deltakerne har valgt en spesifikk lufthastighet ved ulike tilluftstemperaturer

Figur 5-14 viser at det ikke er store forskjeller i valgt lufthastighet ved de ulike tilluftstemperaturene. Hovedtyngden har valgt lufthastigheter mellom 0,25 og 0,42 m/s ved 26 °C romtemperatur, mens det er få som velger lufthastigheter høyere enn 0,83 m/s. Det er ikke en

overhyppighet av lave lufthastigheter ved lav tilluftstemperatur eller høye lufthastigheter ved høyere tilluftstemperatur.



Figur 5-15. Valgt lufthastighet per deltaker (øvre) og ved hver tilluftstemperatur (nedre) for novemberforsøket

For å se om valg av lufthastigheter endrer seg på individnivå og ved ulike tilluftstemperaturer har vi sett på fordelingen av dette som vist i nedre del i Figur 5-15. Valgt lufthastighet har størst sammenheng med person, og det er store individuelle forskjeller. Vi ser tydelig ulike brukerpreferanser for lufthastigheter som benyttes når brukerne selv kan velge. Noen personer velger generelt en lav lufthastighet, mens andre foretrekker en høyere lufthastighet. De fleste velger omtrent samme hastighet uavhengig av tilluftstemperatur. Noen benytter et større spekter og er kanskje mer sensitive for temperaturforskjeller.

Forsøksoppsettet i november gjør skille mellom rekkefølgen av valgt tilluftstemperatur på formiddag (21–26–19–17 °C) og ettermiddag (21–17–19–26 °C). Bakenforliggende tall viser at det er små forskjeller mellom besvarelser gjort på formiddagen og ettermiddagen. Det er noe høyere gjennomsnittsverdi for opplevd termisk komfort for hele kroppen for ettermiddagsøkten sammenliknet med formiddagsøkten. Det kan ha sammenheng med at spennet på lufthastighet valgt i ettermiddagsøkten også var generelt litt bredere enn formiddagsøkten.

Av dette kan vi trekke følgende slutninger om tilluftstemperatur:

- Tilluftstemperaturen har lite å si for termisk komfort og opplevd hudtemperatur når det er individuell styring.
- De aller fleste finner en lufthastighet som gir termisk komfort, og er i hovedsak termisk nøytrale ved valgt lufthastighet, noen litt kalde eller litt varme.
- Det er omtrent samme fordeling mellom valgt lufthastighet, uavhengig av tilluftstemperatur.
- Valgt lufthastighet er personavhengig med til dels store individuelle forskjeller.
- Strålen ser ikke ut til å skape en plum rundt personen med samme temperatur som for tilluften. Opplevd termisk komfort ser da ut til å være avhengig av luftstrålens hastighet og karakteristikk.
- Tilluftstemperaturen kan settes høyere enn vanlig, hvilket gir energibesparelser. Sett-punkt avhenger av nødvendig kjølekapasitet for å holde en høyere romtemperatur enn normalt. Dette behandles nærmere i kapitlet om energisimuleringer og styringsstrategier

Gir individuell styring flere fornøyde brukere?

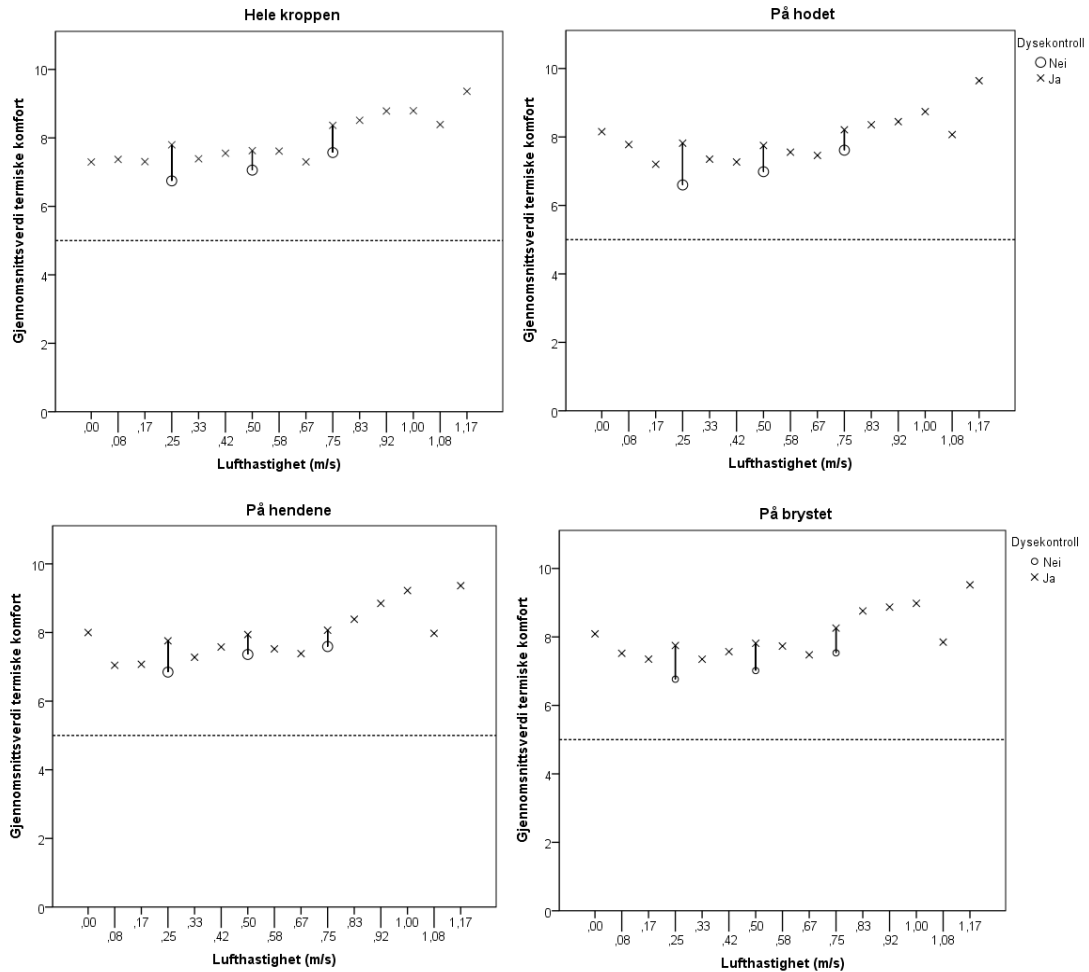
Som nevnt tidligere er det store individuelle forskjeller når det gjelder valg av lufthastigheter. Ifølge Fangers teorier, er 20 % misfornøyde ofte resultatet med felles temperaturregulering i lokaler. Skal antall misfornøyde reduseres, går veien om mer individuell tilpassing eller kontroll. I mars-forsøkene var lufthastigheten i dysene bestemt av forsøkslederen, mens det i november-forsøkene var mulig å tilpasse lufthastigheten etter eget ønske. Datasettet for mars- og november-forsøkene ved en romtemperatur på 26 °C ble slått sammen for videre analyse.

Tabell 5-4 angir antall besvarelser ved ulike hastigheter, med og uten dysekontroll.

Tabell 5-4. Relasjon mellom luftmengde og lufthastighet og antall besvarelser med og uten dysekontroll. N = antall besvarelser

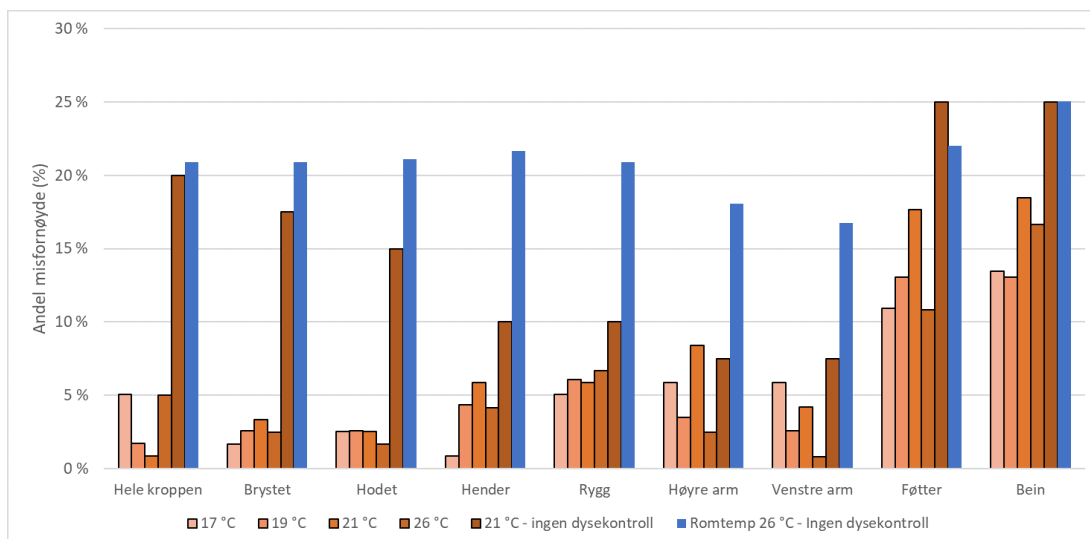
Luftmengde (m ³ /t)	Lufthastighet (m/s)	Ingen dysekontroll (N)	Med dysekontroll (N)
0	0		48
6	0,08		31
9	0,17		39
12	0,25	236	55
15	0,33		67
18	0,42		80
21	0,50	238	46
24	0,58		30
27	0,67		26
30	0,75	57	15
33	0,83		17
36	0,92		9
39	1,00		3
42	1,08		4
45	1,17		3
Total		531	473

En sammenlikning av datasettene for termisk komfort ved ulike lufthastigheter er vist i Figur 5-16. Termisk komfort ved egenbestemt lufthastighet med dysekontroll i november-forsøket er angitt ved x, mens termisk komfort uten dysekontroll i mars-forsøket er angitt med o.



Figur 5-16. Gjennomsnittsverdi av termisk komfort for ulike kroppsdeler med og uten dysekontroll ved romtemperatur 26 °C. Nullforsøket er ekskludert i denne figuren. Stiplet linje indikerer grenseverdien (score på 5,01) for akseptabel termisk komfort.

