

## INDEKLIMAET PÅ VORE SENGESTUER

AF

THOMAS LUND MADSEN

LABORATORIET FOR VARMEISOLERING

DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE



MAJ 1976

MEDDELELSE NR 65

## Indeklimaet på vore sengestuer

Af lektor Thomas Lund Madsen, Lab. for Varmeisolering,  
Danmarks tekniske Højskole

I takt med den almindelige stigning i levestandarden er kravene til vores indeklima også vokset. Teknikken er fulgt godt med, og man kan sige, at det i dag er muligt at skabe ethvert ønsket termisk indeklima. Problemet er i virkeligheden for det første, at definere rimelige ønsker, og for det andet at nå frem til et acceptabelt kompromis, hvis de individuelle ønsker er forskellige. Det er disse to problemer, denne artikel især handler om.

Indeklimaforskningen har i mange år ligget på et ganske højt niveau her i landet, vi har derfor et godt grundlag at gå ud fra, når der skal stilles fornuftige krav til vort indeklima.

I årene omkring den sidste verdenskrig foretog det såkaldte boligopvarmningsudvalg, under ledelse af August Krogh, en række betydningsfulde indeklimaundersøgelser, som stadig nyder international anerkendelse. Og i de sidste ti år er indeklimaforskningen igen intensiveret ved flere institutter rundt omkring i landet. Akademiet for de tekniske Videnskaber har i 1968 nedsat et indeklimaudvalg som, med professor V. Korsgaard som formand, skal søge at inspirere og koordinere denne indeklimaforskning.

Inden vi ser på Sengestuens indeklima vil det nok være hensigtsmæssigt med en kort gennemgang af de nyeste resultater fra indeklimaforskningen, først på de to områder som oftest diskuteres nemlig: temperaturen og luftfugtigheden, dernæst på et tredje som er det vigtigste nemlig: kroppens varmebalance.

### Temperaturen

Det er vist den almindelige opfattelse, at kvinder ønsker højere temperatur end mænd, at ældre mennesker ønsker højere temperatur end unge, og at alle ønsker højere temperatur om sommeren end om vinteren.

Denne opfattelse blev bekræftet i flere tidligere forskningsprojekter. Hvis man for eksempel tester mænd og kvinder sammen i almindelig

daglig påklædning i et klimakammer, så finder man, at kvinderne foretrækker en højere temperatur end mændene. Dette skyldes imidlertid ikke, at der er forskel på de to køn, men kun, at der er forskel på deres beklædning. De nyeste undersøgelser foretaget både i USA og i Danmark [1] viser følgende:

Der er ingen signifikant forskel på den optimale komforttemperatur for kvinder og mænd ved samme aktivitetsniveau og med samme påklædning. Der er ingen signifikant forskel på den optimale komforttemperatur for unge og ældre ved samme aktivitetsniveau og påklædning. Ganske vist er det basale stofskifte lidt lavere hos ældre end hos unge, men dette opvejes af, at varmetabet ved fordampning ligeledes er lidt mindre hos ældre. Når ældre mennesker ofte ønsker højere temperatur, skyldes det simpelt hen deres lavere aktivitetsniveau.

Der er ingen signifikant forskel

på den optimale komforttemperatur sommer og vinter ved samme aktivitetsniveau og beklædning. Den højere komforttemperatur skyldes den lettere beklædning.

Disse resultater gælder for gennemsnittet af et stort antal forsøgspersoner. Der er imidlertid store individuelle forskelle på menneskers krav til det termiske indeklima. På fig. 1 er vist en kurve, som angiver, hvor mange procent termisk utilfredse man statistisk kan forvente ved forskellige grader af termisk diskomfort for gennemsnittet af et stort antal personer. Med termisk utilfredse forstås her de personer, som efter den viste komfortskala voterer for  $-3$ ,  $-2$ ,  $+2$  eller  $+3$ . Det ses, at der altid vil være mindst 5% utilfredse, bestående af 2,5%, som har det for koldt og 2,5%, som har det for varmt. Naturligvis igen under forudsætning af samme aktivitetsniveau og samme beklædning [1].

