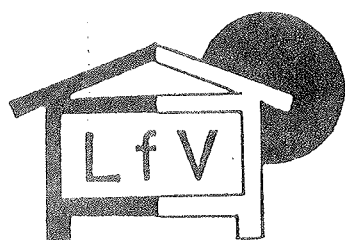
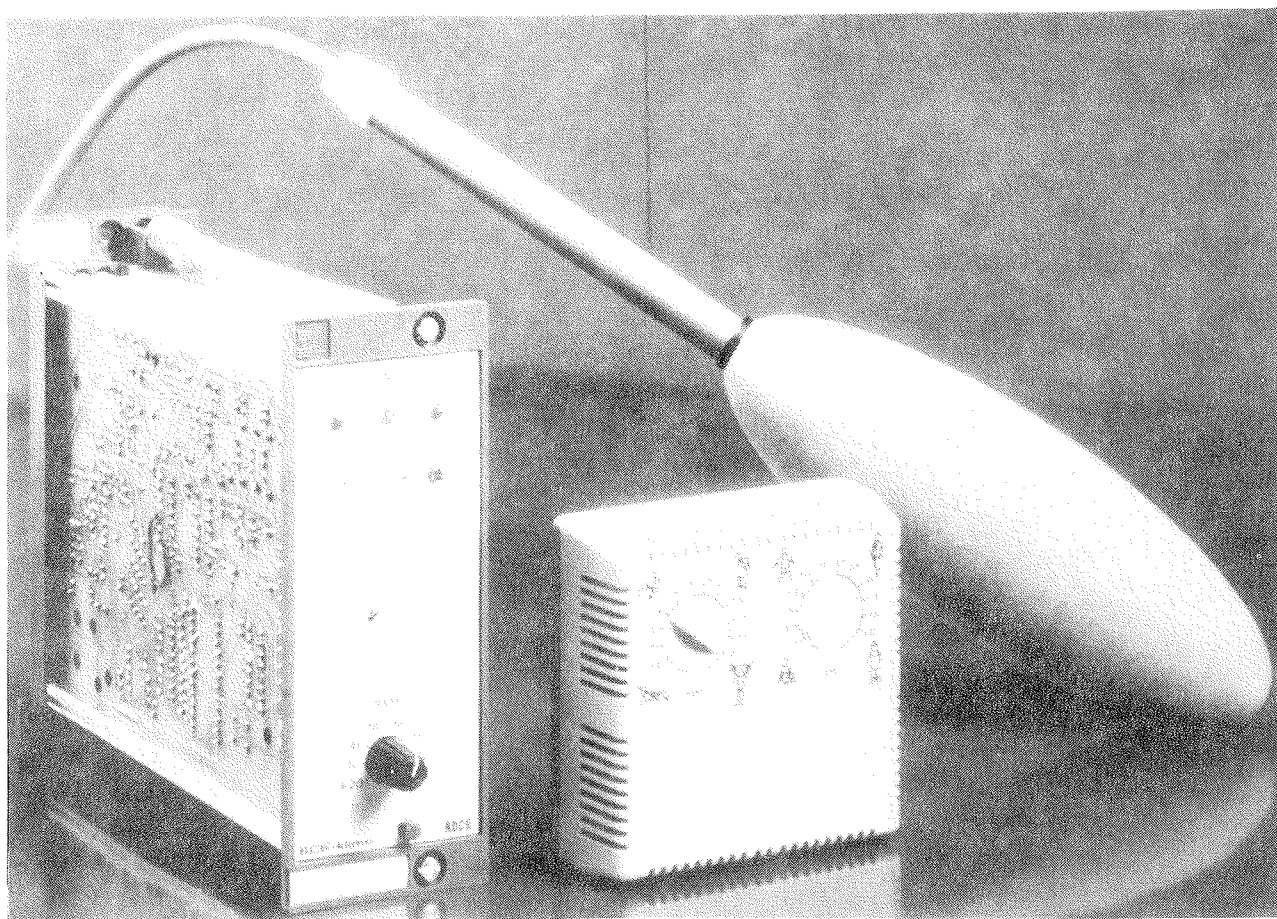


termostatsens betydning for komfort og energiforbrug



jens nørsgaard
thomas lund madsen

laboratoriet for varmeisolering
meddelelse nr 180 december 1986

Indholdsfortegnelse

	Side
1. Indledning	2
2. Teoretisk grundlag	3
3. Termostater	4
3.1. Komfortat I	4
3.2. Komfortat II	5
3.3. De traditionelle termostater	6
4. Forsøgsopstilling	7
5. Målinger	13
6. Måleresultater	14
6.1. Termisk komfort	15
6.2. Energibesparelse	15
7. Vurdering af måleresultaterne	16
8. Konklusion	18
9. Referencer	19
10. Tabeller og diagrammer	20
11. Summary	29

UNDERSØGELSE AF TYPISKE TERMOSTATERS EVNE TIL AT OPRETHOLDE EN OPTIMAL TERMISK KOMFORT

Jens Nørgaard og Thomas Lund Madsen
Laboratoriet for Varmeisolering
Danmarks Tekniske Højskole

1. Indledning

Der er siden energikrisen i 1973 sket en voldsom stigning i energiforskningen med det formål, at reducere energiforbruget. Op mod halvdelen af Danmarks energiforbrug går til opretholdelse af termisk komfort i vore bygninger. Derfor er det naturligt at vise dette område stor opmærksomhed. Dette er også sket. Vore bygninger isoleres nu væsentlig bedre end før energikrisen. Fugetabene er stærkt reduceret og tvungen ventilation med varmegenvinding bliver stadig mere almindelig og nødvendig.

Disse tiltag har medført at gratisvarmen - personvarme, solindfald, lys, tv og meget andet - nu udgør en betydelig større procentdel af bygningernes varmebehov end tidligere. Derved er der skabt et forøget behov for effektive rumtermostater til styring af det enkelte rums varmetilførsel.

Denne rapport er resultatet af en sammenlignende undersøgelse af en række traditionelle og to nyudviklede termostaters evne til at opretholde en optimal termisk komfort i et rum når varmebehovet varierer. Undersøgelsen er finansieret af Energiministeriet (EFP82).

2. Teoretisk grundlag

De senere års indeklimaforskning har resulteret i et ganske godt kendskab til de betingelser, som skal være opfyldt hvis mennesker skal opretholde deres termiske velvære inden døre gennem længere tid. Der er fastlagt en ISO-standard nr. 7730 som på basis af det danske PMV-index 1 stiller bestemte krav til det termiske indeklima. Krav som ikke kun afhænger af indeluftens temperatur men af alle de seks indeklimaparametre:

- | | |
|------------------------------|-------------------------|
| 1. aktivitet | |
| 2. beklædning | |
| 3. lufttemperatur | } ækvivalent temperatur |
| 4. lufthastighed | |
| 5. middelstrålingstemperatur | |
| 6. luftfugtighed. | |

Det er nærliggende at undersøge om man kan opnå en bedre termisk komfort hvis man lader varmetilførslen styre af en termostat som tager hensyn til så mange af disse parametre som muligt, i stedet for, som de fleste traditionelle termostater hovedsagelig at reagere på luftens temperatur samt på temperaturen af den væg termostaten er anbragt på. Tidligere undersøgelser 2 har vist, at mange termostater har en ret lang tidskonstant (10-15 min.) og en betydelig hysteres (op til 2-3 K). Dette medfører at temperaturen i et rum, selv under konstant belastning svinger et par grader op og ned omkring en indstillet middeltemperatur. Dette er uheldigt fordi undersøgelser 3 og 4 har vist, at man i en sådan varierende termisk situation vil stille termostaten således, at der aldrig er for koldt, d.v.s. således at PMV-værdien aldrig bliver negativ. Man vil altså i gennemsnit opretholde en rumtemperatur som er højere end ønsket og derved få et helt unødvendigt ekstra energiforbrug. I fremtidige energi-økonomiske bygninger vil en grads overtemperatur koste op til 20% ekstra energiforbrug 5 til opvarmning.