Resultatene viser generelt høyere gjennomsnittlig termisk komfort med dysekontroll enn uten. For lufthastigheten på 0,25 m/s er det en økning på nesten 2 i gjennomsnittsverdi for termisk komfort for hele kroppen, hodet og hender. For 0,50 og 0,75 m/s er økningen i termisk komfort omtrent 1 med dysekontroll sammenliknet med uten dysekontroll. Basert på dette og øvrige resultater (Figur 5-9) er det grunn til å tro at 0,25 m/s er et kritisk punkt ved en romtemperatur på 26 °C. Med dysekontroll er det flere som finner en komfortabel lufthastighet. Deltakerne velger i 25 % av tilfellene en dysehastighet lavere enn 0,25 m/s, 52 % av tilfellene en lufthastighet på 0,25–0,5 m/s. I under 8 % av tilfellene (36 ganger) velges en høyere lufthastighet enn 0,75 m/s som var den høyeste tilgjengelige lufthastigheten i mars-forsøket.



Figur 5-17. Prosentandel misfornøyde med termisk komfort ved ulike tilluftstemperaturer (oransjetonet, individuell styring) ved en romtemperatur på 26 °C. Den blå stolpen er fra mars-forsøket ved romtemperatur på 26 °C (styrt av forsøksleder).

Ser vi videre på prosentandel misfornøyde med termisk komfort, er det en klar forbedring med dysekontroll. Figur 5-17 illustrerer prosentandel misfornøyde med termisk komfort for ulike deler av kroppen. For mars-forsøket, uten dysekontroll, er 21 % misfornøyde for hele kroppen, mens med dysekontroll er denne redusert til under 5 %.

Vi kan trekke følgende slutninger om individuell kontroll:

- Dysekontroll kan redusere antall misfornøyde fra 21 til under 5 %.
- Dysekontroll gjør at de fleste finner en lufthastighet som gir termisk komfort. Passe lufthastighet rapporteres når personen oppgir å være hovedsakelig termisk nøytral, men av noen også litt varm eller litt kaldt.
- Ved 26 °C velges en lufthastighet på 0,25–0,50 m/s i mer enn 50 % av tilfellene. I mindre enn 8 % tilfellene velges lufthastigheter høyere enn 0,75 m/s.

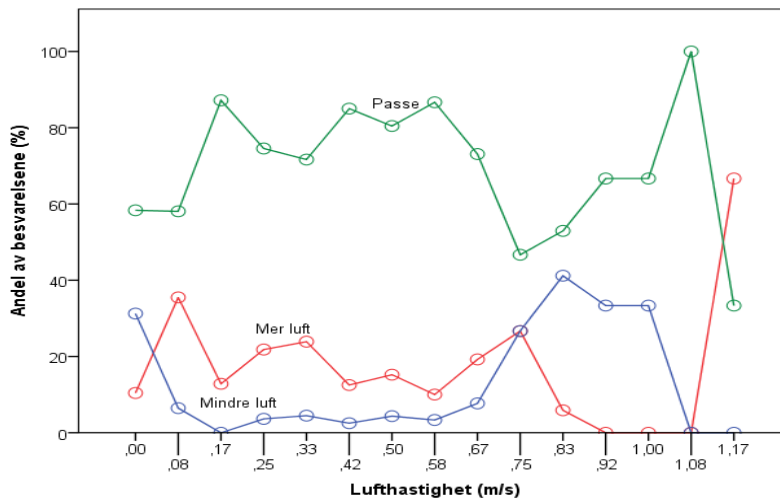
Hva er tilstrekkelig lufthastighet?

Av resultatene presentert ovenfor ser vi at det er en klar sammenheng mellom romtemperatur, opplevd hudtemperatur og ønsket lufthastighet. Generelt ser vi at man ønsker høyere hastighet når romtemperaturen øker, men det er individuelle forskjeller.

Vi observerte tidligere at en økning av lufthastighet på 0,50 m/s kan kompensere for 2 °C høyere romtemperatur med SvalVent-løsningen. Det vil si at en romtemperatur på 24 °C og 0,5 m/s tilsvarer en romtemperatur på 22 °C med ingen lufthastighet, hvilket for de fleste oppleves som kjølig. Ingen ønsker mer luft ved denne hastigheten. Uten dysekontroll så vi av Figur 5-9 at antall misfornøyde øker når hastigheten overstiger 0,25 m/s. Med en lineær kompensasjon for romtemperatur tilsvarer dette en romtemperatur på 23 °C, og litt kald tilstand. Tilsvarende vil det med en romtemperatur på 26 °C ved 0,50 m/s tilsvare 24 °C og 0 m/s.

Med samme resonnement som over vil det være behov for en lufthastighet på opp til 1,0 m/s ved en romtemperatur på 27 °C og 1,25 m/s ved en romtemperatur på 28 °C.

Ved videre forsøk i november kunne brukerne selv velge lufthastighet, og tilgjengelig maks hastighet var høyere. Disse forsøkene er gjort ved en romtemperatur på 26 °C. Hovedtyngden har valgt lufthastigheter mellom 0,25 og 0,42 m/s ved 26 °C romtemperatur. Lufthastigheter over 0,75 m/s velges i under 8 % av tilfellene, og over 0,83 m/s velges i kun 4 % av tilfellene (Figur 5-18).

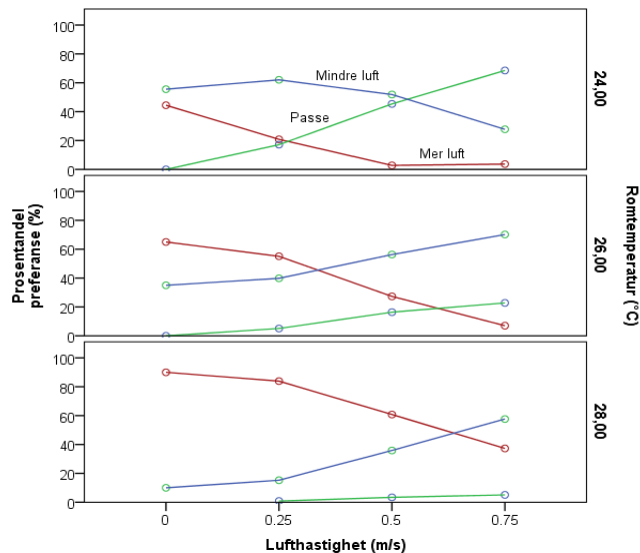


m/s	0,00	0,08	0,17	0,25	0,33	0,42	0,50	0,58	0,67	0,75	0,83	0,92	1,00	1,08	1,17
N	48	31	39	55	67	80	46	30	26	15	17	9	3	4	3

Figur 5-18. Prosentandel av besvarelsene fra november-forsøket som vil ha mer/mindre luft ved ulike lufthastigheter. N = antall besvarelse for hver valgt lufthastighet

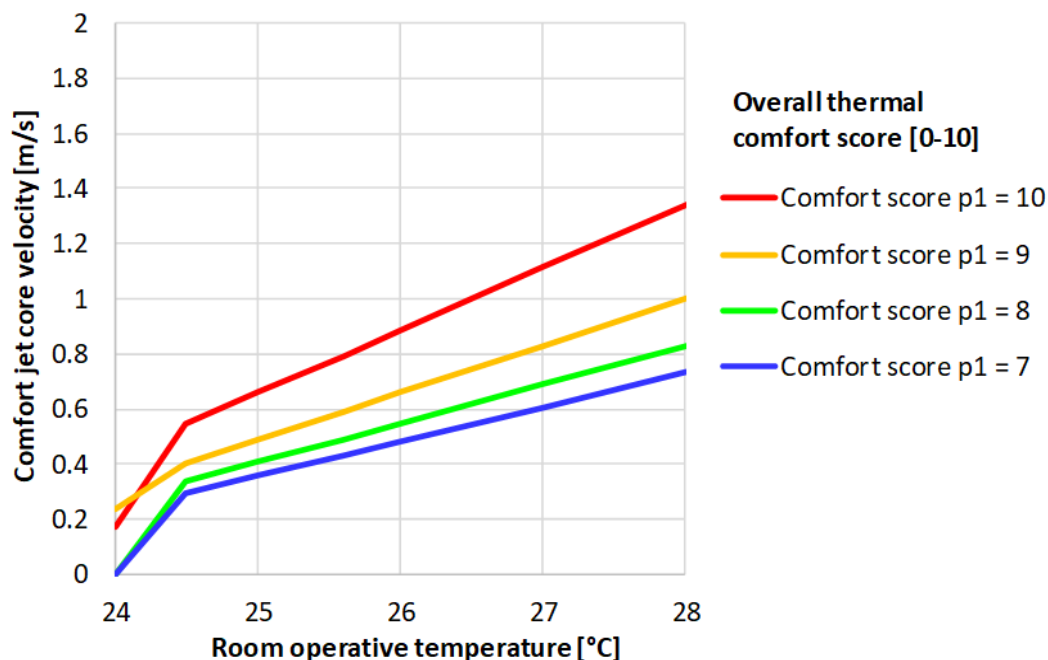
Vårt tallmateriale, både med og uten individuell styring av lufthastighet, tilsier at ved en romtemperatur på 26 °C og 0,7 clo er 0,83 m/s tilstrekkelig for de aller fleste. ASHRAE 55 anbefaler maks 0,8 m/s ved styrt lufthastighet og 0,5 clo. Simone og Olesen [36] rapporterer tilsvarende om en foretrukket hastighet på 0,7 m/s for skandinaviske personer (0,5 clo) ved denne romtemperaturen ved bruk av bordvifter, mens vi finner flest besvarelser ved 0,40 m/s med SvalVent-dyser. SvalVent-løsningen gir en høy termisk komfort ved en lavere luft-hastighet. En studie av Toftum [13] viser at folk ikke føler trekk ved lufthastigheter opp til 0,4 m/s. Våre funn viser et mindre antall misfornøyde når høyere hastigheter enn dette er tilgjengelig.

Ved en romtemperatur på 28 °C kan ikke forsøkene direkte si hvilke hastigheter som er tilstrekkelige. Resultatene viser bare at 0,75 m/s, som beste alternativ, gir ca. 30 % misfornøyde som vist i Figur 5-9. Figur 5-19 viser klart at det ved denne romtemperatur i forsøk uten individuell styring er en del som ønsker en lufthastighet høyere enn 0,75 m/s.