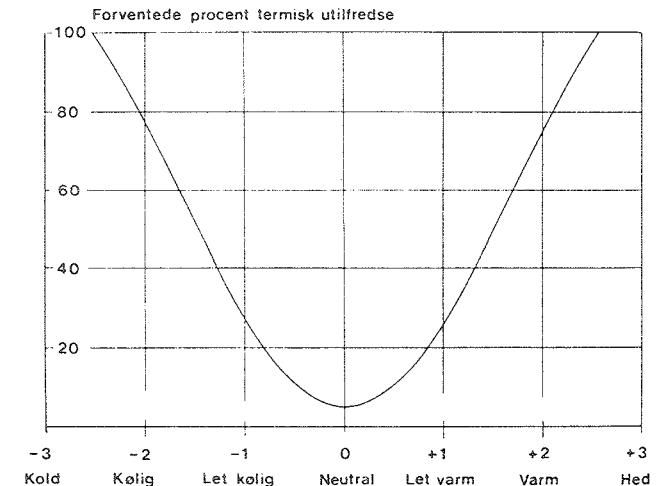


Fig. 1. P. O. Fangers komfort-index. Predicted Mean Vote-indexet, som i et enkelt tal angiver den forventede grad af termisk komfort, PMV-værdien kan beregnes, når de seks termiske klimaparametre kendes. På ordinataksen er angivet, hvor mange procent termisk utilfredse, der kan forventes ved en given PMV-værdi. Ved termisk utilfredse forstås de personer, som i den givne situation, vil votere for koldt, køligt, varmt eller hedt. Efter [1].

## Luftfugtigheden

Denne faktor er vel nok den mest omdiskuteret i forbindelse med indeklimaet. Når den betydning af test overvurderes skyldes det, at man sammenblander forskellige fænomener, som for eksempel relativ og absolut luftfugtighed, eller stationære og dynamiske klimasituationer. Luftfugtigheden eller mere korrekt luftens partielle vanddamptryk har indflydelse på den varmemængde som medgår til befugtning af indåndingsluften, samt til fordampning af det vand som diffunderer gennem huden. Denne indflydelse er dog meget beskedne. Antager vi, at vanddamptrykket i varmesæsonen kan variere mellem 6 og 16 mbar svarer dette interval til en ændring af komforttemperaturen på 0,5-1,0 °C afhængig af aktivitet og påklædning. Dette gælder for personer i termisk komfort og under stationære forhold. I meget varme omgivelser, hvor størstedelen af varmen skal afgives ved fordampning af sved, er vanddamptrykket derimod af helt afgørende betydning.

Ved pludselige ændringer af den relative luftfugtighed optræder der særlige termiske fænomener, som skyldes absorption eller fordampning af vand fra tøj eller hud. Den varme, som derved frigives eller bindes, kan i en vis periode efter ændringen have en betydelig termisk virkning. Det er denne effekt, der er årsagen til, at det ikke føles særlig ubehageligt om vinteren at opholde sig i kortere tid i varme butikker med overtojet på. Når man nemlig kommer ude fra en høj relativ luftfugtighed og ind i en lavere RF, vil en del af vandmængden, som er absorberet i tøjet fordampe, og den hertil brugte varme vil i en kortere periode helt eller delvis opheve den ekstra isolering, som overtojet udgør. Det er ligeledes denne effekt, der var årsag til den betydelige indflydelse af luftfugtigheden, som angives i visse ældre termiske komfortdiagrammer.

De fleste klager over indeklimaet i vinterperioden går ud på, at luften er for tør. Det er dog vanskeligt i

litteraturen at finde undersøgelser, der sandsynligvis berettiger disse klager. Det, som har betydning, er udtørringen af huden samt en udtørring og dermed en nedsættelse af rensningsfunktionen i de øvre luftveje. Graden af udtørring bestemmes af luftens relative fugtighed ved disse fladers temperatur. Da imidlertid denne er næsten konstant, er det luftens vanddampindhold – altså den absolutte luftfugtighed – der er afgørende. Det er derfor uheldigt, at det næsten altid er den relative fugtighed, man måler, når man bedømmer indeklimaet.

Hvis man havde haft et enkelt og billigt instrument – i lighed med hårhygrometret – som målte absolut fugtighed, ville man opdage, at denne ikke er lavere nu end tidligere, snarere tværtimod. Men når man nu ofte har en lufttemperatur på 24 °C i stedet for de 20 °C der var sædvane for nogle år siden, får man ved den samme absolutte luftfugtighed en relativ fugtighed, der er 8-10 % lavere end dengang, og så tror man, luften er for tør.