3. Termostater

Opgaven går ud på at udvikle en ny rumtermostat som har lille tidskonstant og lille hysteresese og som reagerer korrekt på så mange indeklimaparametre som muligt, og dernæst sammenligne denne med typiske traditionelle termostater anvendt på forskellige typiske varmesystemer.

Der er udviklet ikke en men to modeller; en som allerede er i produktion og en der kun foreligger som prototype.

3.1. Komfostat I

Den kommercielle komfostat er en forenklet udgave af Bruel & Kjærs termiske komfortmåler type 1212 (Fig. 1). Den anvender Brüel & Kjærs følerelement, som netop er udviklet til at simulere personers opfattelse af de termiske omgivelser. Der reageres således på ændringer i såvel lufttemperatur som middelstrålingstemperatur og lufthastighed. I stedet for den sædvanlige knap til indstilling af den ønskede temperatur findes der to knapper; en til indstilling af den typiske aktivitet (met) som skal foregå i rummet og en til indstilling af den gennemsnitlige beklædningsisolering (clo) af de personer, som skal opholde sig i rummet (Fig. 2). Den sidste parameter, luftfugtigheden, kan indstilles på reguleringssystemet enten direkte eller via en fugtføler i ventilationssystemet.

En af de mange fordele ved dette reguleringssystem er, at brugerne direkte opfordres til at koordinere deres aktivitet og beklædning. Dette er simpelthen en nødvendighed, hvis flere mennesker skal opretholde en PMV-værdi på 0 i det samme indeklima.

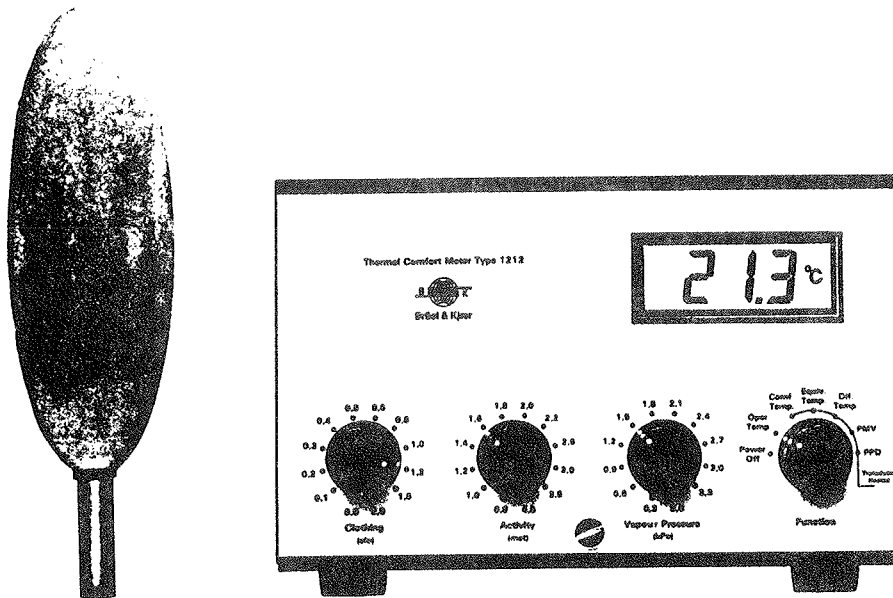


Fig. 1. Termisk komfortmåler B & K type 1212. Anvendes til vurdering af det termiske indeklima i overensstemmelse med DS/ISO 7730.

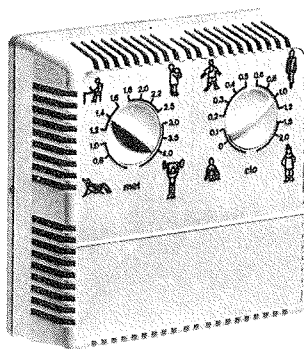


Fig. 2. Komfostatens indstillingspanel. I stedet for at indstille en ønsket temperatur indstilles de aktuelle værdier af aktivitet (met) og beklædning (clo) i overensstemmelse med de nye indeklimastandarder DS/ISO 7730.

3.2. Komfostat II

Denne prototype er et forsøg på at lave en hurtigvirkende termostat med lille hysteres, som ved en sædvanlig vægplacering er i stand til at reagere korrekt på ændring af alle de samme parametre som komfostat I.

Selve følerelementet er i dette tilfælde af form som en keglestub hvis sider (flanker) er opvarmede til en temperatur 5

eller 10 °C højere end den ækvivalente temperatur 6 . Den effekt som kræves for at opretholde den indstillede overtemperatur på føleren, er den regulerende størrelse, som bestemmer når der skal åbnes eller lukkes for varmetilførslen til rummet. Denne første udgave virker som en on-off termostat, men det vil være muligt at fremstille en modulerende version.

For at kunne undersøge tidskonstantens betydning for reguleringens godhed er der indbygget en elektronisk variabel tidskonstant for henholdsvis åbning og lukning af varmetilførslen. Det kan f.eks. være ønskeligt at der ikke åbnes for vandet til en tung vandradiator blot fordi havedøren åbnes for at lukke hunden ind eller ud. Her vil en 5 minutters forsinkelse nok være en fordel både i energi- og komfortmæssig henseende.

3.3. De traditionelle termostater

Til sammenligning med disse nyudviklede termostater er i undersøgelsen anvendt følgende traditionelle termostater:

- A. On-off bimetal termostat med accelerator.
- B. Radiatortermostatventil med fjernføler.
- C. Modulerende termostat.
- D. Modulerende termostat.

4. Forsøgsopstilling

For at få så realistiske forsøgsbetingelser som muligt er der opbygget en prøvestand, der simulerer et rum som har en vægflade ud til den fri luft og 3 vægflader ud mod andre opvarmede rum.

I fig. 3 og 4 er vist et snit i og en plan over prøvestanden. I rum A holdes en konstant temperatur på -10°C som sikrer et varmetab fra selve prøverummet B. Dette varmetab foregår dels gennem væggen, og dels gennem en etlagsrude på $1,9\text{ m}^2$. Ventilatoren V sikrer et luftskifte, som når ventilatoren kører, medfører et ekstra varmetab på 200 W. Dette ekstra luftskifte medfører ikke større lufthastigheder i komfortzonen end $0,1\text{ m/sek.}$

For at opnå en typisk variation i gratisvarmetilførslen til forsøgsrummet er der simuleret en række gratisvarmefaktorer hvis forløb over døgnet fremgår af fig. 5., medens selve komponenternes placering fremgår af fig. 3.

- a) Solen (SOL) sidder i vinduesåbningen og sikrer at solindfaldet kun rammer visse dele af rummet. Solen er simuleret af en glødetrådsmodstand med reflektor som giver et effekttilskud på 225 W.
- b) Personvarmetilskuddet simuleres af to sorte tønder (mærket med P) som hver afgiver 50 W.
- c) El-forbrug til lys simuleres af en fritplaceret elektrisk pære på 100 W (mærket med E).
- d) Ventilator som under drift sikrer et forøget varmetab fra rummet på 200 W. Dette er gjort for at etablere en større forskel mellem min. og max. varmetab fra rummet og dermed stille større krav til termostat og varmesystem.

Fig. 3.