Figur 5-19. Oversikt over prosentandelen som vil ha mer (rød) eller mindre (blå) luft ved ulike luft-hastigheter og romtemperatur (mars)

Ved 28 °C er det en nesten en halvering i antallet som vil ha mer luft fra 0,50 til 0,75 m/s uten individuell styring (61 til 37 % av besvarelsene). Basert på resultatene med individuell styring ved 26 °C er det grunn til å tro at man også ved 28 °C ser en spredning på flere og lavere lufthastigheter når man selv kan velge. Basert på resultater fra mars-forsøkene forventes alle å velge en noe høyere lufthastighet enn ved 26 °C.



Figur 5-20. Estimering av gjennomsnittlig foretrukket lufthastighet ved ulike romtemperaturer for å oppnå en viss termisk komfort-score

Resultatene fra både mars og november er tatt videre i en EUREQA-analyse[37] for å estimere hvilke lufthastigheter som må til for å oppnå en høy termisk komfort-score (Figur 5-20). Her antydes en hastighet på 1,35 m/s for å oppnå maks termisk komfort (10) ved 28 °C, og ca. 0,8 m/s for å oppnå samme gjennomsnittlige score (8) som vi fant ved forsøkene med individuell styring av lufthastighet. Til dette er å si at få personer benytter skalaen helt opp til 10 i sine besvarelser, selv når de angir hastigheter som passe ved 26 °C. Vi vet også at en

lufthastighet på 0,75 m/s var for lav til å gi en akseptabel andel misfornøyde, og ved en lineær kompensasjon på 2 °C ved 0,50 m/s kan man forvente en ønsket lufthastighet på 1,25 m/s ved 28 °C.

Studier har vist at det er store individuelle forskjeller i ønsket lufthastighet [38], og det underbygges i at ASHRAE:55 forutsetter individuell styring av lufthastigheter over 0,8 m/s. ASHRAE:55 anga tidligere 1,20 m/s ved individuell styring og romtemperatur > 27,5 °C. Skal man tillate romtemperaturen å skli til 28 °C på de varmeste dagene, er det dermed rimelig å anta at maks lufthastighet må over 1,0 m/s og at en tilgjengelig lufthastighet på 1,3 m/s bør dekke de aller fleste brukere. Lufthastighet ser ut til å være den viktigste parameteren, men luftas karakteristikker, turbulens og Beta-verdi bør angis.

Vi kan trekke følgende slutninger om hvilke lufthastigheter som er tilstrekkelig:

- **24 °C:** 0,25 m/s gir minst prosentandel misfornøyde. Uten individuell styring av lufthastighet er det få som vil ha mer enn 0,50 m/s.
- **26 °C:** De fleste velger lufthastigheter mellom 0,25 og 0,42 m/s. Kun i 8 % av tilfellene velges over 0,75 m/s og 4 % over 0,83 m/s. Maks tilgjengelig hastighet med individuell styring var ca. 1,17 m/s. Ved alle tilluftstemperaturer var det omtrent 15–20 % som ville ha mer luft, og under 10 % som ville ha mindre luft.
- **28 °C:** 0,75 m/s er for lavt uten individuell styring av lufthastigheter. Også her forventes en spredning i valgt lufthastighet med individuell styring, og en mindre andel som ønsker de høyeste lufthastighetene.
- Det forventes at en makshastighet på ca. 1,3 m/s skal være tilstrekkelig for de aller fleste ved en romtemperatur på **28 °C**.

Gir SvalVent-konsept flere fornøyde brukere enn standard regulering i feltlab?

SvalVent-konseptet ble testet ut i Entra-lokalet både som et "proof of concept" og for å undersøke om det ga flere fornøyde brukere enn den eksisterende reguleringen. For å kunne teste ut regulering med SvalVent-konseptet var vi avhengig av å ha sommerlig utetemperatur og innetemperatur (>25 °C). Forsøket ble derfor kjørt over flere perioder, og på beste sommerdager ut fra værmeldingen. Norske somre kan være lunefulle, og testdager i juni endte med en utetemperatur rundt 20 °C, mens testdager i august hadde en utetemperatur på 24–26 °C. Som vist i Tabell 5-5 ble resulterende gjennomsnittlig romtemperatur for SvalVent-løsningen på ettermiddagen i underkant av 26 °C. Dette er i området der bruk av dyser er aktuelt, men er noe lavere enn forventet makstemperatur de varmeste sommerdagene.

Tabell 5-5. Oversikt av gjennomsnittlig romtemperatur (Lindinspec) og utetemperatur for de ulike forsøksdagene som er inkludert i videreanalysen

Regulering	Forsøksdag	Romtemperatur (°C)			Utetemperatur (°C)	Dyse aktivert? (N)	
		Gjennomsnitt	Min.	Maks	Gjennomsnitt	Nei	Ja
Standard (N = 27)	1 (juni)	22,8	21,6	23,8	20,0	7	6
	2 (juni)	23,4	22,1	24,6	20,3	7	7
SvalVent (N = 37)	5C (juni)	25,1	24,5	26,0	19,6	4	4
	6 (juni)	25,8	25,3	26,8	20,0	6	6
	7 (august)	26,1	25,6	26,9	24,0	4	6
	8 (august)	26,2	25,7	26,8	25,8	4	3

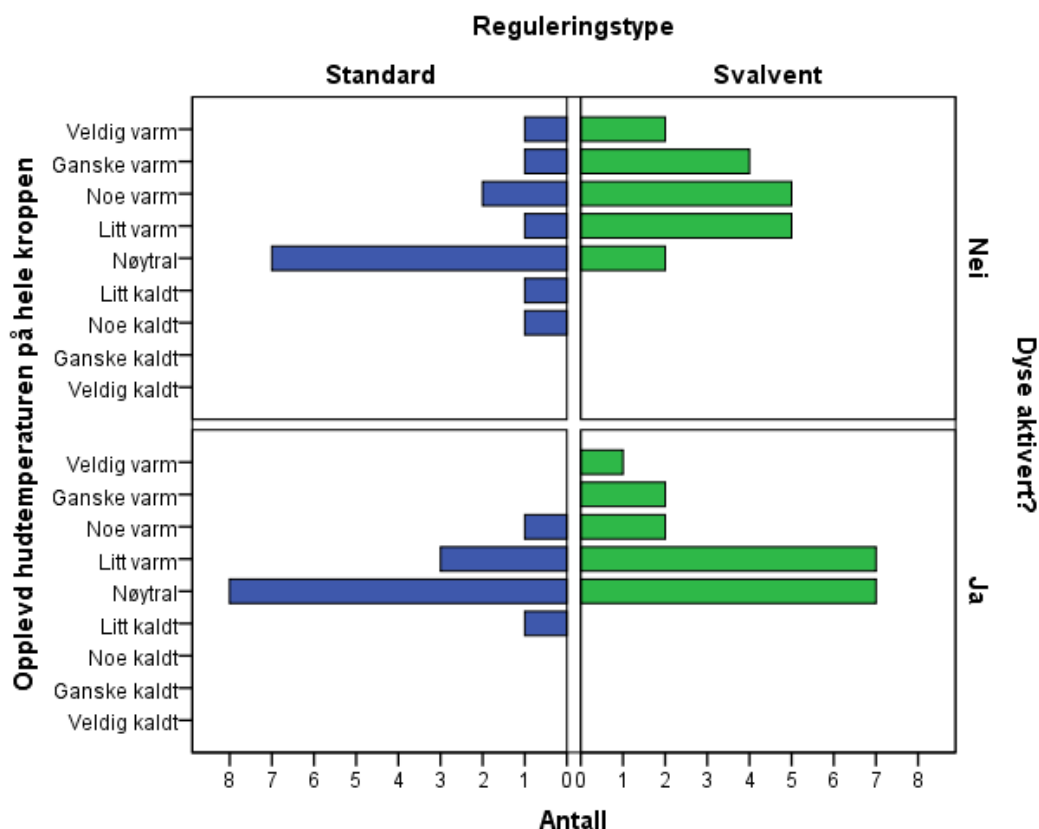
Av de 24 deltakerne som ble rekruttert, var det en del som deltok flere dager, mens andre kun deltok 1–2 dager. Kun besvarelsene fra spørreskjemarunde 2 (kl. 14) er benyttet i resultater presentert nedenfor. Prototype-løsningen hadde noe ustabil mulighet for regulering av dyse,

deriblant 9 bevarer som mangler målt lufthastighet. Spørreskjema med tilhørende pålitelig regulering av dyse er inkludert.

