LABORATORIET FOR VARMEISOLERING
MEDDELELSE NR. 21

Er vort indeklima i orden?

*Af civilingeniør Th. Lund Madsen**

Artiklen giver en oversigt over de faktorer, der bestemmer det termiske indeklima både sommer og vinter. Det påvises, at temperatur og lufthastighed er af fundamental betydning, medens luftfugtighedens indflydelse er mindre end ofte antaget.

For at kunne besvare dette spørgsmål er det nødvendigt at formulere de krav, vi stiller til det mangesidede begreb, som vi kalder indeklimaet, og hvori der – så vidt vi ved i øjeblikket – indgår akustiske, optiske, termiske, atmosfæriske og elektriske faktorer.

Det vil være umuligt at foretage en bare nogenlunde grundig gennemgang af alle disse faktorer i en enkelt artikel. Jeg vil da også begrænse mig til at omtale de faktorer, som bestemmer det termiske klima, idet det er en fundamental forudsætning for almenvelbefindende – og dermed for en nøgtern vurdering af de andre indeklimafaktorer – at det termiske klima er i orden.

Det termiske indeklima

For at forstå, hvilke termiske krav den menneskelige organisme stiller til sine omgivelser, vil vi opstille en varmebalance for en normal person.

Vi ved, at den indre kropstemperatur ligger meget nær 37°C, med mulighed for de udsving, der omfattes af skalaen på et almindeligt lægetermometer. For at opretholde denne temperatur gennem længere tid – op til ca. 100 år – er det nødvendigt, at den energi, der tilføres kroppen, er den samme som den, der afgives fra denne. Eller udtrykt mere præcist:

$$\Phi_M = \pm \Phi_A + \Phi_R + \Phi_F + \Phi_K + \Phi_S \quad (W/m^2 \text{ hudoverflade})$$

hvor

- Φ_M er den indre varmeproduktion (stofskiftet)
- Φ_A er det ydede mekaniske arbejde
- Φ_R er varmetabet ved opvarmning og befugtning af indåndingsluften
- Φ_F er varmetabet ved fordampning fra huden
- Φ_K er varmetabet ved konvektion til den omgivende luft
- Φ_S er varmetabet ved stråling til de omgivende overflader.

Vi vil kort gennemgå de enkelte led i varmebalanceligningen for at belyse, hvorledes de påvirkes af de enkelte termiske indeklimafaktorer.

Φ_M (metabolismen eller stofskiftet) er den varme, som frigøres ved forbrændingen af den indtagne føde. Den kan variere inden for ret vide grænser afhængigt af, hvad vi bestiller. I tabel 1 er angivet Φ_M for en række typiske aktiviteter.

Φ_A (mekanisk arbejde, muskelarbejde) er f. eks. den varme, der udvikles i bremsen på en kondi-cykel. I dette tilfælde er Φ_A positiv; det kan også være negativt, f. eks. ved gang ned ad en bakke; her bliver den potentielle energi omsat til varme i musklerne, vi får altså et tilskud til Φ_M. Φ_A er altid en lille brøkdel af Φ_M, hvilket skyldes, at vor virkningsgrad som kraftmaskine er dårlig, den kan i sjældne tilfælde hos trænede sportsfolk nå op på 20 % eller ca. halvt så meget som den mekaniske virkningsgrad i en god dieselmotor.

Aktivitet	Φ_M W/m²
sovende	45
stillesiddende	60
maskinskrivning	70
stående	80
alm. gang 5 km/h	150
løb 10 km/h	450
rengøring	120–200
alm. tømrer- og murerarbejde	175
jordarbejde	230–280
gymnastik	175–230
dans	140–260
tennis	270

Tabel 1. Varmeproduktion i legemet ved forskellige typiske aktiviteter.

Φ_R er den varme, der medgår til at opvarme indåndingsluften til 37°C og befugte den til et vanddamptryk på ca. 60 mbar. Den afhænger følgelig af den omgivende lufts temperatur og fugtighed samt af den indåndede luftmængde, som er nogenlunde proportional med Φ_M.