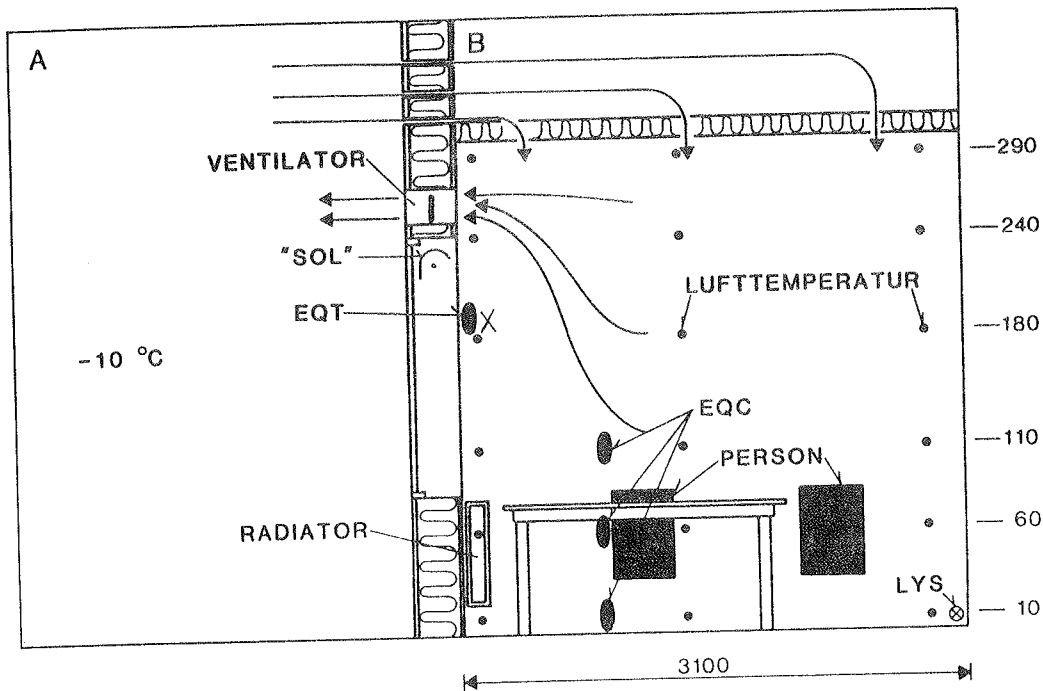


Fig. 4.

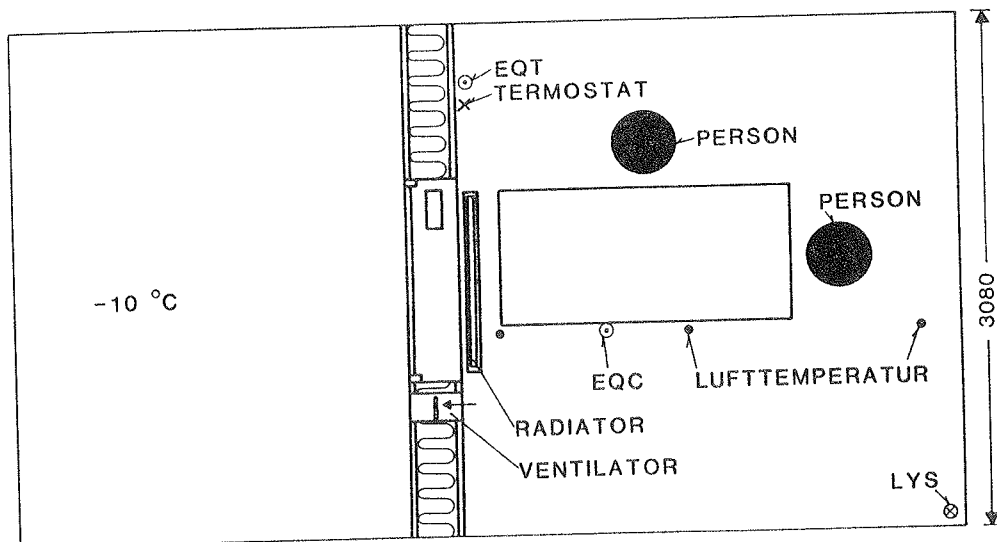


Fig. 3 og 4. Snit i og plan af den varme og den kolde kasse, som tilsammen udgør forsøgsopstillingen. Den ækvivalente temperatur ved termostaten (EQT) måles med en termisk komfortmåler. Den tilsvarende værdi (EQC) i opholdszonen måles i tre højder: 10, 60 og 110 cm over gulv med tre andre komfortmålere. I en del af døgnet tilføres der rummet gratisvarme i form af personvarme, lys og solindfald som simuleres med en infrastråleovn anbragt øverst i vinduesnichen. Ventilatoren i væggen mellem den varme og den kolde kasse sørger for et forøget varmebehov i en del af døgnet timer. Lufttemperaturen måles i 18 punkter i rummet markeret med

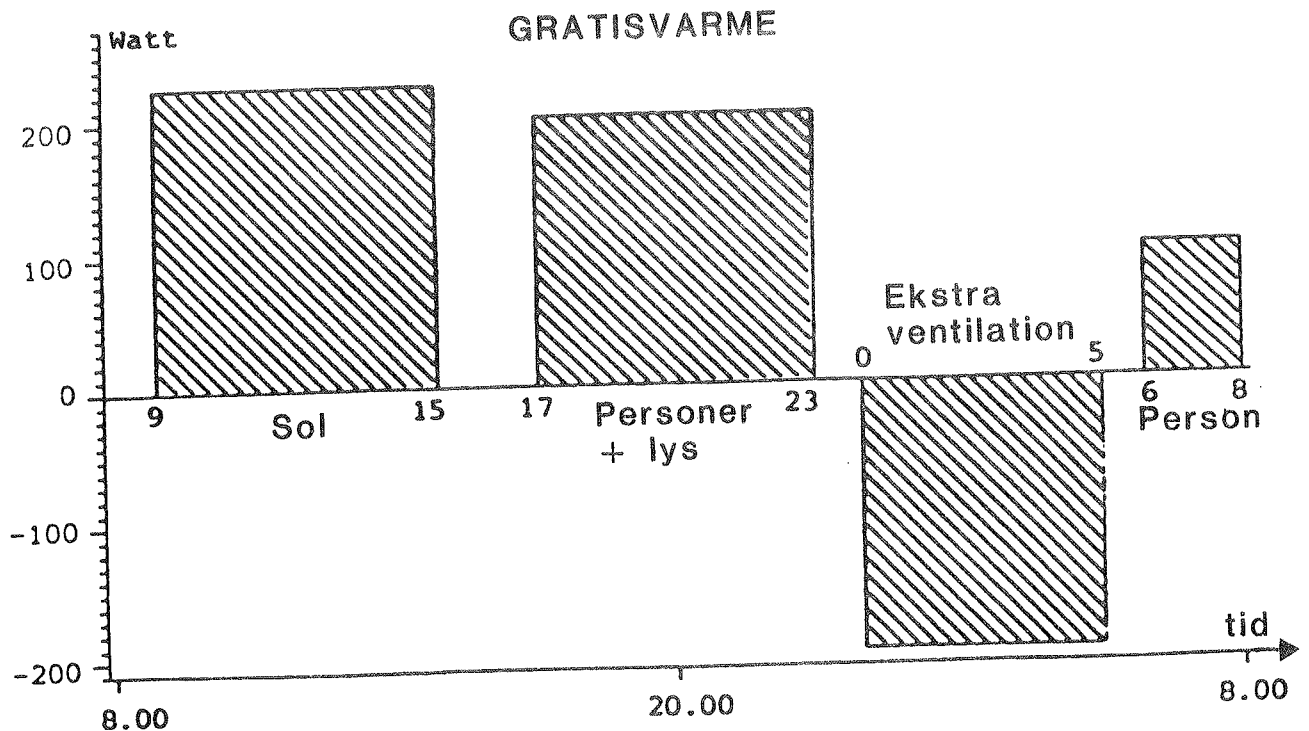


Fig. 5. Gratisvarmens størrelse og fordeling over forsøgsperioden.

Alle de testede termostater er anbragt på samme sted i rummet (markeret med x i fig. 3). Dette sted er valgt så afstanden til varmemediet er passende og sådan at solen ikke skinner direkte på termostاتفøleren.

Prøvestanden er placeret i en forsøgshal hvor der opretholdes en temperatur på mellem 18 og 22 °C.

Til vurdering af temperaturvariationen i forsøgsrummet måles lufttemperaturen i 18 forskellige punkter vist med prikker i fig. 3 og 4. Desuden måles ækvivalenttemperaturen i 3 standardhøjder 0,1, 0,6 og 1,1 m (EQC) over gulvet i komfortzonen, og ækvivalenttemperaturen (EQT) umiddelbart ved siden af termostاتفøleren.

Udetemperaturen, temperaturen på varmemediet og indikatorer for om gratisvarmefaktorerne tidsmæssigt er korrekt indstillet er endvidere målt og alle disse variable er registreret på en datalogger, med scan af de forskellige målekanaler hvert 6. minut, over 24-timers perioden. Dette giver 240 observationer for hele døgnet. Derved sikres at selv hurtige periodiske variationer registreres, samtidig med at magnetbåndet har lagerkapacitet til en hel måleperiode. Varmetabet fra forsøgsrummet til rum A er med standset ventilator: 600 W og med ventilator i drift: 800 W.