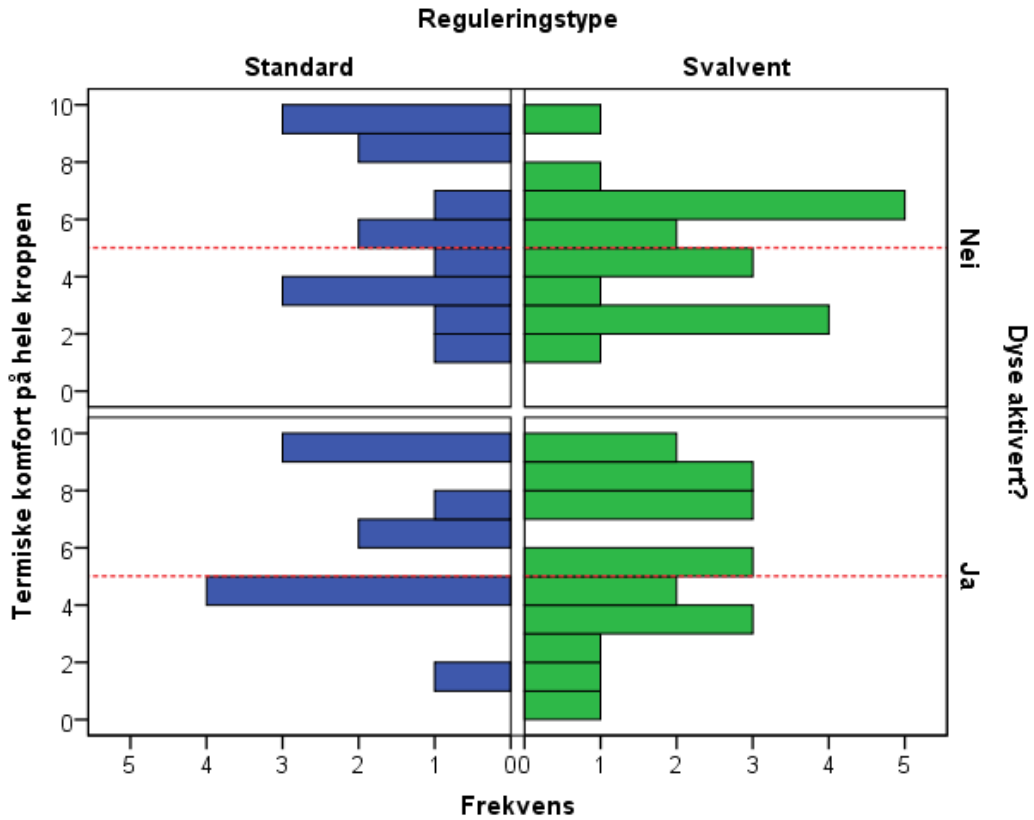
I en feltlab vil avstand fra dyse til person kunne variere noen centimeter i forhold til i et kontrollert lab-oppsett. Det er likevel tilstrebet samme utgangsoppsett. Om personen har en annen høyde, kunne dysen tilpasses (instruert tilpassing før oppstart). Resulterende hastigheter ved personen er ikke målt, det er luftmengde tilført dyse som er registrert og konvertert til hastighet etter samme forhold som i lab. I en aktuell brukssituasjon, vil en litt høyere luftmengde kunne kompensere for noen centimeter lengre avstand enn i laboratorieoppsett. Maks tilgjengelig lufthastighet på Entra er 1,03 m/s, som tilsvarer 100 % viftepådrag. Dette skal i henhold til avsnittet ovenfor være tilstrekkelig ved oppnådde romtemperaturer.

Både standard regulering og SvalVent-regulering er testet i et cross over design. Som vi har sett av labforsøkene, ville noen personer ha høyere lufthastigheter allerede ved 24 °C, og et slikt oppsett belyser hvorvidt det er temperaturregulering eller dysebruk som er avgjørende.

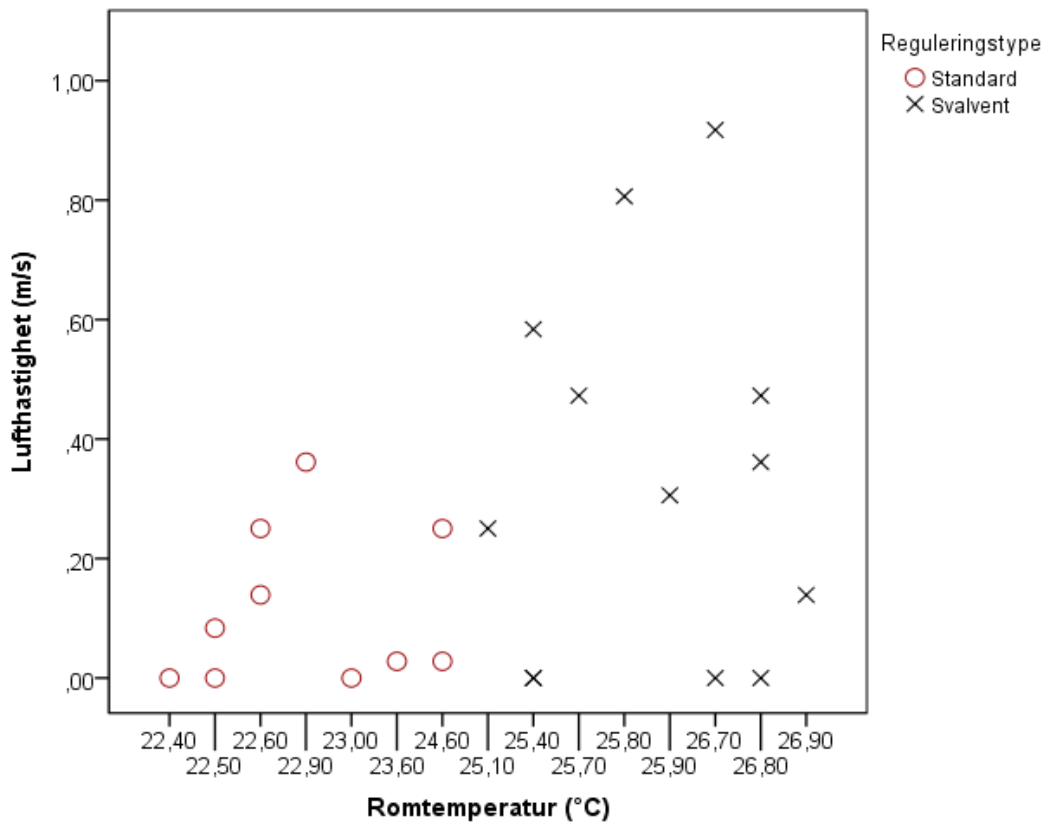
Figur 5-21 viser opplevd hudtemperatur ved standard regulering (blå) og SvalVent-regulering (grønn), med og uten tilgjengelig regulering av (aktivert) dyse. Resultatene viser at flere er varme ved SvalVent-regulering uten aktive dyser, mens ved standardløsningen er de fleste nøytrale, noen varme og noen kalde. Dette er som forventet, da romtemperaturen på SvalVent-dagene er nesten 3 °C varmere enn på standard-dagene. Med dyse aktivert er det for begge tilfeller de fleste nøytral eller litt varm. Dette gjenspeiler seg i resultatene for opplevd termisk komfort (Figur 5-22). Prototype trådløs regulering av dyser hadde noen svakheter, og kan være med å påvirke resultatene.



Figur 5-21. Opplevd hudtemperatur ved ulik type regulering, med og uten dyse



Figur 5-22. Opplevd termisk komfort ved ulike type regulering, med og uten dyse. Rød linje indikerer grenseverdien for akseptabel termisk komfort



Figur 5-23. Valgt lufthastighet ved ulike romtemperaturer når dysen er aktivert

Resultatene viser at deltakerne velger høyere lufthastigheter når romtemperaturen økes, og flertallet velger lufthastigheter mellom 0,20 og 0,60 m/s. Som vist i Figur 5-23 velger noen folk å benytte seg av dysen også på standard-dagene, mens andre ikke velger å benytte dysen selv om romtemperaturen er over 26 °C. Fra labforsøket i november fant vi ut at ved individuell styring av lufthastigheter velges i mer av 50 % av tilfellene en lufthastighet mellom 0,25 og 0,50 m/s ved en romtemperatur på 26 °C. Dette samsvarer med resultatene fra Entra-forsøket.

Tabell 5-6. Oversikt over andel misfornøyde ved standard og SvalVent-dager, med/uten aktivert dyse

Regulering	Dyse aktivert	Termisk komfort hele kroppen (% PD)	Opplevd hudtemperatur hele kroppen (% PD)	Totalt
Standard	Nei	43 %, N = 6	36 %, N = 5	14
	Ja	28 %, N = 5	6 %, N = 1	18
SvalVent	Nei	69 %, N = 9	85 %, N = 11	13
	Ja	42 %, N = 8	26 %, N = 5	19

Tabell 5-6 viser oversikt over andel misfornøyde med termisk komfort og opplevd hudtemperatur for hele kroppen. Andel misfornøyde er høyere for SvalVent-dager, noe som er forventet siden romtemperaturen er i gjennomsnitt 3 °C høyere enn på standard-dagene. Med aktivert dyse og individuell kontroll av lufthastighet er det en større reduksjon i andel misfornøyde på SvalVent-dagene, både med termisk komfort og opplevd hudtemperatur. Datasettet er for lite til å si noe konkret om hvorvidt SvalVent-dysene fører til økt termisk komfort, men vi ser indikasjoner på at ved bruk av dyser, kan andel misfornøyde minke når romtemperaturen er over 26 °C. Datasettet viser også at bruk av SvalVent-dyse ved standard regulering gir færre misfornøyde.

Vi kan trekke følgende slutninger om proof of concept av SvalVent-konseptet:

- Oppnådd romtemperatur med SvalVent-konseptet var gjennomsnittlig ca. 26 °C, mens det for standard regulering var ca. 23 °C. Aktiverte SvalVent-dyser ble benyttet ved begge reguleringstyper og ga redusert andel misfornøyde.
- Studien bekrefter gjennom labforsøk at det er store individuelle forskjeller i ønsket lufthastighet og ved hvilken romtemperatur dyser tas i bruk.
- God regulering og fornøyde brukere oppnås også utenom ideelle labforhold.
- Konseptet med å øke settpunkttemperatur for kjøling fungerer.
- Høyere hastigheter enn dagens anbefaling er ikke bare akseptabelt, men gir fornøyde brukere ved en økt romtemperatur.
- Prototype trådløs regulering av dyser hadde noen svakheter som ga utfordringer for riktig regulering og tilhørende resultat.

6. Erfaringer ved overgang fra lab til felt

Praktiske erfaringer

Forsøk i Entras lokaler anses som et proof of concept. Erfaringene tilsier at Svalvent-løsningen enkelt lar seg integrere i et eksisterende system. Plass over himling og plassering av dyser er to viktige forhold å ta hensyn til ved installasjon. Plass til dysekanaler og små viftebokser var uproblematisk med standard himlingshøyde. Trådløs løsning for individuell brukerstyring er utprøvd og godt mottatt. Erfaringer tas med for videreutvikling.

Optimalisering av regulerings-settpunkt og driftserfaring er nødvendig for å oppnå gode temperaturforhold på morgenen. Løsningen er foreløpig utprøvd med full belastning i lokalene. Behovsstyring av hovedluftmengder til soner må detaljeres. Innregulering gjøres mot plenums-kammer. Avtrekk reguleres mot luftmengder i plenums-kammer som vanlig.

Tilluftsventil kommuniserer med Svalvent-dysene, slik at man har kontroll på den totale luftmengden som er tilført sonen. Tilknytting til SD-anlegget åpner for avlesninger av dyseinnstillinger eller overstyring, for eksempel for avstenging av luft fra dyse over natt eller ved tomme lokaler.