Φ_F består af to dele, nemlig for det første den varme, som medgår til fordampning af den gennem huden diffunderende vanddamp. Den afhænger af forskellen mellem de mættede vanddampes tryk ved hudtemperaturen og den omgivende lufts partielle vanddamptryk. Den er af størrelsesordenen 10 W/m². Den anden del af Φ_F er den varme, der medgår til fordampning af sved. Den varierer betydeligt med aktiviteten og med de termiske omgivelser, idet svedens formål netop er at fjerne det varmeoverskud, som fremkommer ved større aktivitet og/eller varme omgivelser. Det er denne effekt, der er årsagen til, at mennesker kan opholde sig i længere tid i omgivelser, der er over 37°C, idet den eneste mulige form for varmeafgivelse da er ved fordampning af væske. I denne situation er det vigtigt, at vanddamptrykket i den omgivende luft er lavt (ørkenklima er behageligere end tropeklima). For personer i termisk komfort stiger svedproduktionen fra 0 i hvile og op til ca. 60 W/m² ved et aktivitetsniveau på 200 W/m². I varme omgivelser kan svedproduktionen blive langt større. (Man må huske, at hensigten med sveden er, at den skal fordampe; den sved man tørrer af panden opfylder således ikke sit formål).

Φ_K og Φ_S udgør tilsammen den del af Φ_M, som direkte afgives til omgivelserne som varme. Det er følgelig summen af disse, vi ved hjælp af det termiske indeklima skal søge at tilpasse, således at varmebalanceligningen opfyldes uden fysisk ubehag.

Φ_K bestemmes af den omgivende lufts temperatur (t_L) og hastighed (v). For v ≤ 0,1 m/s (termisk konvektion) er overgangsmodstanden m_K mellem hud- eller tøjoverfladen og luften ca. 0,2 m²°C/W, og vi finder

$$\Phi_K \simeq \frac{t_S - t_L}{0{,}2} \ (W/m^2)$$

Bliver lufthastigheden større, falder m_K, og Φ_K bliver større.

Φ_S bestemmes af de omgivende fladers middeltemperatur (t_{mrt}). Idet overgangsmodstanden for stråling er ca. 0,2 m²C/W, fås

$$\Phi_S \simeq \frac{t_S - t_{mrt}}{0{,}2} \ (W/m^2)$$

Ved små lufthastigheder har t_L og t_{mrt} altså lige stor betydning for den termiske komfort.

På fig. 2 er vist et diagram, som anskueliggør varmeudvekslingen mellem person og omgivelser. Herudfra er det muligt, når de enkelte led i varmebalanceligningen samt varmemodstandene kendes, at finde t_L og t_{mrt}. Omvendt kan man, hvis disse kendes, finde ud af, om kroppen er i varmebalance med sine omgivelser. Hvis dette ikke er tilfældet, kan man inden for visse grænser ændre m_{hud} enten ved at øge blodgennemstrømningen (vasodilation), m_{hud} mindskes, eller ved at mindske gennemstrømningen (vasokonstriktion), m_{hud} øges. Hvis dette ikke er nok, vil kroppen, hvis Φ_M er for stor, øge svedproduktionen Φ_F. Hvis Φ_M er for lille, vil der opstå ukontrolable kulderystelser, hvorved Φ_M vil øges. Foruden organismens egne reguleringsmuligheder findes der endnu en meget vigtig klimafaktor, nemlig beklædningens varmemodstand (m_{clo}). I tabel 2 er angivet varmemodstanden for en række typiske påklædninger. Isoleringsevnen er angivet i clo (af clothing).

$$1 \text{ clo} = 0{,}155 \text{ m}^2\text{C/W}$$

svarende til en traditionel europæisk herrebeklædning til indendørs brug.