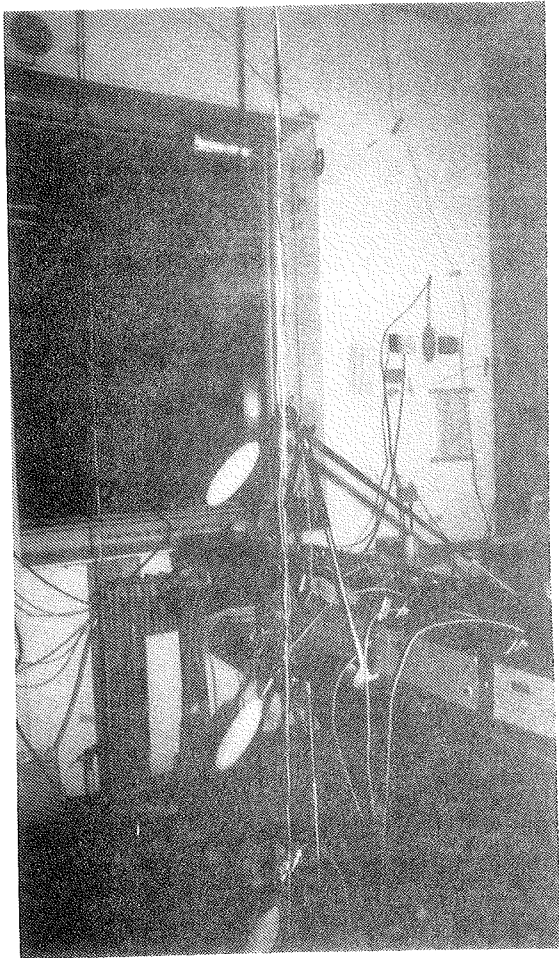


Fig. 6 og 7. To billeder fra prøverummet. Til venstre ses termostaterne og komfortføleren som registrerer den ækvivalente temperatur ved termostaten. Endvidere ses de 3 komfortfølere midt i opholds- zonen, ventilatoren og solen. Til højre ses en af personsimuleringstønderne og dataloggeren.

I undersøgelsen indgår fire forskellige varmesystemer:

- A) En traditionel el-radiator med en effekt på 1000 W, placeret lige under vinduet.
- B) Et varmemefolieloft på 1200 W dækket med en 6 mm masonitplade og isoleret opadtil med 150 mm mineraluld.
- C) Traditionel varmtvandsriffelradiator som ved en fremløbstemperatur på 65 °C yder ca. 1000 W. Radiatoren er placeret lige under vinduet.
- D) En varmtluftsbleser med udblæsning af luft lige op under vinduet gennem en specielt konstrueret kanal, der har samme udformning som et typisk luftvarmeanlæg. Effekten er 1200 W. Se fig. 8.

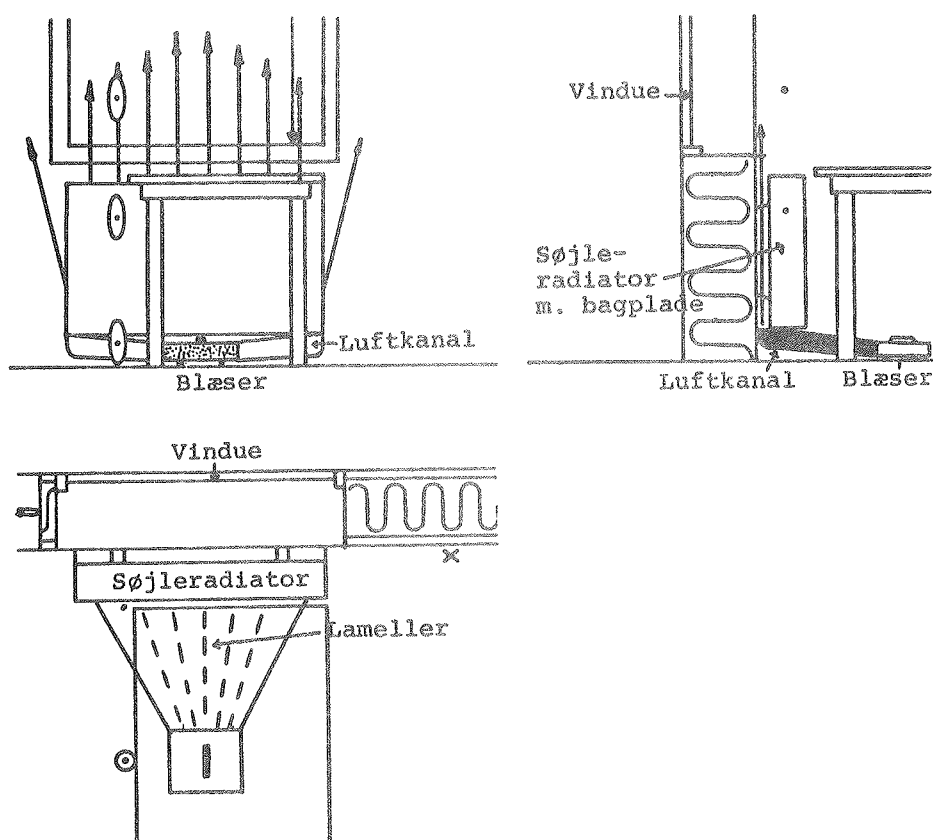


Fig. 8. Udformning af luftvarmeagregatet.

Endvidere er benyttet 6 forskellige termostater,

- Nr. 1. I de tre el-varmebaserede situationer er anvendt en on-off-bimetal termostat.
- Nr. 2. I vandradiatortilfældet er anvendt en radiatorventiltermostat med fjernføler.
- Nr. 3. Almindelig modulerende termostat med enkel regulering.
(Ikke testet på vandradiator).
- Nr. 4. Modulerende termostat med avanceret regulering.
(I vandradiatortilfældet med gasventil).
- Nr. 5. Komfostat med komfortføler som termostatføler. Endvidere avanceret reguleringsudstyr.
(I vandradiatortilfældet med gasventil).
- Nr. 6. Nyudviklet komfostat med speciel vægføler med enkelt reguleringsudstyr.
(I vandradiatortilfældet med gasventil).

Sidstnævnte termostat er blevet udviklet undervejs og følgende egenskaber er specielt blevet tilstræbt:

- a) Lille termisk tidskonstant.
- b) Elektronisk regulerbar tidskonstant for hhv. ind- og udkobling af varmekilde.

Sidstnævnte egenskab skal medføre, at der ved valg af en høj tidskonstant for åbning af varmen kan opnås, at f.eks. en kortvarig åbning af et vindue ikke får termostaten til at åbne for varmen, idet en lukning af vinduet efter så kort tid ikke giver noget varmebehov af betydning. Med en hurtigt reagerende termostat ville en åbning af vinduet resultere i en forhøjelse af temperaturen på et par grader, idet en radiatortermostat vil kunne fylde en tung radiator med varmt vand i løbet af få minutter.

5. Målinger

Undersøgelsen er foretaget således, at der efter opnåelse af døgnstationære forhold for den aktuelle kombination af termostat og varmemedium, er behandlet et døgns dataopsamling. Under hele forsøget er der desuden foretaget kontinuerlig registrering af de fire ækvivalenttemperaturers forløb på to tokanal Kipp & Zonen skrivere. Dette giver mulighed for et hurtigt overblik over forsøgets forløb samt information om utilsigtede hændelser som f.eks. åbning af dør i registreringsperioden. Databehandlingen omfatter følgende:

- 1) Den gennemsnitlige lufttemperatur i rummet TL.
- 2) Den gennemsnitlige ækvivalenttemperatur i opholdszonen EQC.
- 3) Ækvivalenttemperaturen ved termostاتفøleren EQT.

Førstnævnte er dannet som middelværdien af 18 lufttemperaturer jævnt fordelt i rummet. Denne temperatur danner grundlag for energiberegninger, idet den bedst definerer rummets middeltemperatur og dermed varmetabet til omgivelserne.