Høyde fra gulv til himling/tak kan påvirke opplevelsen av konseptet. Er det for høyt, blir luftstrålen for svak og man får ikke tilsiktet utbytte av økte lufthastigheter. Er det for lavt, blir luftstrålen for mekanisk og kan gi en ubehagelig følelse. Det anbefales at høyden fra gulv til himling ligger i området 2,4–3,0 m. Bygget bør ha god solskjerming slik at kjølebehovet ikke blir uforholdsmessig høyt.

Kjøler vi til en for lav romtemperatur?

Når forsøkspersonene får velge bekledding selv på norske sommerdager, viser resultatene av våre studier at kontorbekledding tilsvarer ca. 0,7 clo. Gjennom alle forsøkene ser vi at det er store individuelle forskjeller i ønsket lufthastighet og ved hvilken romtemperatur økt lufthastighet tas i bruk. Mens enkelte tar i bruk økt lufthastighet allerede før romtemperaturen når 23 °C, velger andre ikke å ta muligheten i bruk selv ved en romtemperatur på 26 °C. Ved bruk av SvalVent-dyse kan dagens romtemperatur økes uten at det gir flere misfornøyde. Økt lufthastighet ved individuell styring kan benyttes som kompenserende tiltak for personer som ønsker en lavere temperatur med godt resultat.

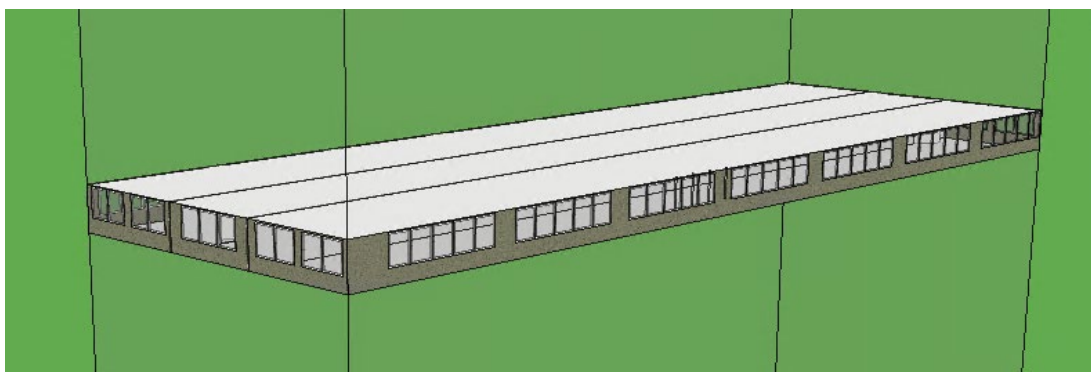
Alternativet med romtemperatur på 23 °C eller lavere vil gi flere misfornøyde og eventuelt økt bekledding som korrigerende tiltak. Både forsøk og litteratur viser at dette er unødvendig bruk av kjøling. Høyere romtemperatur er ikke bare akseptabelt, men er positivt ved bruk av individuelt styrt SvalVent-dyse.

7. SvalVent-konsept: Energibesparingsmuligheter sammenliknet med tradisjonell løsning

Modellbeskrivelse av energiberegninger

Det er gjennomført dynamiske energiberegninger i simuleringsprogrammet IDA-ICE for sammenlikning av energibruk med og uten SvalVent-løsningen. Beregningene er utført for et referansebygg og tre ulike caser hvor SvalVent-løsningen benyttes.

Modellen er et kontorbygg i én etasje. Etasjen er plassert midt i bygget og har dermed gulv og himling som vender mot tilsvarende etasje med samme temperatur. Etasjen er inndelt i fem soner: nord, sør, øst, vest og midt. Arealene mot nord, sør, øst og vest er kontorlandskapsarealer, mens midtarealer er forutsatt som fellesarealer. Den modellerte etasjen er lik for både referansen og SvalVent-casene.



Figur 7-1. Modell av kontorbygg i IDA-ICE

Utgangspunktet for beregningene er et kontorbygg på 2 000 m². Vinduer er fordelt jevnt på fasadene og vindusaarealet tilsvarer 20 % av gulvarealet. Det er forutsatt at bygget har utvendig solskjerming på alle fasader. Solskjermingen styres av solinnstråling (250 W/m² fra april–september). Det benyttes behovsstyrt ventilasjon som styres etter temperatur og CO₂, utenfor driftstiden kjøres systemet på minimumluftmengder. Det er ikke installert annen lokal kjøling i kontorarealene.

Beregningene er utført for sommerforhold (1. mai til 30. september) da SvalVent-ventilene er ment å benyttes for kjøling. Det forutsettes at det ikke er et romoppvarmingsbehov, og dette er derfor utelatt fra beregningene. Varmebatteri i ventilasjonsanlegg er med for oppvarming av tillufta på dager hvor denne er under 17 °C. I beregningene er det kontorarealet som helhet som er vurdert, i form av beregnet energibruk og operativ temperatur for arealene. SvalVent-ventilen med tilhørende luftstråle er ikke modellert, modellen inkluderer kun total luftmengde for hver enkelt sone. Kjøleeffekt og vurdering av termisk komfort ved bruk av løsningen er gitt i kapittel 5.

Beskrivelse av case

Samtlige beregninger tar utgangspunkt i modellen beskrevet over. I hovedtrekk er tilluftstemperaturen for ventilasjonslufta og settpunkt for kjøling ulikt for referansebygget og casene med Svalvent-løsningen. I tillegg er det sett på et tilfelle hvor bygget kun kjøles ved nattventilasjon. Tabell 7-1 oppsummerer forutsetningene benyttet for de ulike simuleringstasene.

Referansebygg

For referansebygget har ventilasjonsanlegget installert et kjølebatteri hvor tilluftstemperaturen for sommerforhold er 17 °C. Settpunkt for kjøling via ventilasjon er 22 °C.

Case for SvalVent-løsning

For SvalVent-løsninger er det sett på tre ulike caser hvor det benyttes ulike kjøleløsninger for ventilasjonsanlegget: standard løsning med kjølebatteri, adiabatisk kjøling og nattkjøling uten kjølebatteri. Tilluftstemperaturen er styrt av en temperaturkurve som er temperaturkompensert etter utelufta. Laveste tilluftstemperatur som tillufta varmes opp til, er 17 °C, og tillufta kjøles til 19, 21 eller 23 °C. For temperaturer mellom 17 °C og satt tilluftstemperatur for kjøling vil tilluftstemperaturen variere med utelufta.

Tabell 7-1. Forutsetninger benyttet i de ulike simuleringscasene

Case	Forutsetninger
Referanse	<ul style="list-style-type: none"> Standard behovsstyrt ventilasjon med kjølebatteri Tilluftstemperatur: 17 °C Settpunkt kjøling: 22 °C
Case 1 – Kjølebatteri	<ul style="list-style-type: none"> Standard behovsstyrt ventilasjon med kjølebatteri Tilluftstemperaturer for kjøling: 19, 21 og 23 °C Settpunkt kjøling: 25,5 °C
Case 2 – Adiabatisk kjøling	<ul style="list-style-type: none"> IDA-ICE modul <i>Indirect evaporative cooling</i> Adiabatisk kjøling styres av utendørstemperatur og er påslått når utendørstemperaturen er lik eller høyere enn ønsket tilluftstemperatur for kjøling. Tilluftstemperaturer for kjøling: 19, 21 og 23 °C Settpunkt kjøling: 25,5 °C
Case 3 – Nattkjøling	<ul style="list-style-type: none"> IDA-ICE modul <i>Night ventilation control</i> Normal drift på dagtid Nattventilasjon fra 1. mai til 30. september mellom kl. 22.00 og 07.00 Nattventilasjonen styres av avtrekkstemperatur og utendørstemperatur. <ul style="list-style-type: none"> Ved utetemperatur < 12 °C er nattventilasjonen avslått. Utendørstemperaturen er minst 2 °C lavere enn avtrekkstemperaturen. Avtrekkstemperaturen er 22 °C eller høyere. Settpunkt kjøling: 25,5 °C

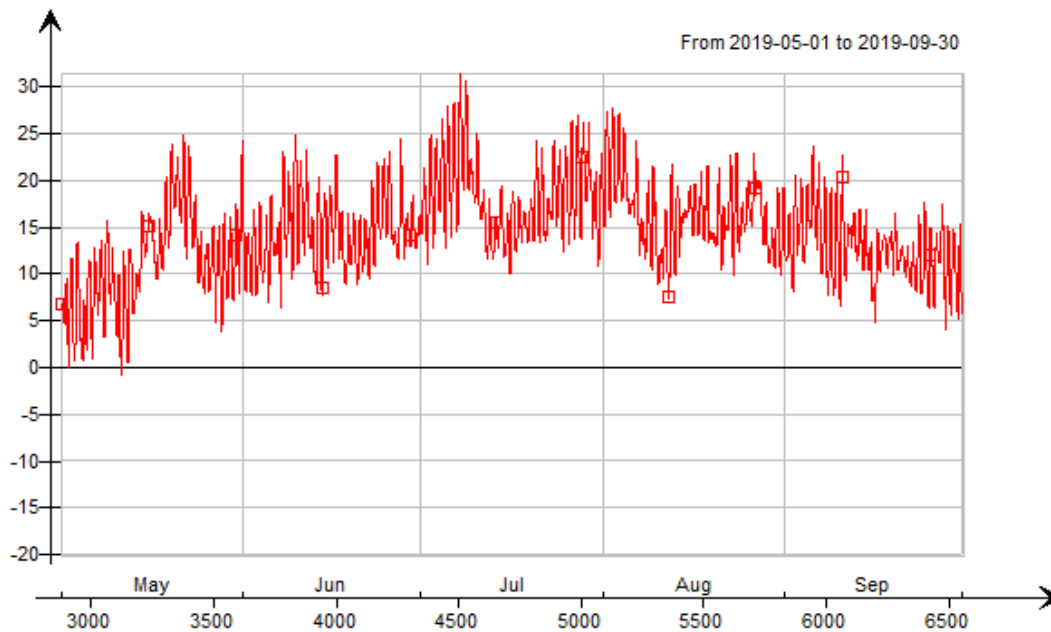
Tabell 7-2. Inndata for energisimuleringen i IDA-ICE

Data	Referanse	Svalvent
U-verdi yttervegg	0,11 W/m ² K	0,11 W/m ² K
U-verdi vinduer	0,80 W/m ² K	0,80 W/m ² K
Lekkasjetall	0,60 h ⁻¹	0,60 h ⁻¹
Normalisert kuldebroverdi	0,03 W/m ² K	0,03 W/m ² K
Maks luftmengde (m³/hm²)	10	10
Min. luftmengde (m³/hm²)	2	2
Virkningsgrad varmegjenvinner	0,85	0,85
Trykkfall over vifter tilluft/-avtrekk	250 Pa/ 250 Pa	310 Pa / 250 Pa
Settpunkt for kjøling	22,0	25,5
Varmetilskudd belysning (W/m²)	6,4	6,4
Persontetthet (m²/person)	6,0	6,0
Varmetilskudd person (MET)	1,0	1,0
Teknisk utstyr (W/ person)	100	100
Driftstid*	0600–1800	0600–1800

* Tilstedeværelse og profiler for personer og teknisk utstyr er satt i henhold til profiler fra SN/TS 3031:2016, for juli er det forutsatt halv belastning.