For at få et indtryk af, hvorledes Φ_M fordeler sig på de enkelte led i ligningen, vil vi betragte to typiske eksempler. På fig. 2 a er i diagramform vist varmebalancen for en elev, som sidder i en skoleklasse og regner opgaver, og på fig. 2 b er vist varmebalancen for den samme elev løbende rundt i gymnastiksalen.

ad 2 a. Ifølge tabel 1 er Φ_M = 70 W/m², den indre kropstemperatur er 37°C, Φ_A = 0 og Φ_R = 7 W/m². Gennem hudmodstanden på 0,05 m²C/W skal altså gå 63 W/m². Dette giver en hudtemperatur på

$$t_h = 37 - 63 \cdot 0{,}5 = 34°C$$

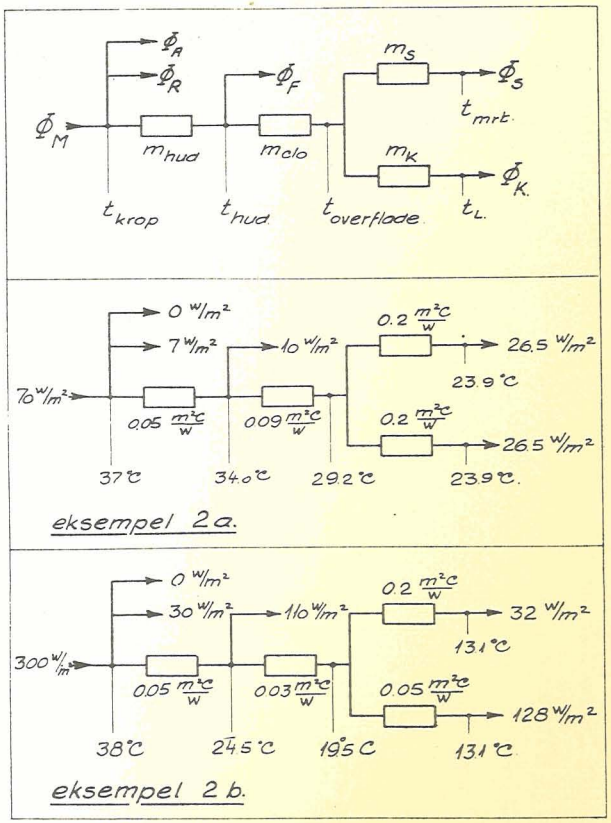


Fig. 2. Diagram af varmeudvekslingen mellem person og omgivelser [4].

Hvis eleven ikke sveder, er $\Phi_F \simeq 10$ W/m². De resterende 53 W/m² skal altså afgives ved stråling og konvektion. Med en beklædning med clo-værdien 0,6 fås en overfladetemperatur

$$t_{overflade} = 34 - 53 \cdot 0{,}6 \cdot 0{,}155 = 29{,}2°C$$

Hvis lufthastigheden er < 0,1 m/s, kan overgangsmodstanden ved stråling og konvektion regnes at være

Påklædning	m_b (clo)
Shorts	0,1
Let sommertøj, lange bukser, skjorte m. opknappet krave og m. korte ærmer	0,5
Let arbejdstøj, korte underbukser, bomuldsskjorte m. opknappet krave, arbejdsbukser og uldsokker	0,6
Let habit	0,7–1,0
Let udendørs sportsbeklædning, undertrøje, korte underbukser, bomuldsskjorte, bukser, sokker, sko og poplinjakke	0,9
Typisk mandlig kontorbeklædning	1,0
Do + cotton coat	1,5
Dansk vinterarbejdsdragt	2,3
Polardragt	3,0–4,0

Tabel 2. Varmemodstanden for en række typiske påklædninger. 1 clo = 0,155 m²C/W.

*) Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks tekniske Højskole.

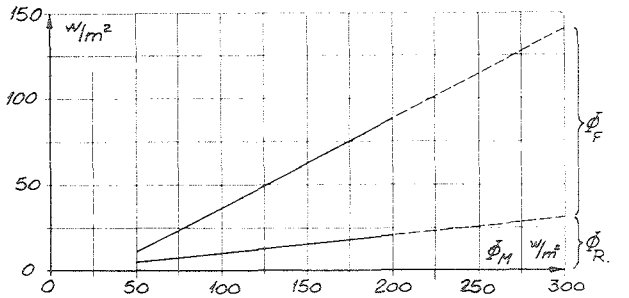


Fig. 1. Varmetabet ved opvarmning og befugtning af indåndingsluften (Φ_L) samt ved fordampning fra hudoverfladen (Φ_v) i afhængighed af aktivitetsniveauet (Φ_M) (gælder kun i komfortområdet).