Vi kan nemlig ikke mærke forskellen med vore sanser. Undersøgelser foretaget på Hygienisk institut på Århus universitet [2] viser, at forsøgspersoner ikke er i stand til at afgøre om de befinder sig i omgivelser med høj eller lav luftfugtighed, så længe de er i termisk komfort.

Man har, ligeledes i Århus, foretaget undersøgelser af rensningsfunktionen i normale øvre luftveje ved forskellige vanddamptryk [3]. Det viste sig, at selv hos personer som i 78 timer blev udsat for en så lav fugtighed som 9 %, viste der sig ikke tegn på nedsat rensningsfunktion i luftvejene. Personerne følte heller intet ubehag fra den ekstremt lave fugtighed.

## Kroppens varmebalance

Det primære formål med et varme- og klimaanlæg er at opretholde en behagelig varmebalance hos de personer, som bruger anlægget.

Denne varmebalance er et resultat af spillet mellem ikke min-

dre end seks klimaparametre, nemlig: Aktivitetsniveau og beklædning, som kan variere fra person til person, og lufttemperatur, middelstrålingstemperatur, luftfugtighed og luftfugtighed, som bestemmes af bygning og klimaanlæg.

Vi vil her forenkle problematikken, ved kun at tale om rumtemperaturen, idet vi herved vil forstå gennemsnittet af lufttemperaturen og middelstrålingstemperaturen. Dette er tilladeligt, når luftfugtigheden er lav (< 0,1 m/s). Luftfugtighedens meget beskedne betydning for varmebalancen er allerede omtalt.

Varmebalancen bliver nu afhængig af de tre vigtigste klimaparametre, nemlig:

## 1. Aktivitetsniveauet ( $\Phi$ w/m<sup>2</sup>)

Ved forbrænding af den mad vi har spist, frigives der varme, og da forbrændingshastigheden afhænger af, hvad vi bestiller, så vil varmeproduktionen også afhænge af det vi kan kalde vort Aktivitetsniveau. I tabel 1 er anført nogle typiske eksempler.

| Aktivitet          | $\Phi$ (w/m <sup>2</sup> ) |
|--------------------|----------------------------|
| Sovende            | 40                         |
| Liggende           | 45                         |
| Siddende i hvile   | 60                         |
| Stående            | 70                         |
| Gående (3 km/t)    | 120                        |
| Maskinskrivning    | 70                         |
| Rengøring          | 120-200                    |
| Laboratoriearbejde | 100                        |

Tabel 1. Varmeproduktionen i kroppen ved forskellige fysiske aktiviteter.

## 2. Beklædningens varmemodstand ( $m_{clo}$ )

Vi kan ved at varmeisolere kroppen mere eller mindre regulere vores varmetab til omgivelserne. Alene ved at ændre påklædning kan vi tilpasse os omgivelser med temperaturer fra ca. + 30 °C og ned til + 30 °C, ja lavere om det ønskes. Beklædningens isoleringsevne måles i en særlig enhed: clo (1 clo =  $0,155 \frac{m^2C}{w}$ ). Enheden blev defineret

i USA i 1942 og den svarer derfor til isoleringsevnen af en typisk

| Nr. | Beklædning                                                                           | m (clo) |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 1.  | Shorts                                                                               | 0,1     |
| 2.  | Almindelig sygeplejedragt                                                            | 0,5-0,6 |
| 3.  | Sko, sokker, undertøj med korte ben og uden ærmer, bukser og skjorte med lange ærmer | 0,6     |
| 4.  | 3 + jakke                                                                            | 0,8-0,9 |
| 5.  | 3 + kittel                                                                           | 0,9     |
| 6.  | 3 + ulden slåbrok                                                                    | 1,0-1,1 |

Tabel 2. Varmemodstanden for en række typiske beklædninger (1 clo =  $0,155 m^2 C/w$ ).

mandlig kontorbeklædning i USA på dette tidspunkt. I tabel 2 er angivet en række typiske clo-værdier.

## 3. Den resulterende rumtemperatur

hvorved vi her forstår gennemsnittet af lufttemperaturen og af de omgivende fladers middeltemperatur

(middelstrålingstemperaturen).