Klimadata

I simuleringen har vi benyttet klimadata for Blindern, Oslo i perioden 1992–2014. Figur 7-2 viser utendørstemperaturen over simuleringsperioden.

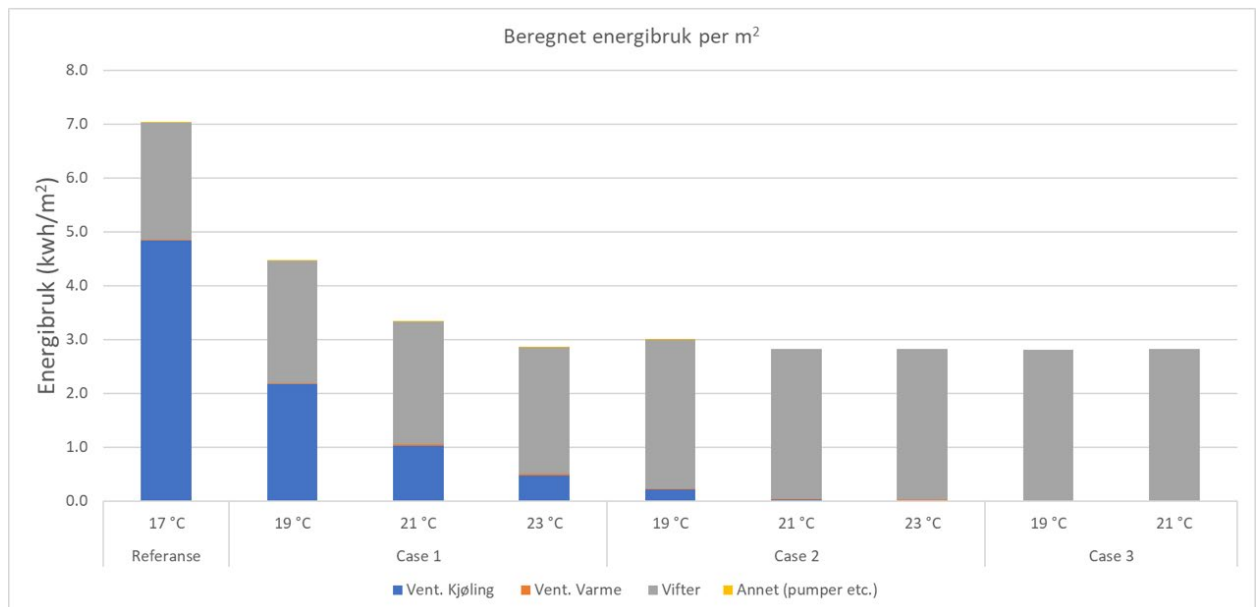


Figur 7-2. Utendørstemperatur, Blindern, Oslo

Resultat energisimuleringer

Energi

Energibehov til ventilasjonskjøling, ventilasjonsvarme, vifter og annen energi (eksempelvis pumper) til varme/kjøling er beregnet. Beregnet energibehov per m² er vist i Figur 7-3.



Figur 7-3. Beregnet energibehov per m²

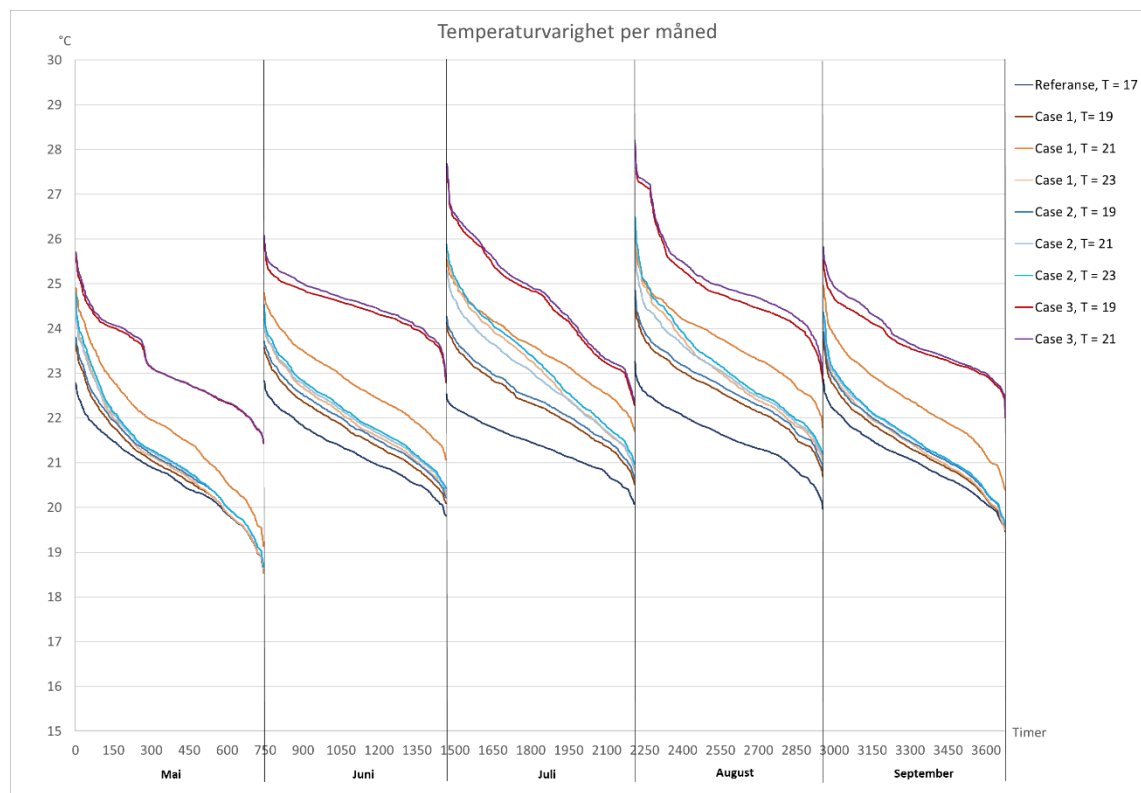
For Case 1 hvor det benyttes et standard kjølebatteri for ventilasjon, med en høyere tilluftstemperatur enn for referansen, er energibruk til kjøling redusert med mer enn 50 %.

For Case 2 og 3 er det i hovedsak energi til vifter som utgjør den største posten. SvalVent-løsningen krever mer energi til viftedrift grunnet større trykkfall på tilluftssiden. Beregnet energibruk til vifter er mellom 2,3 og 2,8 kWh/m² for SvalVent-casene, mens den for referansen er beregnet til 2,2 kWh/m². Beregningene viser at selv med økt energibehov til vifter, vil tilsvarende reduksjon for kjøling bidra til at beregnet energibehov totalt reduseres.

Det laveste energibehovet oppnås for Case 1 med en tilluftstemperatur på 23 °C, hvor totalt energibehov for simuleringsperioden er 2,6 kWh/m².

Temperatur

Figur 7-4 viser gjennomsnittlig operativ temperatur for det modellerte bygget (inkludert alle timer i døgnet). Temperaturen er inndelt etter måned.



Figur 7-4. Temperaturvarighet per måned, gjennomsnittlig temperatur per time over døgnet

Som figuren viser er det Case 3, hvor det kun benyttes nattkjøling av bygget, som vil gi den høyeste temperaturen, hvor 28 °C overstiges i august. Antall timer over 28 °C er ca. 4 timer. Den operative temperaturen er generelt høyere for casene hvor SvalVent-løsningen er lagt til grunn. Likevel er den gjennomsnittlige operative temperaturen for Case 1 og 2 stort sett under 26 °C gjennom sommermånedene. Høyeste antall timer over 26 °C for disse to casene er for Case 2 ved en tilluftstemperatur på 23 °C, hvor 16 grader overstiges med 12 timer.

8. Kostnader

Kostnadsanalysen som er utført, sammenlikner referansebygget med de tre modellerte casene. Kostnadene som er lagt til grunn, tar utgangspunkt i følgende:

- Kontorareal på 2 000 m²
- Ventilasjonsaggregat med luftmengde 15 000 m³/time
- 75 tilluftsventiler (SvalVent)

Det er beregnet nåverdi og årskostnad med kostnadsposter i henhold til NS 3454. For poster hvor kostnaden er vurdert å være lik for samtlige caser, er posten utelatt fra beregningene. Det er merkostnaden per m² som er lagt til grunn. System som er lagt til grunn, er gjengitt i Tabell 8-1.