$m_K = m_S = 0{,}20$ m²C/W. Hvis vi endvidere antager, at t_L og t_{mrt} er lige store, fås

$$t_L = t_{mrt} = 20{,}2 - \frac{53}{2} \cdot 0{,}2 = 23{,}9°C$$

idet Φ_S og Φ_K er lige store og lig med

$$\frac{53}{2} = 26{,}5 \text{ W/m}^2.$$

ad 2 b. Nu løber eleven rundt i gymnastiksalen. På grund af den øgede aktivitet er stofskiftet nu 300 W/m², og den indre kropstemperatur er steget til 38°C. Φ_λ er stadig 0, da der jo ikke udføres noget ydre arbejde. Φ_E findes af fig. 1 til ca. 30 W/m². Regnes der med samme hudmodstand som i 2 a, fås:

$$t_h = 38 - 270 \cdot 0{,}05 = 24{,}5°C$$

Φ_F findes ligeledes af fig. 1 til ca. 110 W/m². De resterende 160 W/m² skal afgives ved stråling + konvektion. Med en clo-værdi på 0,2 bliver middeloverfladetemperaturen:

$$t_{overflade} = 24{,}5 - 160 \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}155 = 19{,}5°C$$

v er nu på grund af løbet 3 m m/s, hvilket medfører, at $m_K = 0{,}05$ m²C/W, m_S er uforandret 0,2 m²C/W. Hvis vi som i 2 a antager, at $t_L = t_{mrt}$, kan vi finde den resulterende overgangsmodstand ved at sammensætte de to parallelle modstande m_K og m_S:

$$\frac{1}{m_r} = \frac{1}{m_K} + \frac{1}{m_S} = \frac{1}{0{,}05} + \frac{1}{0{,}2} = 20 + 5$$

$$m_r = 0{,}04 \text{ m²C/W}$$

$$t_L = t_{mrt} = 19{,}5 - 160 \cdot 0{,}04 = 13{,}1°C$$

$$\Phi_K = \frac{19{,}5 - 13{,}1}{0{,}05} = 128 \text{ W/m²}$$

og $$\Phi_S = \frac{19{,}5 - 13{,}1}{0{,}2} = 32 \text{ W/m²}$$

I dette tilfælde afgives altså 4 gange så megen varme ved konvektion som ved stråling.

Disse beregninger forudsætter stationære forhold, som først opnås efter nogen tids forløb, hvilket skyldes, at der i begyndelsen af perioden med højt aktivitetsniveau akkumuleres varme i kroppen, idet den indre temperatur stiger.

Optimering af det termiske indeklima

Som det fremgår af fig. 2, er der følgende ydre muligheder for at regulere varmebalancen:

Lufttemperaturen (t_L), som har indflydelse på Φ_K.

Lufthastigheden (v), som har indflydelse på m_K og dermed på Φ_K.

t_{mrt}, som har indflydelse på Φ_S.

Beklædningen (m_{cl}), som har indflydelse på både Φ_K og Φ_S, og endelig luftens partielle vanddamptryk, som imidlertid ved de lave aktivitetsniveauer, der normalt kommer på tale inden døre, er af underordnet betydning for det termiske indeklima.

Lufttemperaturen (t_L) er den faktor, som oftest bruges til at etablere termisk komfort. Den er velegnet til dette formål, fordi den hurtigt kan ændres. Det er t_L, der måles med et almindeligt termometer, og langt de fleste termostater er kun følsomme for ændringer i lufttemperaturen – dette er en simpel følge af, at m_K falder med faldende dimensioner, medens m_S er uforandret. Hertil kommer, at folerne ofte er blanke, hvorfor de i modsætning til en person reflekterer en stor del af strålingen (m_S er stor).

Lufthastigheden (v) har meget stor indflydelse på den konvektive varmeafgivelse og dermed på graden af termisk komfort. En forøgelse af v fra 0,1 til 0,4 m/s medfører en halvering af m_K og dermed en fordobling af Φ_K. Til gengæld kan v kun bruges inden for meget snævre grænser, hvis træk skal undgås. Dette skyldes for det første, at det er vanskeligt at opnå en ensartet lufthastighed i hele opholdszonen, og for det andet, at det ikke er ligegyldigt, fra hvilken side en person rammes af luftstrømmen – det er en almen erfaring, at det er behageligere at få en kølig luftstrøm i ansigtet end i nakken. Disse forhold medfører, at graden af termisk komfort for lufthastigheder > 0,1 m/s, bliver afhængig af både stedet og orienteringen i rummet.