Ved hjælp af disse tre parametre kan vi noget forenklet, men principielt korrekt, udtrykke betingelsen for at varmebalancen er i orden, ved følgende enkle udtryk, som er analogt til Ohms lov i elektricitetslæren

$$temperaturforskel = \text{varmestrøm} \times \text{varmemodstand} \\ 37 - t_r = \Phi_{tot} \times (0,16 + m_{clo})$$

hvor  $t_r$  = den resulterende rumtemperatur

$\Phi_{tot}$  = personens varmeafgivelse ved stråling konvektion og ledning til omgivelserne (i w/m<sup>2</sup>)

$m_{clo}$  = beklædningens varmemodstand i  $\frac{m^2C}{w}$

37 er den dybe kropstemperatur i °C og 0,16 er summen af

hudens og omgivelsernes varmemodstand i  $\frac{m^2C}{w}$ .

Af dette udtryk fremgår det direkte, at når flere mennesker samtidigt skal opholde sig i de samme omgivelser (altså med den samme  $t_r$ ) så skal den enkelte afpasse sin påklædning efter sit aktivitetsniveau,

således at udtrykket er opfyldt. Sagt med andre ord, selv det mest avancerede klimaanlæg kan kun bestemme venstre side af ligningen. Højre side afhænger alene af den enkelte person.

## Indeklimaet på sengestuen

Netop på sengestuerne er det vigtigt at gøre sig denne varmebalances betydning helt klart. Her færdes nemlig hver eneste dag mennesker med mange forskellige funktioner, og derfor med vidt forskellige aktivitetsniveauer. Alle disse mennesker må folgelig tilpasse deres beklædning til den temperatur, som anlægget er indstillet til at holde. Det er vigtigt, at hver enkelt forstår, at hun eller han ikke kan forvente krav om en ændring af temperaturen opfyldt. Dette ville nemlig bringe mange andre ud af termisk komfort.

På fig. 2 er vist en mere korrekt

sammenhæng mellem de tre parametre. Diagrammet angiver optimale komforttemperaturer for personer med typiske aktivitetsniveauer og beklædninger. Det er optegnet efter P. O. Fangers komfortligning [4] som i 1967 fremkom som det første udtryk, der med relevant hensyntagen til alle de seks nævnte klimaparametre angiver betingelsen for at en person er i termisk komfort – altså i en tilstand hvor han hverken ønsker omgivelserne varmere eller koldere.

Allerede på projektstadiet må man bestemme hvilken temperatur der skal være på sengestuerne. Be-

slutningen vil i de fleste tilfælde være baseret på erfaring og tradition. Efter energikrisen vil der måske indgå økonomiske overvejelser. For hver grad man beslutter at sænke temperaturen, vil man spare 7-8 % på varmebudgettet.

22 °C vil nok være et rimeligt valg, og man kan nu gå ind i diagrammet med de skønnede aktivitetsniveauer og finde de optimale clo-værdier. På fig. 2 er angivet fire typiske eksempler.

Det travle plejepersonale (110 w/m<sup>2</sup>) skal være ganske let påklædt (0,6 clo). Lægenes mere værdige optræden (90 w/m<sup>2</sup>) passer godt til en mere betydningsfuld påklædning på 0,8 clo. Oppegående patienter (70 w/m<sup>2</sup>) skal have en varm slåbrok på, så de kommer op på 1,1 clo. Og endelig skal de sengeliggende patienter have en dyne over sig, som giver dem en clo-værdi på 1,3 clo.

## Dyner

Undersøgelser som laboratoriet har foretaget på en sengestue [5], viser, at den gruppe, som giver anledning til termiske problemer, er de sengeliggende patienter. Det skyldes, at der i Danmark er tradition for, at lave dyner, som er mere egnede til uopvarmede slotte end til moderne hospitaler. I tabel 3 er vist nogle eksempler på lette danske

| Fyldmateriale    | Vægt g<br>fyld + vær | clo-værdi | Komfort tempe-<br>ratur i soverum |
|------------------|----------------------|-----------|-----------------------------------|
| Hvide gåsedun    | 1500                 | 2,5       | 17 °C                             |
| Grå andedun      | 1600                 | 2,6       | 16                                |
| Hvide andedun    | 1550                 | 2,4       | 16                                |
| Dun/fjer         | 1900                 | 2,5       | 17                                |
| Blandingsfjer    | 2500                 | 2,2       | 19                                |
| Langfiber diolen |                      |           |                                   |
| polyester        | 1900                 | 2,3       | 18                                |
| Ukendt syntetisk | 2300                 | 2,1       | 20                                |

Tabel 3. clo-værdier for typiske danske sengedyner, samt den anbefalede soverumtemperatur ved brug af disse. Temperaturerne gælder for sovende personer uden tøj, og med kun hovedet ovenfor dynen.

dyners varmeisoleringssevne, samt på den soverumstemperatur, der ville give termisk komfort ved brug af dynen.