Tabell 8-1. Forutsatt system for hver case

Case	System
Referanse	<ul style="list-style-type: none"> • Komplet anlegg (15 000 m³/h), kjøleeffekt: 75 kW • VAV/DCV (eksempelvis Lindivent)
Case 1 – Kjølebatteri	<ul style="list-style-type: none"> • Komplet anlegg (15 000 m³/h), kjøleeffekt: 35 kW • SvalVent-ventiler
Case 2 – Adiabatisk kjøling for ventilasjon	<ul style="list-style-type: none"> • Komplet anlegg (15 000 m³/h), adiabatisk • SvalVent-ventiler
Case 3 – Nattkjøling	<ul style="list-style-type: none"> • Komplet anlegg (15 000 m³/h), ingen kjøling • SvalVent-ventiler

Ved anskaffelse er det en forventet merkostnad knyttet til SvalVent-ventilene, samtidig som kostnaden for komplett ventilasjonsanlegg vil være lavere grunnet lavere installert kjøleeffekt eller ingen installert kjøling. I tillegg er det forventet en merkostnad for SvalVent-løsningen knyttet til drift, utskifting og renhold. For casene hvor det er installert kjøling vil det være en merkostnad knyttet til vedlikehold. I tillegg kommer kostnader for energibehov, hvor beregnet energibehov i kapitlet over (Figur 7-3) er lag til grunn.

Følgende felles forutsetninger er lagt til grunn for beregningene:

- Energikostnad: snittpris på 1,0 kr/kWh
- Kalkulasjonsrente: 4,0 %
- Analyseperiode: 30 år

Det påpekes at det er en viss usikkerhet knyttet til kostnadene som er benyttet i beregningene. Svalvent-ventilene er fortsatt på et pilotstadium, og erfaringstall fra drift i stort omfang er ikke tilgjengelig. Oppgitte kostnader må derfor vurderes som et grovt anslag basert på at det vil være flere vedlikeholdspunkter sammenliknet med en tilluftsventil som betjener et større område. Kostnaden per SvalVent-ventil er satt til kr 12 500 per ventil.

Tabell 8-2. Merkostnader for kostnadsanalyse

	Referanse	Case 1	Case 2	Case 3
Anskaffelse (kr/m²)		219,0	194,0	119,0
Drift (kr/m²/år)		2,0	2,0	2,0
Vedlikehold (kr/m²/år)	2,8	2,8	1,8	
Utskifting (kr/m²/15 år)		12,5	12,5	12,5
Renhold (kr/m²/år)		1,5	1,5	1,5

Tabell 8-3 viser beregnet nåverdi og årskostnad i kr/m² basert på merkostnaden for hver case. De foreløpige kostnadsberegningene viser at referanseløsningen kommer best ut økonomisk, og energibesparelsen ved bruk av SvalVent-løsningen er dermed ikke stor nok sammenliknet med merkostnaden knyttet til anskaffelse, drift, renhold og utskifting. Betragtningene vil påvirkes av videre utvikling mot markedsprodukt og driftserfaringer. Vurdering av termisk komfort er basert på temperaturoverskridelser som vist i Figur 7-4. Kun for Case 3 var det tilfeller der temperaturen steg over 28 °C noen timer. For Case 3 bør man kontrollere egne beregninger for aktuelt bygg.

Tabell 8-3. Resultat kostnadsanalyse, kr/m²

	Referanse	Case 1			Case 2			Case 3	
		19	21	23	19	21	23	19	21
NPV (kr/m ²)	~ 100	> 300	> 300	> 300	~ 300	~ 300	~ 300	< 200	< 200
Årskostnad (kr/m ²)	7	21	20	19	17	17	17	11	11
Termisk komfort									

9. Konklusjon

Dagens krav til lufthastigheter og romtemperaturer bør endres: Konseptet med bruk av dyser med høyere lufthastigheter ved høyere romtemperaturer er ikke bare akseptabelt, men anses å gi bedre termisk komfort og flere fornøyde brukere. Resultatene viser at dette ikke bare er en "transient" tilstand, men et konsept som fungerer over tid. En økning i lufthastighet på 0,5 m/s, uten individuell styring av lufthastighet ser ut til å kunne kompensere for en økning i romtemperatur på 2 °C. Løsningen gir svært gode resultater ved en romtemperatur rundt 26 °C, der de aller fleste oppnår termisk komfort – både med og uten individuell styring av lufthastighet. Noe mer forskning er nødvendig for 28 °C, der tilgjengelig lufthastighet (0,75 m/s) ikke var nok til å redusere antall misfornøyde til akseptabelt nivå. Anbefalt hastighet må over 1,0 m/s, kanskje opp til 1,3 m/s. Luftastighet ser ut til å være den viktigste parameteren, men luftas karakteristik, turbulens og Beta-verdi spiller også inn. Selvvalgt sommerbekledning i kontor i vår studie ligger nærmere 0,7 clo enn den mye benyttede standardverdien 0,5 clo.

Det er en omtrent lineær sammenheng mellom økning i romtemperatur, målt hudtemperatur og opplevd hudtemperatur for de forholdene som er studert. Når personene rapporterer at de er varme, har de høyere målt hudtemperatur. Vi ser ingen tegn til økt svette. SvalVent-løsningen ser ut til å gi termisk komfort på et nivå der svetteaksjon ikke aktiveres.

Det er en klar sammenheng mellom opplevd hudtemperatur og ønsket lufthastighet. Individuell styring av lufthastighet kan redusere antall misfornøyde fra 21 til under 5 %. Den individuelle styringen gjør at de fleste finner en lufthastighet som gir termisk komfort, uavhengig av om dette skyldes kjønn, alder eller andre individuelle forskjeller. Passe lufthastighet rapporteres når personen oppgir å være hovedsakelig termisk nøytral, men av noen også litt varm eller litt kald. Ved 26 °C velges en hastighet på 0,25–0,50 m/s i mer enn 50 % av tilfellene. Mindre enn 8 % av tilfellene velges lufthastigheter høyere enn 0,75 m/s. Med individuell styring gir SvalVent-løsningen også muligheter for flere fornøyde brukere ved økt lufthastighet allerede ved 22,5 °C romtemperaturer. Individuelle forskjeller er en mer framtrepende faktor enn kjønn.

Tilluftstemperaturen har lite å si for termisk komfort og opplevd hudtemperatur når det er individuell styring. Valgt lufthastighet er personavhengig med til dels store individuelle forskjeller. Tilluftstemperaturen kan derfor settes høyere enn vanlig, hvilket gir energibesparelser. Settpunkt for tilluftstemperatur avhenger av nødvendig kjølekapasitet for å holde en høyere romtemperatur enn normalt. Simuleringene viser at settpunkt romtemperatur for når kjølingen skal slå inn, kan økes betraktelig fra dagens 22–25,5 °C og likevel gi akseptabel termisk komfort.

Simuleringene viser at SvalVent-løsningen med standard kjølebatteri og økt tilluftstemperatur til 19 °C kan gi en reduksjon i kjølebehov på 50 %. Både standard kjølebatteri og adiabatisk kjøling med tilluftstemperaturer på 23 °C kan gi tilfredsstillende sommerforhold (romtemperatur opp til 26 °C, som gir god termisk komfort og lavt antall misfornøyde ved bruk av SvalVent-løsning).

Simuleringene viser videre at bruk av kun nattkjøling gir romtemperaturer over 27 °C i juli og noen timer over 28 °C i august, og beveger seg dermed over i et temperaturområde der det trengs mer forskning. Resultatene tilsier likevel at kortere perioder gir akseptabel termisk komfort, og at de fleste vil være tilfreds med tilgjengelige lufthastigheter ved en makshastighet på ca. 1,3 m/s. Generelt bør man tilstrebe en romtemperatur rundt 23 °C eller høyere på varme sommerdager.

Våre resultater viser at SvalVent-konseptet med behovsstyrt ventilasjon for individuell kjøling er en egnet løsning for yrkesbygg både med små, store og fleksible kontorlandskap.

Videre arbeid

SvalVent-løsningen viser svært gode resultater. Konseptet vil gi betydelig reduksjon av kjølebehov. Videre arbeid bør se nærmere på bruk av løsningen for helårsklimatisering, det vil si også for bruk av dyser i vintersesongen; med tanke på oppvarming via tilluft og individuelle tilpassinger. En fleksibilitet i forhold til setpunkt for kjøling og evt oppvarming kan være et viktig bidrag i diskusjonen om reduksjon av effekttopper. Løsningen er godt egnet når det gjelder videre arbeid mot digitaliserte løsninger, fleksibilitet og prediktiv styring av temperatur og inneklime.

Videre arbeid bør også legge vekt på å få mer kunnskap om individuell styring og resulterende antall misfornøyde ved romtemperatur opp mot 28 °C over lengre tid, gjerne over en hel arbeidsdag. Et større antall respondenter vil kunne gi mer kunnskap om eventuelle forskjeller knyttet til alder.