Som et typisk eksempel på, hvorledes v kan bruges til at øge varmeafgivelsen til omgivelserne, kan nævnes de store, langsomt gående propeller, man af og til ser ophængt under lofter i restauranter og butikker, og hvis formål er at øge lufthastigheden og dermed varmeafgivelsen ved konvektion.

Middelstrålingstemperaturen er nok den mest upåagtede klimafaktor. Den er vanskelig at måle, og den er også ofte vanskelig at ændre, men som det fremgår af eksemplerne, er den langtfra uden betydning.

Betragter vi f. eks. et rum med store vinduesflader, vil disse flader om vinteren i gråvejr og i mørke have en lav overfladetemperatur, og hvis der ikke findes andre flader med en høj overfladetemperatur – helst som radiatorer under vinduerne – vil vi få en lav t_{mrt}. Denne må kompenseres af en tilsvarende høj t_L, hvis termisk komfort skal opnås. Det samme gælder for et rum med dårligt isolerede yderflader. Det fænomen, der kaldes træk, opfattes næsten altid som ordet angiver, nemlig som en uønsket kold luftstrøm, ofte mod en begrænset del af kroppen. I virkeligheden kan træk lige så godt være en ensidig afkøling af kroppen som følge af for stor varmeafgivelse ved stråling til en kold flade, f. eks. et vindue eller en uisoleret ydervæg. Det kræver særligt måleudstyr at finde ud af, om trækken skyldes stråling eller konvektion. Kroppen kan nemlig ikke adskille de to former for varmeafgivelse. Dette skyldes helt enkelt, at de termoreceptorer, som registrerer ændringer i hudtemperaturen, sidder inde under huden, hvor varmetransporten hverken foregår ved stråling eller konvektion, men ved ledning, og det er denne ledning, der føles, uden hensyn til om ledningen senere ved hud- eller tøjoverfladen går over i stråling eller konvektion.

Beklædningen. Som det fremgår af fig. 2 kan $\Phi_K + \Phi_S$ ændres ved at ændre m_{cl}. Det betyder, at man inden for meget vide grænser kan opnå termisk komfort i de aktuelle omgivelser ved hjælp af en passende påklædning. Det betyder imidlertid også, at man ikke i de samme omgivelser kan opnå termisk komfort for personer med samme aktivitet, men med forskelligt isolerende beklædninger. Hvis vi i eksempel a ændrer beklædningen, så clo-værdien bliver 1,0 i stedet for 0,6, fås en sænkning af komforttemperaturen på 53 · 0,4 · 0,155 = 3,3°C. En nødvendig betingelse, for at flere personer med samme aktivitet skal kunne opnå optimal termisk komfort i de samme omgivelser, er altså, at deres påklædning har nogenlunde samme clo-værdi.

Man bør også lægge mærke til, at jo større clo-værdien er, jo ubehageligere bliver det at ændre aktivitet i de samme omgivelser. Ser vi igen på de to eksempler, finder vi, at hvis a bytter plads med b, men beholder tøjet på, skal temperaturen i gymnastiksalen sænkes (160 · 0,04 = 6,4°C). Hvis b derimod bytter plads med a, skal temperaturen i klassen kun øges med 53 · 0,04 = 2,1°C. Det er en af grundene til, at det er vanskeligere at opnå termisk komfort om vinteren end om sommeren.

Luftfugtigheden er genstand for stor opmærksomhed, når talen er om indeklima. Jeg skal kort gennemgå, hvad man i øjeblikket ved om dens fysiske betydning, dels for det termiske og dels for det atmosfæriske indeklima.