Ækvivalenttemperaturen i opholdszonen (EQC) er dannet som et vægtet gennemsnit af de tre ækvivalenttemperaturer: I Målt 0,1 m over gulv (fødder). II Målt 0,6 m over gulv (krop) og III målt 1,1 m over gulv (hoved). EQC er bestemt ved hjælp af udtrykket

$$EQC = 0,2 \times I + 0,7 \times II + 0,1 \times III \quad (^\circ C)$$

Denne størrelse er et udtryk for den termiske komfort i opholdszonen. Dens variation er et resultat af samspillet mellem varmesystem og termostat, samt af termostats placering i forhold til opholdszonen.

Termostatakvivalenttemperaturen (EQT) er et udtryk for graden af termisk komfort der hvor termostaten er placeret. Den er derfor den bedste parameter til vurdering af termostaternes evne til at opretholde en konstant ækvivalenttemperatur og dermed en optimal grad af termisk komfort på termostats plads.

på fig. 9 er vist hvilke kombinationer af termostater og opvarmningssystemer der er undersøgt.

Nr.	Varmesystem Termostat	El- radiator	El-lofts- varme	Vand- radiator	El-lofts- varme
1.	on-off termostat- radiator	x	x		x
2.	termostat- ventil modulerende			x	
3.	enkel modulerende	x	x	x	x
4.	avanceret komfostat	x	x	x	x
5.	kommerciel komfostat	x	x	x	x
6.	prototype	x	x	x	x

Fig. 9. Oversigt over de undersøgte kombinationer af termostat og varmesystem.

6. Måleresultater

Undersøgelsens formål har været at vurdere forskellige termostattypers evne til:

- I. At opretholde en konstant termisk komfort under varierende varmebehov fra varmeanlægget.
- II. At regulere varmetilførslen til rummet mest energiøkonomisk.

6.1. Termisk komfort

Da optimal termisk komfort opnås ved $PMV=0$, altså ved en bestemt ækvivalent temperatur, må den komfortmæssigt bedste termostat, alt andet lige, være den som opretholder en ønsket EQC ved varierende gratisvarmetilførsel til rummet.

For alle de i fig. 9 viste kombinationer er bestemt $t_{\max} - t_{\min}$ i løbet af et måledøgn for den ækvivalente temperatur (EQT) ved termostaten samt for den ækvivalente temperatur i opholdszonen EQC. Resultatet fremgår af tabel 1. Tabel 1 viser i hvilken grad de enkelte termostater er i stand til at holde en konstant temperatur der hvor de selv sidder, medens tabel 2 angiver hvor godt de kan opretholde en konstant temperatur i opholdszonen. På fig. 10-13 ses temperaturforløbene for de forskellige kombinationer af termostat og varmesystem. Nederst på hver figur ses gratisvarmens variation over døgnet.

6.2. Energibesparelse

Brugerne af et rum vil, når de selv kan indstille termostaten, stille den på en temperatur som sikrer, at PMV -værdien aldrig bliver negativ [3] og [4]. Det betyder i praksis at jo bedre en termostat er i stand til at opretholde en konstant ækvivalent temperatur, jo lavere bliver den middeltemperatur, som bestemmer rummets varmetab i fyringssæsonen. Ifølge [5] er det energimæssigt dyrt at opretholde en højere rumtemperatur end komfortmæssigt ønskeligt. Som mål for de forskellige termostaters energimæssige kvalitet er brugt middelværdien af de 18 målte lufttemperaturer (se fig. 3 og 4). $t_{\text{middel}} - t_{\min}$ er beregnet for alle de i fig. 9 viste kombinationer. Resultatet ses i tabel 3. I tabel 4 er angivet hvor meget man kan sænke middellufttemperaturen ved at skifte fra den energimæssigt dårligste termostat til en af de andre. Endelig er i tabel 5 angivet den procentiske energibesparelse som følge af denne temperatursænkning. Der er med henblik på fremtidige lavenergi-huse og på skoler og kontorer med megen gratisvarme regnet med en energibesparelse på 15% pr. $^{\circ}\text{C}$ temperatursænkning.

7. Vurdering af måleresultaterne

A. Termisk komfort

Det fremgår af tabel 2 at variationen i den ækvivalente temperatur i opholdszonen afhænger af såvel termostat som opvarmningsmetode. Den mest konstante EQC fås når el-radiatorer reguleres af en komfostat d.v.s. en føler som tager hensyn til alle de vigtige indeklimaparametre. Det dårligste resultat fås, når man lader en traditionel bimetaltermostat styre et el- eller et luftvarmeanlæg. Dette skyldes først og fremmest termostatsens lange tidskonstant, som tydeligt fremgår af fig. 10, der viser temperaturforløbet over et døgn ved brug af de fem termostater på et el-varmesystem. Det fremgår også af tabel 2 at det vanskeligste anlæg at regulere er radiatoranlægget. Her får selv den bedste termostat (nr. 4) et Δt på 1,3 °C. Den dårligste regulering fås ved brug af en radiatortermostatventil hvor Δt er målt til 2,9 °C.

Betragtes fig. 10, 11 og 13 lægger man mærke til, at de registrerede temperaturforløb kan deles i tre grupper: bimetal termostater, der giver hyppige og voldsomme temperatursvingninger, den enkle termostat, som har en betydelig belastningsafvigelse, som til dels skyldes den lange tidskonstant og endelig de tre avancerede termostater, som alle har næsten samme temperaturforløb ved den givne variation i gratisvarmen.

Fig. 12 viser temperaturforløbene ved radiatoropvarmning (vand). Radiatortermostatsens regulering øverst viser et lidt overraskende forløb. Den ækvivalente temperatur er højest i perioden med størst varmebehov. Dette forløb blev konstateret ved gentagne forsøg og det skyldes formentlig mekanisk friktion (hysteres).

Den nederste kurve (termostat nr. 5) viser, at det er muligt at holde en rimelig konstant temperatur, også ved et sædvanligt radiatoranlæg, med en enkel on-off regulering, når blot termostatsens tidskonstant og hysteres er lille nok.

B. Energibesparelse

Den af de målte parametre som bedst beskriver rummets energiforbrug er middelværdien af de 18 lufttemperaturer som er målt i de på fig. 3 og 4 viste punkter. I tabel 3 er angivet hvor meget middeltemperaturen over døgnet er højere end den laveste middellufttemperatur i døgnets løb. Det ses at overtemperaturen er mindst ved el-varme med termostat nr. 5. Den højeste overtemperatur, og dermed det største forventede energiforbrug, fås ved on-off bimetal termostaten især i forbindelse med el-radiatorer og luftvarme. Det ses desuden at radiatortermostaten er dårligere end de andre afprøvede typer i forbindelse med radiatorvarme. Endelig ses det, at når det gælder om at opretholde en konstant rumtemperatur, er valget af termostat vigtigere end valget af varmesystem. Dette fremgår tydeligt af de fundne middelværdier i henholdsvis højre og nederste kolonne i tabel 3.

De forventede besparelser som er angivet i tabel 5 er som nævnt baseret på nybyggeri, her kan man, fordi gratisvarmen udgør en stor del af opvarmningen bl.a. ifølge [5], regne med et 15% mindre energiforbrug, hvis middeltemperaturen kan sænkes 1 °C. Selv om disse 15% er behæftet med en betydelig usikkerhed viser tabellen, at der ved anvendelse af en god termostat kan spares energi uden at det går ud over komforten. Det er måske værd at gøre opmærksom på, at den besparelse på 6% pr. grad som ofte nævnes, er den samlede energibesparelse regnet i %, ikke af varmebehovet, men af det samlede varmetab (inklusive gratisvarmen). Hvis gratisvarmen over hele fyringssæsonen udgør 50% af varmetabet, bliver den reelle besparelse i den betalte varme ikke 6 men 12%.