Vi undersøgte også hvilken betydning det har for graden af termisk komfort, at armene flyttes ovenfor dynen. Vi fandt at det svarede til en reduktion af dynens clo-værdi på ca. 35%. Hvis patienten samtidig bøjer benene sker der en yderligere reduktion af clo-værdien. Patienter som kan bevæge arme og ben kan altså tilpasse dynens isoleringsevne til deres behov. Men der er ingen tvivl om, at de ville finde opholdet i sengen behageligere, hvis dynen var lettere, end det sædvanligvis er tilfældet.

Antages det, at den sengeliggende patient i fig. 2 har armene ovenpå dynen – som det ofte vil være tilfældet om dagen – så skal hospitalsdynerne have en isoleringsevne på 1,8-2,0 clo, idet der da også er tænkt på, at patienternes varmeproduktion falder yderligere under sovnen, samt at rumtemperaturen ofte sænkes en grad eller to om natten.

#### Konklusion

Det er med den viden, vi har i dag, og med den teknik som står til rådighed, muligt at skabe et tilfredsstillende indeklima på vores senge-stuer. Når det alligevel ikke altid lykkes, er det fordi de mennesker som lærdes på stuerne, ikke altid forstår, at de skal tilpasse deres beklædning efter deres aktivitetsniveau, de kan ikke forlange temperaturen ændret, da dette ville bringe andre grupper i termisk diskomfort. Det må anbefales at hospi-

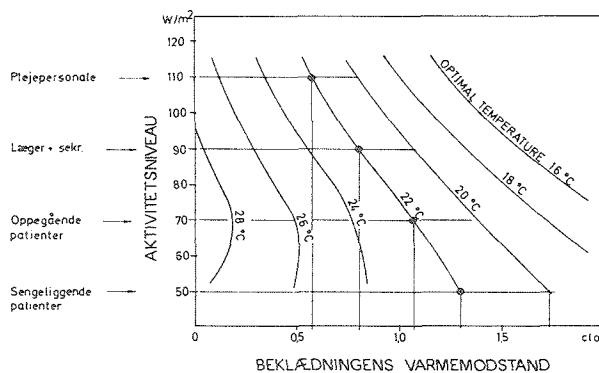


Fig. 2. Den optimale temperatur som funktion af aktivitetsniveau og beklædning, efter [4]. På grund af kroppens bevægelser er luftfugtigheden sat til 0,2 m/s for  $\Phi \leq 60 \text{ w/m}^2$  og stigende til 0,5 m/s for  $\Phi = 120 \text{ w/m}^2$ .

talsdynerne efterhånden udskiftes med lettere modeller med en isoleringsevne på 1,8-2,0 clo. Dette vil forbedre den termiske komfort, særlig hos de patienter, som er for syge til at bevæge arme og ben. For personer som er i termisk komfort er luftfugtighedens størrelse uden significant betydning. Befugtning af ventilationsluften kan derfor ikke anbefales.

Endelig er det vigtigt at slå fast, at alle de i fig. 2 givne kombinationer af temperatur, aktivitet og beklædning er dem, som vil bringe flest mulige i termisk komfort. Men da vi heller ikke i termisk henseende alle er ens, så vil der stadig være nogle fra alle grupper, som må vælge andre clo-værdier end de angivne, for at opnå termisk velvære.

#### Litteraturliste

1. Fanger P. O., Thermal Comfort. Mc Graw-Hill Book Company 1972, New York.
2. Andersen Ib, Lundqvist G., Human Perception of Humidity Under Four Controlled Conditions. Arch. Environ Health/Vol 26, Jan. 1973.
3. Andersen Ib, Lundqvist G., Jensen P. L., and Proctor Donald F., Human Response to 78 Hour Exposure to Dry Air, Arch. Environ Health, Vol 29, 1974.
4. Fanger P. O., Calculation of Thermal comfort. ASHRAE Trans 73, II 1967.
5. Jensen E. Hovgaard, Isoleringsværdi af dynen og tæpper. Tidsskrift for danske sygehuse, sept. 1972.