Luftfugtighedens betydning for det termiske indeklima

Luftens partielle vanddamptryk har indflydelse på Φ_K og Φ_L, som indgår i varmebalanceligningen. Denne indflydelse er dog meget beskeden. Antager vi, at vanddamptrykket i varmesæsonen kan variere mellem 6 og 16 mbar (se fig. 3), 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 (jfr. de maksimale temperaturer i henholdsvis sauna (lavt vanddamptryk) og dampbad (højt vanddamptryk)).

Ved pludselige ændringer af den relative luftfugtighed optræder der særlige termiske fænomener, som skyldes absorption eller fordampning af vand fra tøj og 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 overtøjet på. Når man nemlig kommer ude fra en høj relativ luftfugtighed og ind i en lavere RF, vil en del af den vandmængde, som er absorberet i tøjet, fordampe, og den hertil brugte varme vil i en kortere periode helt eller delvis ophæve den ekstra isolering, som overtøjet udgør. Det er ligeledes denne effekt, der var årsag til den betydelige indfugtelse af luftfugtigheden, som angives i visse ældre termiske komfortdiagrammer.

Luftfugtighedens betydning for det atmosfæriske indeklima

De fleste klager over indeklimaet i vinterperioden lyder på, at luften er for tør. Det er dog vanskeligt i litteraturen at finde undersøgelser, der sandsynliggør berettigelsen i 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 indeklima.

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 i moderne huse end i ældre, 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 en *relativ* fugtighed, der er 8–10 % lavere end dengang, og så tror man, luften er for tør.

Med det, man i dag ved, kan man med basis i fysiologisk-hygiejniske undersøgelser af rensningsfunktionen i normale øvre luftveje anbefale, at lavere vanddamptryk end 7,5 mbar svarende til f. eks. 30 % RF ved 21°C helst ikke bør forekomme. Ubehagelige og uheldige ændringer i såvel hudens tilstand

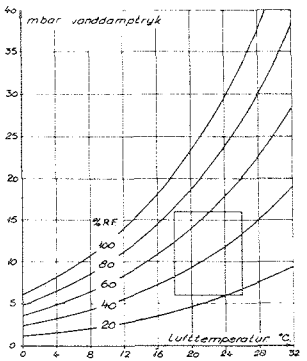


Fig. 3. Luftens partielle vanddamptryk som funktion af luftens temperatur og relative fugtighed

som i de øvrige luftvejes rensningsfunktioner er påvist ved ca. 5 mbar svarende til 20 % RF ved 21°C. På den anden side er der i dag ikke fysiologisk-hygiejnisk baggrund for at anbefale vanddamptryk på mere end 15 mbar svarende til f. eks. 60 % RF ved 21°C [2].

På fig. 4 er vist en sumkurve, der angiver, hvor mange dage om året udeluftens vanddamptryk er under en vis værdi. I praksis vil der tilføres indeluften en vis mængde vanddamp fra personer, planter, husholdning o. s. v. Hvor meget vanddamp, der vil tilføres pr. m³ luft, afhænger af de nævnte aktiviteter samt af luftskiftet. På fig. 4 er vist sumkurver for udeluftens vanddampindhold + 2, 4 og 6 g/m³. Regnes der f. eks. med et beboet volumen på 250 m³ og et luftskifte på 0.5 gange pr. time, fås en tilført friskluftmængde på 250 · 0,5 · 24 = 3000 m³/døgn. Der skal altså i dette hus fordampes 3 l vand/døgn for at

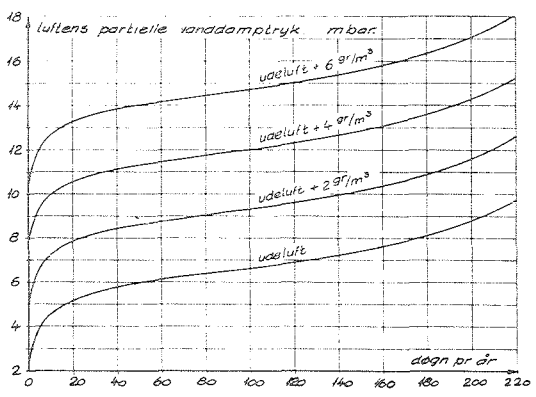


Fig. 4. Sumkurve, der angiver hvor mange døgn pr. år udeluftens partielle vanddamptryk er under en vis værdi, ses her gengivet sammen med tilsvarende sumkurver for udeluften +2, 4 og 6 gvand/m³.

oge luftens vanddampindhold med 1 g/m³.