8. Konklusion

Undersøgelsen viser at valget af termostat har en væsentlig betydning for såvel opretholdelse af en optimal grad af termisk komfort som for energiforbruget til opvarmning. Den termiske komfort ses af tabel 2 at være mere afhængig af termostaten end af det valgte varmesystem. Til gengæld viser tabel 5, at energiforbruget vil nedsættes lige meget, uanset hvilken af de avancerede termostater der anvendes. De største energibesparelser kan opnås hvor der anvendes et hurtigt reagerende varmesystem, d.v.s. el-radiatorer eller luftvarme. Termostatens betydning vil vokse i takt med den forbedrede isolering af vore bygninger samt med den mere bevidste udnyttelse af den passive solvarme. Disse tiltag har medført, at gratisvarmen nu udgør en betydelig større del af en bygnings samlede varmebehov end for blot få år siden. Denne gratisvarme fordeler sig imidlertid ikke jævnt over bygningen. Den afhænger af den øjeblikkelige brug af de enkelte rum, og solens stilling - når den er der - samt af om gardiner eller solafskærmninger er i brug. Dette vil resultere i, at i øvrigt ens rum har meget forskellige behov for at få tilført energi fra varmeanlægget.

En af betingelserne for at dette behov kan blive opfyldt under opretholdelse af den ønskede komforttilstand er, at hvert rum er forsynet med en velfungerende termostat.

Det vil sige en termostat med flest mulige af følgende egenskaber:

- : lille tidskonstant
- : lille hysteres
- : evne til at reagere korrekt på ændring af flest mulige af de termiske komfortparametre

9. Referencer

- [1] Fanger, P.O., Thermal Comfort, McGraw Hill, New York, 1973.
- [2] Madsen, T.L.: A New Thermostat for Increased Thermal Comfort and Energy Saving.
- [3] Lebrun J. and D. Marret: An experimental study on the effect of the comfort conditions in a heated room. Proceeding from International Congress Building Energy Management. Portugal, May 1980.
- [4] Sprague C.H. and P.E. McNall. The Effects of Fluctuating Temperature and Relative Humidity on the Thermal Sensation (Thermal Comfort of Sedentary Subjects, ASHRAE TRANSACTIONS vol. 76, I 1970).
- [5] Nielsen A.: A calculation of the increase in energy use at one degree higher room temperature. Report no. 77 from the Thermal Insulation Laboratory, Denmark (in Danish).
- [6] Madsen, T.L., B.W. Olesen and N.K. Kristensen: Comparison between Operative and Equivalent Temperature under typical indoor conditions. ASHRAE Trans., 1984.

10. Tabeller og diagrammer

EQTtermostat $t_{\max} - t_{\min} \text{ }^{\circ}\text{C}$		A	B	C	D	Middel
nr.	<div>Varmesystem</div> <div>Termostat</div>	El	Loft	Vand	Luft	
1	On-off bimetal termostat m. acc.	2,92	2,10		3,76	2,93
2	Radiatortermostat- ventil m. fjernføler			1,66		1,66
3	Modulerende elektro- nisk termostat	1,45	1,44		1,37	1,42
4	Modulerende elektro- nisk termostat	0,74	0,82	1,10	0,52	0,80
5	Komfostat med komfortføler	0,77	0,79	0,87	0,79	0,81
6	Komfostat ny prototype	0,60	0,72	0,78	0,75	0,71
Middel		1,30	1,17	1,10	1,44	

Tabel 1. Forskellen mellem den højeste og den laveste equivalenttemperatur på termostatsplads i løbet af 1 måledøgn. Beregnet for alle de undersøgte kombinationer af termostat og varmesystem.

EQ comfort $t_{\max} - t_{\min} \text{ }^{\circ}\text{C}$		A	B	C	D	Middel
nr.	<div> <div>Varmesystem</div> <div>Termostat</div> </div>	El	Loft	Vand	Luft	
1	On-off bimetal termostat m. acc.	3,58	2,43		3,89	3,30
2	Radiatortermostat- ventil m. fjernføler			2,89		2,89
3	Modulerende elektro- nisk termostat	1,43	1,72		1,63	1,59
4	Modulerende elektro- nisk termostat	0,77	1,04	1,57	0,73	1,01
5	Komfostat med komfortføler	0,52	0,73	1,31	0,72	0,82
6	Komfostat ny prototype	0,53	0,72	1,64	0,87	0,94
Middel		1,37	1,33	1,84	1,57	

Tabel 2. Forskellen mellem den højeste og den laveste equivalenttemperatur i opholdszonen i løbet af 1 måledøgn. Beregnet for de undersøgte kombinationer af termostat og varmesystem.

Δt_{luft} $t_{\text{middel}} - t_{\text{min}} \text{ } ^\circ\text{C}$		A	B	C	D	Middel
nr.	<div> <div>Termostat</div> <div>Varmesystem</div> </div>	El	Loft	Vand	Luft	
1	On-off bimetal termostat m. acc.	2,05	1,49		1,98	1,84
2	Radiatortermostat- ventil m. fjernføler			1,08		1,08
3	Modulerende elektro- nisk termostat	1,59	0,91		0,48	0,66
4	Modulerende elektro- nisk termostat	0,31	0,62	0,50	0,49	0,48
5	Komfostat med komfortføler	0,32	0,60	0,70	0,45	0,52
6	Komfostat ny prototype	0,34	0,34	0,73	0,66	0,52
Middel		0,72	0,79	0,75	0,81	

Tabel 3. Forskellen mellem døgnmiddeltemperaturen målt i 18 punkter i forsøgsrummet og døgnet laveste middeltemperatur i de 18 punkter beregnet for de undersøgte kombinationer af termostat og varmesystem.

Δt_{luft} ved brug af en bedre termostat		A	B	C	D	Middel
nr.	<div> <div>Varmesystem</div> <div>Termostat</div> </div>	El	Loft	Vand	Luft	
1	On-off bimetal termostat m. acc.	0	0		0	
2	Radiatortermostat-ventil m. fjernføler			0		
3	Modulerende elektronisk termostat	-1,5	-0,6		-1,5	-1,2
4	Modulerende elektronisk termostat	-1,7	-0,9	-0,6	-1,5	-1,2
5	Komfostat med komfortføler	-1,7	-0,9	-0,4	-1,5	-1,1
6	Komfostat ny prototype	-1,7	-1,2	-0,4	-1,3	-1,2
Middel		-1,7	-0,9	-0,5	-1,5	

Tabel 4. Mulig temperatursænkning ved brug af en bedre termostat under forudsætning af uændret komforttilstand.

Energibesparelse i % ved brug af en god termostat		A	B	C	D	Middel
nr.	<div> <div>Varmesystem</div> <div>Termostat</div> </div>	El	Loft	Vand	Luft	
1	On-off bimetal termostat m. acc.	0	0		0	
2	Radiatortermostat- ventil m. fjernføler			0		
3	Modulerende elektro- nisk termostat	18	7		18	14
4	Modulerende elektro- nisk termostat	20	11	7	18	14
5	Komfostat med komfortføler	20	11	5	18	14
6	Komfostat ny prototype	20	14	5	16	14
Middel		20	11	6	18	

Tabel 5. Forventet energibesparelse ved brug af en bedre termostat under forudsætning af, at gratisvarmen (sol, lys, personer m.v.) udgør 50% af varmetabet.