10. Referanser

- [1] R. de Dear and G. S. Brager, “Developing an adaptive model of thermal comfort and preference,” 1998, Accessed: Nov. 27, 2020. [Online]. Available: <https://escholarship.org/uc/item/4qq2p9c6>.
- [2] E. Arens, H. Zhang, W. Pasut, Y. Zhai, T. Hoyt, and L. Huang, “Air movement as an energy efficient means toward occupant comfort,” Nov. 2013, Accessed: Nov. 06, 2020. [Online]. Available: <https://escholarship.org/uc/item/2d656203>.
- [3] T. Parkinson and R. de Dear, “Thermal pleasure in built environments: physiology of alliesthesia,” *Build. Res. Inf.*, vol. 43, no. 3, pp. 288–301, May 2015, doi: 10.1080/09613218.2015.989662.
- [4] Thunshelle, Kari, “Oppvarming via tilluft - Veiledning og krav for næringsbygg med energiambisjoner,” SINTEF, Oslo, Norway, Research Report ISBN: 82-536-1526-4, 2016. [Online]. Available: https://www.sintefbok.no/book/index/1107/oppvarming_via_tilluft.
- [5] T. Hoyt, E. Arens, and H. Zhang, “Extending air temperature setpoints: Simulated energy savings and design considerations for new and retrofit buildings,” *Build. Environ.*, vol. 88, pp. 89–96, Jun. 2015, doi: 10.1016/j.buildenv.2014.09.010.
- [6] F. Schaudienst and F. U. Vogdt, “Fanger’s model of thermal comfort: a model suitable just for men?,” *Energy Procedia*, vol. 132, pp. 129–134, Oct. 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.09.658.
- [7] L. Huang, E. Arens, H. Zhang, and Y. Zhu, “Applicability of whole-body heat balance models for evaluating thermal sensation under non-uniform air movement in warm environments,” *Build. Environ.*, vol. 75, pp. 108–113, May 2014, doi: 10.1016/j.buildenv.2014.01.020.
- [8] Y. Zhu, Q. Ouyang, G. Lin, and Zhu, Y., “Impact of dynamic airflow on human thermal response,” *Indoor Air*, vol. 16, no. 5, pp. 348–355, Oct. 2006, doi: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2006.00430.x>.
- [9] Y. Zhu, M. Luo, Q. Ouyang, L. Huang, and B. Cao, “Dynamic characteristics and comfort assessment of airflows in indoor environments: A review,” *Build. Environ.*, vol. 91, pp. 5–14, Sep. 2015, doi: 10.1016/j.buildenv.2015.03.032.
- [10] L. Huang, Q. Ouyang, and Y. Zhu, “Perceptible airflow fluctuation frequency and human thermal response,” *Build. Environ.*, vol. 54, pp. 14–19, Aug. 2012, doi: 10.1016/j.buildenv.2012.02.004.
- [11] Q. Ouyang, W. Dai, H. Li, and Y. Zhu, “Study on dynamic characteristics of natural and mechanical wind in built environment using spectral analysis,” *Build. Environ.*, vol. 41, no. 4, pp. 418–426, Apr. 2006, doi: 10.1016/j.buildenv.2005.02.008.
- [12] K.-N. Kang, D. Song, and S. Schiavon, “Correlations in thermal comfort and natural wind,” *J. Therm. Biol.*, vol. 38, no. 7, pp. 419–426, Oct. 2013, doi: 10.1016/j.jtherbio.2013.06.001.
- [13] J. Toftum, “Air movement – good or bad?,” *Indoor Air*, vol. 14, no. s7, pp. 40–45, Aug. 2004, doi: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2004.00271.x>.
- [14] N. Gong, K. W. Tham, A. K. Melikov, D. P. Wyon, S. C. Sekhar, and K. W. Cheong, “The Acceptable Air Velocity Range for Local Air Movement in The Tropics,” *HVACR Res.*, vol. 12, no. 4, pp. 1065–1076, Oct. 2006, doi: 10.1080/10789669.2006.10391451.
- [15] E. Arens, S. Turner, H. Zhang, and G. Paliaga, “Moving air for comfort,” May 2009, Accessed: Dec. 04, 2020. [Online]. Available: <https://escholarship.org/uc/item/6d94f90b>.
- [16] Y. Kurazumi and L. Rezgals, “Convective Heat Transfer Coefficients of the Human Body under Forced Convection from Ceiling,” *J. Ergon.*, vol. 04, no. 01, 2014, doi: 10.4172/2165-7556.1000126.
- [17] G. Cattarin, A. Simone, and B. Olesen, “Human preference and acceptance of increased air velocity to offset warm sensation at increased room temperatures,” presented at the 33rd AIVC conference, Copenhagen, Denmark, 2012, Accessed: Dec. 04, 2020.

- [Online]. Available: /paper/HUMAN-PREFERENCE-AND-ACCEPTANCE-OF-INCREASED-AIR-TO-Cattarin-Simone/970b069ffe132b101af1de8ce674bf23bfbfea49.
- [18] A. Kabanshi, H. Wigö, R. Ljung, and P. Sörqvist, "Human perception of room temperature and intermittent air jet cooling in a classroom.," *Indoor Built Environ.*, Jan. 2016, doi: 10.1177/1420326X16628931.
- [19] J.-Y. Lee, E. A. Stone, H. Wakabayashi, and Y. Tochihara, "Issues in combining the categorical and visual analog scale for the assessment of perceived thermal sensation: Methodological and conceptual considerations," *Appl. Ergon.*, vol. 41, no. 2, pp. 282–290, Mar. 2010, doi: 10.1016/j.apergo.2009.07.007.
- [20] S. Karjalainen, "Thermal comfort and gender: a literature review," *Indoor Air*, vol. 22, no. 2, pp. 96–109, Apr. 2012, doi: 10.1111/j.1600-0668.2011.00747.x.
- [21] H. Kim, C. Richardson, J. Roberts, L. Gren, and J. L. Lyon, "Cold hands, warm heart," *The Lancet*, vol. 351, no. 9114, p. 1492, May 1998, doi: 10.1016/S0140-6736(05)78875-9.
- [22] P. O. Fanger, "Introduction of the olf and the decipol units to quantify air pollution perceived by humans indoors and outdoors," *Energy Build.*, vol. 12, no. 1, pp. 1–6, Apr. 1988, doi: 10.1016/0378-7788(88)90051-5.
- [23] P. O. Fanger and N. K. Christensen, "Perception of draught in ventilated spaces," *Ergonomics*, vol. 29, no. 2, pp. 215–235, Feb. 1986, doi: 10.1080/00140138608968261.
- [24] M. Cabanac, "Physiological role of pleasure," *Science*, vol. 173, no. 4002, pp. 1103–1107, Sep. 1971, doi: 10.1126/science.173.4002.1103.
- [25] M. Cabanac, B. Massonnet, and R. Belaiche, "Preferred skin temperature as a function of internal and mean skin temperature," *J. Appl. Physiol.*, vol. 33, no. 6, pp. 699–703, Dec. 1972, doi: 10.1152/jappl.1972.33.6.699.
- [26] H. Zhang, E. Arens, C. Huizenga, and T. Han, "Thermal sensation and comfort models for non-uniform and transient environments, part II: Local comfort of individual body parts," *Build. Environ.*, vol. 45, no. 2, pp. 389–398, Feb. 2010, doi: 10.1016/j.buildenv.2009.06.015.
- [27] T. Sakoi, K. Tsuzuki, S. Kato, R. Ooka, D. Song, and S. Zhu, "Thermal comfort, skin temperature distribution, and sensible heat loss distribution in the sitting posture in various asymmetric radiant fields," *Build. Environ.*, vol. 42, no. 12, pp. 3984–3999, Dec. 2007, doi: 10.1016/j.buildenv.2006.10.050.
- [28] H. R. Solberg, "SvalVent – Biometri og termisk komfort," 2018, Accessed: Nov. 27, 2020. [Online]. Available: <https://oda-hioa.archive.knowledgearc.net/handle/10642/8643>.
- [29] N. M. Byrne, A. P. Hills, G. R. Hunter, R. L. Weinsier, and Y. Schutz, "Metabolic equivalent: one size does not fit all," *J. Appl. Physiol.*, vol. 99, no. 3, pp. 1112–1119, Sep. 2005, doi: 10.1152/jappphysiol.00023.2004.
- [30] J. K. Maykot, R. F. Rupp, and E. Ghisi, "A field study about gender and thermal comfort temperatures in office buildings," *Energy Build.*, vol. 178, pp. 254–264, Nov. 2018, doi: 10.1016/j.enbuild.2018.08.033.
- [31] T. Y. Chang and A. Kajackaite, "Battle for the thermostat: Gender and the effect of temperature on cognitive performance," *PLOS ONE*, vol. 14, no. 5, p. e0216362, May 2019, doi: 10.1371/journal.pone.0216362.
- [32] J. K. Maykot, R. F. Rupp, and E. Ghisi, "Assessment of gender on requirements for thermal comfort in office buildings located in the Brazilian humid subtropical climate," *Energy Build.*, vol. 158, pp. 1170–1183, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.enbuild.2017.11.036.
- [33] S. Chindapol, J. Blair, P. Osmond, and D. Prasad, "Thermal Responses of the Elderly in Summer Hot-Humid Climates," 2016.
- [34] T. V. McCaffrey, R. D. Wurster, H. K. Jacobs, D. E. Euler, and G. S. Geis, "Role of skin temperature in the control of sweating," *J. Appl. Physiol.*, vol. 47, no. 3, pp. 591–597, Sep. 1979, doi: 10.1152/jappl.1979.47.3.591.
- [35] L. Lan, L. Xia, R. Hejjo, D. P. Wyon, and P. Wargocki, "Perceived air quality and cognitive performance decrease at moderately raised indoor temperatures even when

- clothed for comfort,” *Indoor Air*, vol. 30, no. 5, pp. 841–859, 2020, doi: 10.1111/ina.12685.
- [36] A. Simone and B. Olesen, “Preferred Air Velocity and Local Cooling Effect of desk fans in warm environments,” 2013, Accessed: Dec. 13, 2020. [Online]. Available: /paper/Preferred-Air-Velocity-and-Local-Cooling-Effect-of-Simone-Olesen/4a239966a6d8dd27b846c7cde5e260e2ba270d81.
- [37] H. Solberg, K. Thunshelle, and P. Schild, “Thermal comfort, thermal sensation and skin temperature measurements using demand-controlled ventilation for individual cooling,” *E3S Web Conf.*, vol. 172, p. 06001, 2020, doi: 10.1051/e3sconf/202017206001.
- [38] H. Zhang, E. Arens, and Y. Zhai, “A review of the corrective power of personal comfort systems in non-neutral ambient environments,” *Build. Environ.*, vol. 91, pp. 15–41, Sep. 2015, doi: 10.1016/j.buildenv.2015.03.013.

SvalVent

– SVAL OG BEHAGELIG BEHOVSSTYRT VENTILASJON FOR INDIVIDUELL KJØLING I YRKESBYGG

Energibruk til kjøling utgjør en stadig større andel i energieffektive bygg. Samtidig er trenden økende bruk av åpne kontorlandskap der brukerne gjerne har ulike temperaturpreferanser. SvalVent-prosjektet har utviklet tekniske løsninger og et konsept som utfordrer dagens krav og praksis når det gjelder termisk komfort. Løsningen gir mulighet for en individuell styring av delluftmengde fra dyser i himling.

Denne sluttrapporten presenterer forutsetninger, prototype og konsept, forsøk og resultater fra SvalVent-prosjektet.

SvalVent har vært et Innovasjonsprosjekt for Næringslivet (IPN) og ble gjennomført i perioden 2017–2020. Prosjektet ble finansiert av Norges forskningsråds program EnergiX, med betydelig egeninnsats fra industripartnerne GK inneklima, Trox Auranor Norge, Entra og Topro Elektronikk. Forskningspartnere har vært OsloMet og SINTEF Community.

GK inneklima er eier av prosjektet.