Man hører ofte den formodning fremsat, at den tørre luft og dermed det dårlige indeklima i mange moderne huse skyldes, at disse er for godt isolerede. Som det fremgår af det her nævnte, har denne formodning ikke rod i virkeligheden. Helt barokt bliver det, når man som kur mod dårligt indeklima anbefaler folk at fjerne det ene lag glas i vinduerne. Herved vil man nemlig forøge den lavere t_{min} få en lavere absolut luftfugtighed, idet ruderne vil dugge og derved fjerne vand fra luften, og så kan selv de bedste vanddampere kun øge fugtigheden i selve vinduesskærmen.

En anden forklaring på det påstående dårlige indeklima lyder på, at nye huse er for tætte – »de kan ikke ånde«, siger man. Hvis det var rigtigt, at husene var tætte, altså at luftskiftet var lille, ville det bevirke, at den vanddampproduktion, som altid foregår i et bebo et hus, ville kunne nå at øge luftens relative fugtighed til et højere niveau end i et tilsvarende, men mere utæt hus. Imidlertid er mange moderne huse ikke særlig tætte. De utraditionelle byggemetoder, facadeelementer, listelofter o. s. v. stiller store krav til både projektering og udførelse. Resultatet er, at fugetabet ofte er betydeligt større end beregnet, med træk, lavt vanddamptryk og øget varmetab til følge.

Det rigtige må være at tilstræbe et helt tæt hus og så indbygge en eller anden form for kontrollerbar friskluftventilation i alle rum, så luftskiftet bliver mindre afhængig af, hvor meget og fra hvilken side, vinden blæser.

Når indeklimaet i mange nye huse ikke altid er så godt, som det kunne være, er grunden nok snarere helt enkelt, at temperaturen er for høj. Dette har nok igen flere årsager, men en af dem er sikkert, at de fleste varmeanlæg er dårligt regulerede. Hvis reguleringen foregår manuelt, vil den, enten det er en selv eller varmemesteren, der foretager den, få en skævhed til den varme side. Dette skyldes igen, at det opfattes som mere ubehageligt at have det for koldt end for varmt. Da belastningen ikke er stationær, vil varmeanlægget blive indstillet, så der aldrig er for koldt, med det resultat, at der næsten altid er for varmt.

Sommerforhold

Indtil omkring 1950 regnede man med, at indeklimaproblemer var noget, der hørte vintertiden til, men med den nye glasarkitektur, alle de nye byggematerialer og vel nok også på grund af vor tids større krav til termisk komfort, har man dem nu hele året rundt. I mange kontorhuse med glasfacader frembyder sommeren uden tvivl langt de alvorligste indeklimaproblemer. Der er særlig to forhold, som hver især giver deres bidrag til de høje indetemperaturer. Det ene, og det er det primære, er de store glasarealer, som bevirker, at rummene tilføres meget store varmemængder fra sol- og himmelstrålingen. Det andet er de lette bygningskonstruktioner, som reducerer muligheden for at få akkumuleret de store varmemængder, der kommer ind gennem vinduerne.

		Transm. solindfald max værdi kcal/h m²	For-sinkelse timer
2 lag glas	kcal	570	0
væg, let	k = 0,44 m²h°C	7	5
væg, let	k = 0,22 –	5	7
væg, tung	k = 0,44 –	5	9
væg, tung	k = 0,22 –	3	10

Tabel 3. Transmitteret solindfald gennem forskellige flader ved samme lufttemperatur ude og inde. Let væg: træskelet med hulmursisolering. Tung væg: dobbelt teglstensvæg med hulmursisolering [3].

Solindfald

At det i praksis kun er vinduerne, der betyder noget for den til rummet transmitterede solstråling, fremgår af tabel 3. Det ses, at der selv gennem 1 m² af den dårligste væg kun kommer ca. 2 % af den solvarme, som passerer gennem en 1 m² alm. dobbeltrude.

For rum med store vinduesarealer vil det derfor være nødvendigt ved hjælp af en eller anden form for solafskærmning at udelukke en del af solstrålingen.