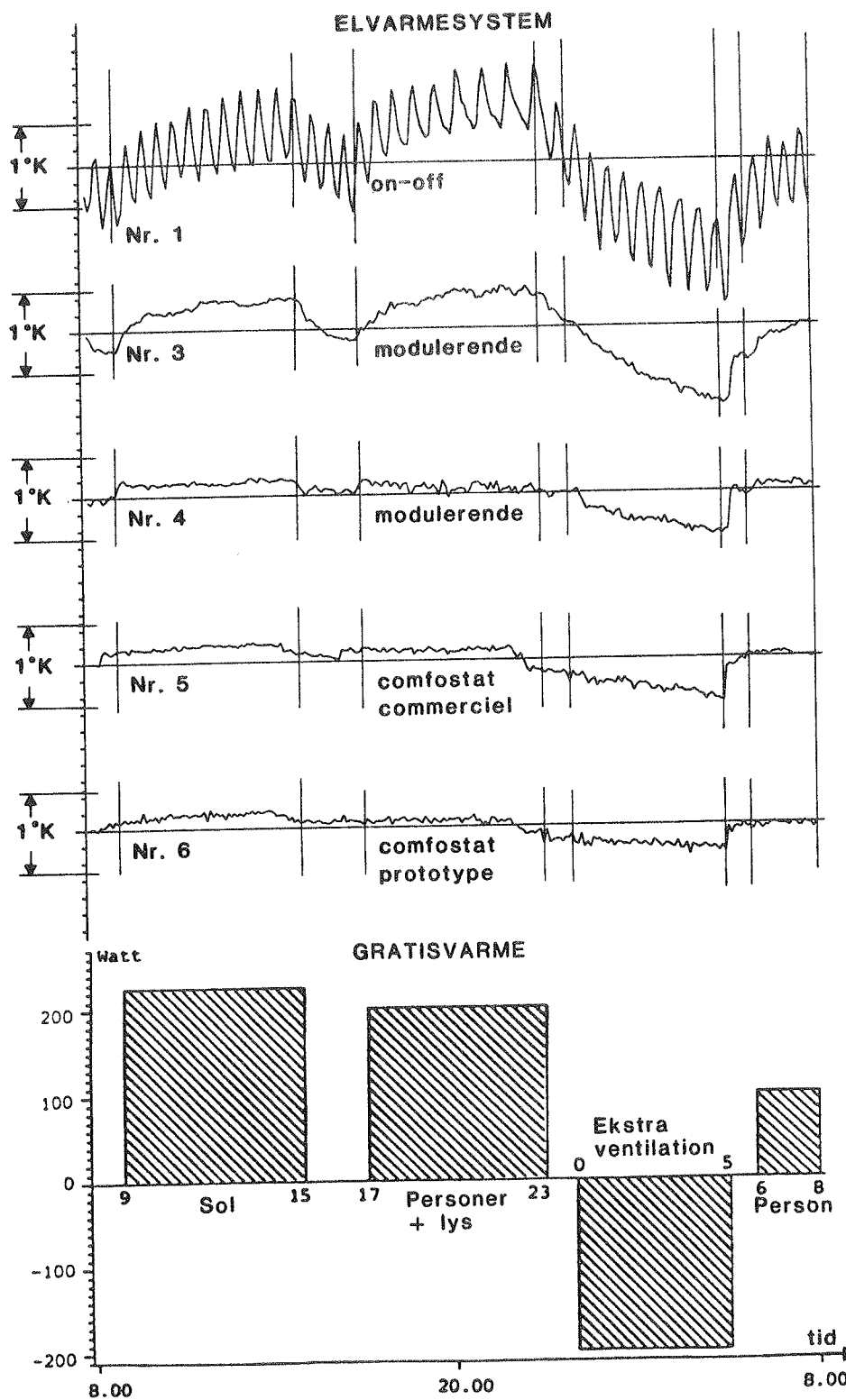


Fig. 10. Døgntemperaturforløbet i opholdszonen ved brug af de forskellige termostater til styring af en el-radiator under vinduet. Nederst ses gratisvarmens fordeling over døgnet.

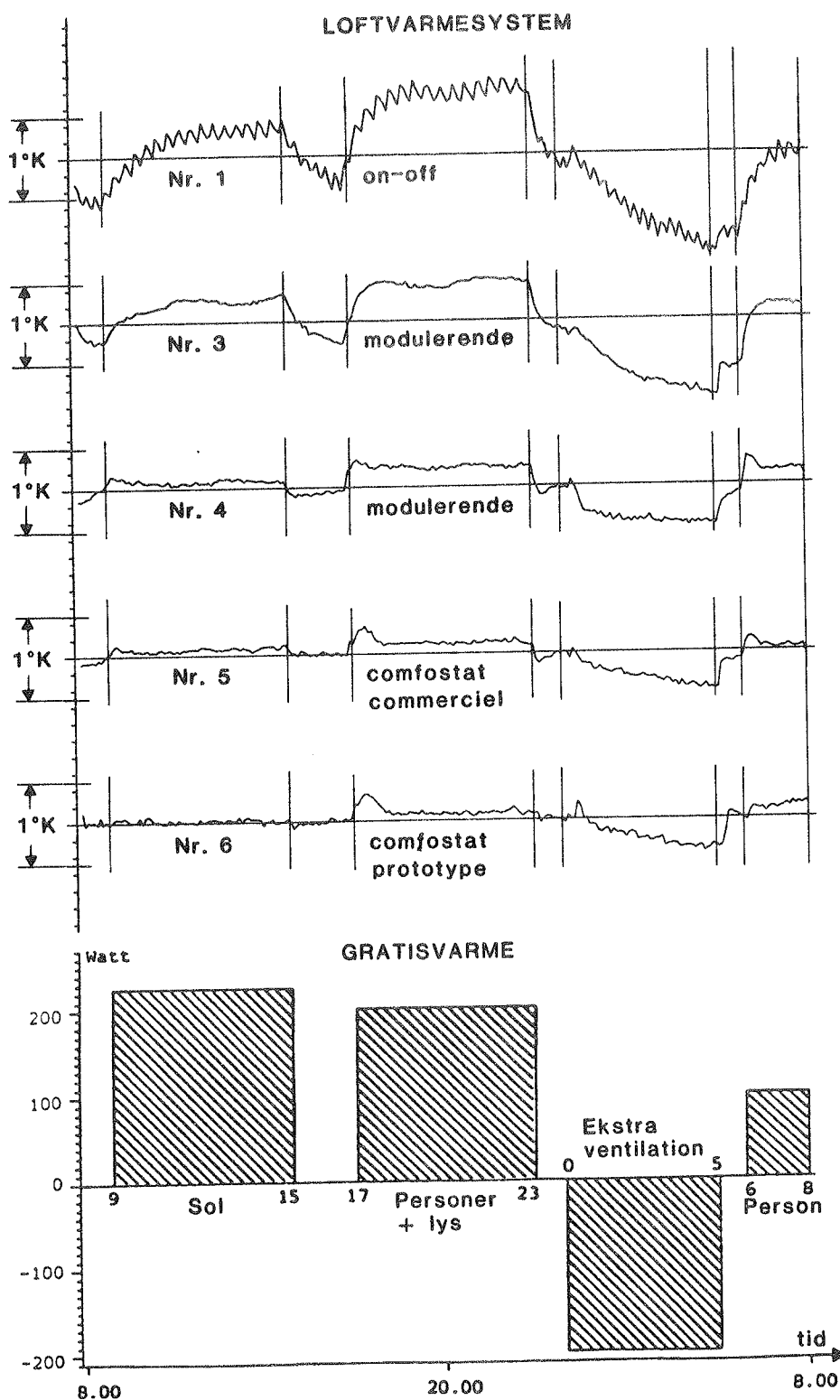


Fig. 11. Døgntemperaturforløbet i opholdszonen (EQC) ved brug af de forskellige termostater til styring af et strålevarmeloft. Nederst ses gratisvarmens fordeling over døgnet.

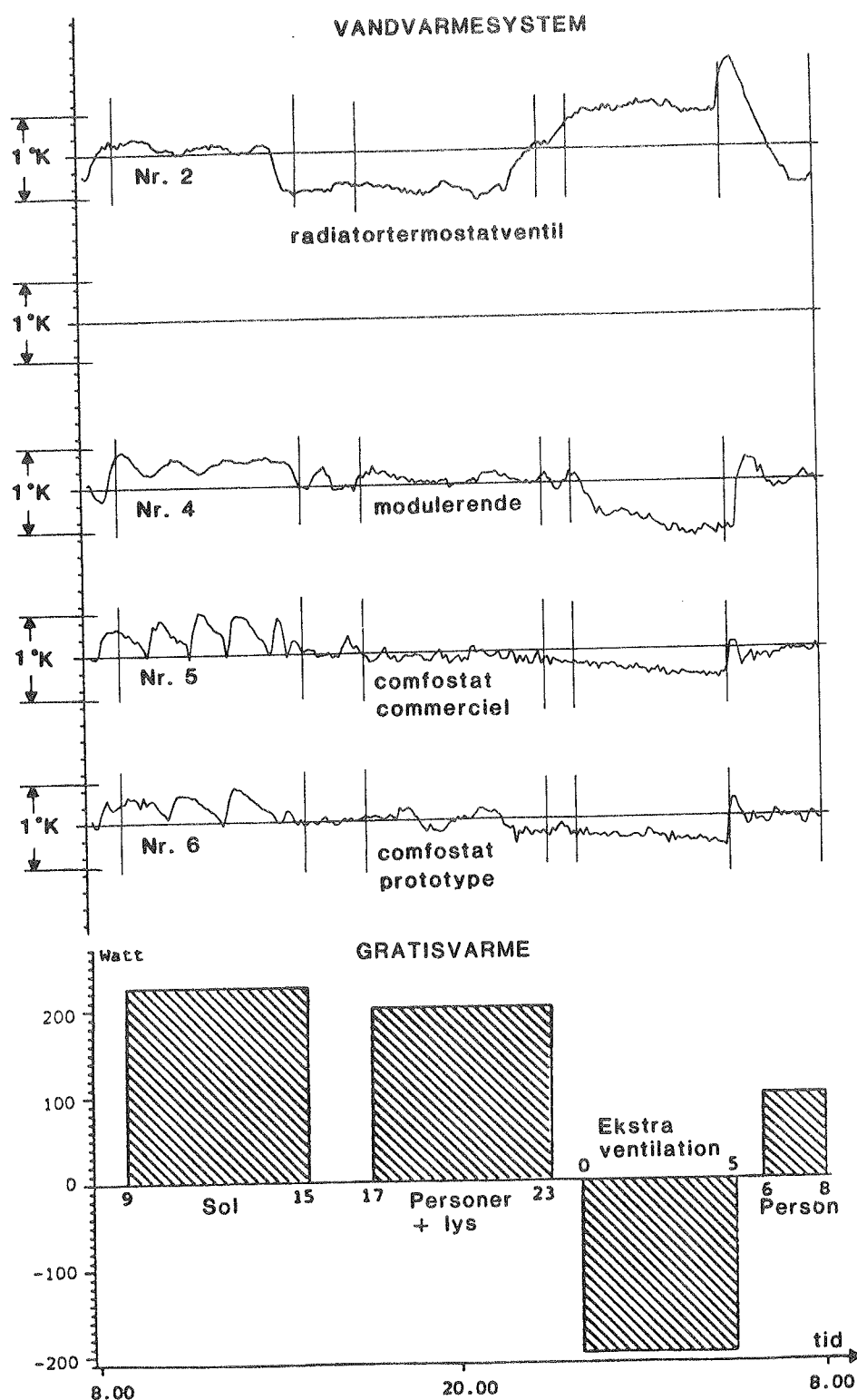


Fig. 12. Døgntemperaturforløbet i opholdszonen (EQC) ved brug af de forskellige termostater til styring af en riffelradiator anbragt under vinduet. Nederst ses gratisvarmens fordeling over døgnet.

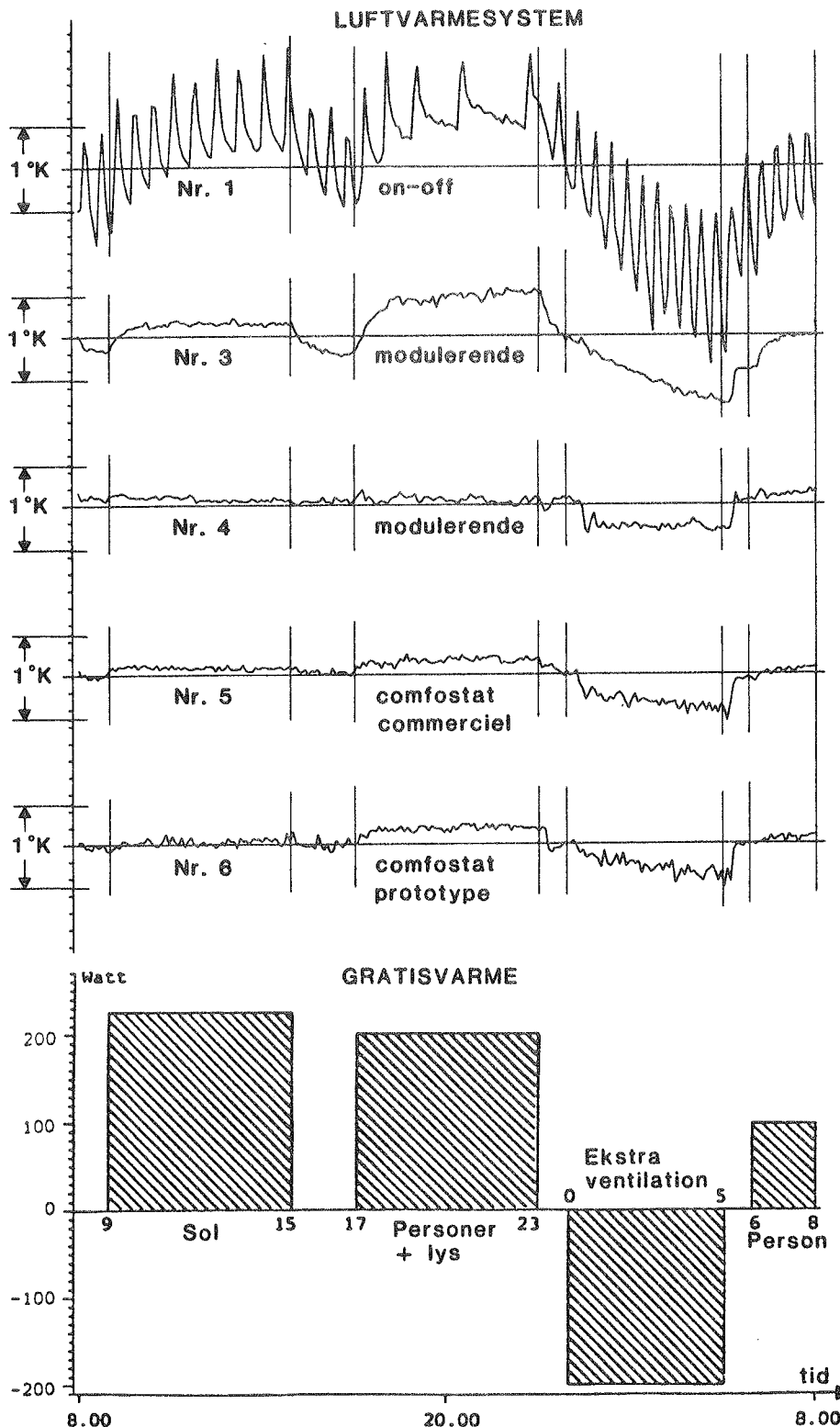


Fig. 13. Døgntemperaturforløbet i opholdszonen (EQC) ved brug af de forskellige termostater til styring af en varmluftblæser (se fig. 8.), som blæser den varme luft op langs med vinduet. Nederst ses varmens fordeling over døgnet.

Summary

For some years the thermal insulation of buildings has increased considerably in order to cut down the energy consumption. The free heat has thus become a greater percentage of the total heat loss of the buildings. Simultaneous supply of free heat and heat from the heating system will soon lead to over heating and thermal discomfort and waste of energy.

In this report some new thermostats are discussed. The thermostats are especially developed to give a quick and correct response of changes of the following thermal parameters: air temperature, air velocity and mean radiation temperature. A comparison is made between the new thermostats and four conventional types when controlling different types of heating systems at standardized typical 24 hour variations of the free heat.

The variation during 24 hours of the equivalent temperature measured at a typical position in the room, controlled by the thermostat, is used as an indication of the ability of the thermostats to maintain optimum thermal comfort. The best thermostat is the one which is capable of maintaining the most constant equivalent temperature in the living area.

As far as energy is concerned an estimate of the quality of the thermostats is made by registration of how much the mean temperature for 24 hours exceeds the lowest mean temperature measured during the 24 hours. The mean temperature is defined as a mean of the air temperature measured simultaneously at 18 spots in the room.

The conclusion of the investigation is that the thermostats is of great importance for both maintaining the thermal comfort and the consumption of energy for heating. The thermal comfort depends more of the choice of thermostat than of the heating system. The importance of the thermostat is greatest when the heating systems react quickly. Among the heating systems tested the electrical radiators and air heating systems were the quicker ones.