De i dag kendte solafskærmninger kan deles i fire hovedgrupper, nemlig:

udvendige afskærmninger
afskærmninger mellem to eller flere lag glas
indvendige afskærmninger
specialglas eller film på glas.

I tabel 4 er vist effektiviteten af en række typiske afskærmninger. De udvendige solafskærmninger ses at være de bedste. Dette hænger sammen med, at al den varme, som absorberes i afskærmningen, afgives ved stråling og konvektion til omgivelserne uden for rummet. Derfor er farven af underordnet betydning for disse afskærmninger. Indvendige afskærmninger derimod bør være så lyse som muligt, helst hvide, derved vil den størst mulige del af solstrålingen reflekteres som kortbølget stråling tilbage gennem glasset. Den del af strålingen, som ikke reflekteres, vil nemlig afgives til rummet ved langbølget stråling og konvektion. Når producenterne af solafskærmninger angiver disses effektivitet, sammenligner de som regel solindfaldet gennem afskærmningen med den solintensitet, som rammer facaden. Beregnet på denne måde har en alm. dobbeltrude en solafskærmningsfaktor på 0,78. Hvis man derfor vil vide, hvor meget solafskærmningen forbedrer den dobbeltrude, som man allerede har, må man *dividere* den opgivne faktor med 0,78. I tabel 4 *er* afskærmningsfaktorerne beregnet på denne måde, nemlig som forholdet mellem den totale varme, som transmitteres gennem det afskærmede vindue og den totale varme, som transmitteres gennem det samme vindue, når det er forsynet med en alm. dobbeltrude, [3].

Udvendig persienne	0,15
Udvendigt gardin	0,20–0,35
Markise	0,25–0,50
Afskærmning mellem 2 lag glas	0,30–0,90
Reflekterende glas	0,30–0,60
Indvendige gardiner	0,50–0,80
Indvendige persienner	0,60–0,80
Absorberende glas	0,60

Tabel 4. Afskærmningsfaktorer for nogle typiske solafskærmninger. Afskærmningsfaktoren er forholdet mellem den totale varme, der transmitteres gennem det afskærmede vindue og den totale varme, der transmitteres gennem det samme vindue, når det er forsynet med en alm. dobbeltrude, og der er samme temperatur ude og inde [3].

Betydningen af rummets varmekapacitet

Når det gælder varmepåvirkninger af rummet indefra, f. eks. fra solstråling, som er kommet ind gennem vinduerne, er bygningens varmeakkumulerende egenskaber af afgørende betydning for det termiske indeklima. På fig. 5 er vist temperaturforløbet for et tungt og et let rum udsat for de samme ydre påvirkninger. De daglige temperatursvingninger ses at være mere end dobbelt så store i det lette som i det tunge rum. Hvis den store varmetilførsel skyldes solindfald, vil den komme i perioder, og der bliver følgelig som vist på fig. 5 tale om en indsvingningstid, der kan variere fra 3 døgn ved en let konstruktion med kraftig ventilation (6 gange luftskifte pr. time) og op til flere uger ved en tung konstruktion med svag ventilation (1 gang luftskifte pr. time). Det er vigtigt, at ventilationsanlægget kører hele døgnet rundt i varme perioder, derved opnås den størst mulige nedkøling af rummene i nattetimerne, så næste dags opvarmning kan starte på så lavt niveau som muligt. Det er ligeledes meget vigtigt, at solafskærmningerne i syd- og ganske særligt i østvendte rum rulles helt ned, inden værelset forlades om aftenen, ellers kan temperaturen nå ubehagelige højder, inden arbejdstiden begynder næste dag. Dette lyder som selvfølgeligheder, men erfaringen viser, at det ikke altid er det.

Er der forskel på folk i termisk henseende?

Ja, der er, men på en anden led end ofte antaget. 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. Undersøgelser foretaget i U. S. A. og i Danmark [1] viser imidlertid følgende:

Der er ingen signifikant forskel på den optimale komforttemperatur for kvinder og mænd ved samme aktivitetsniveau og med samme påklædning. Den foran nævnte almindelige antagelse skyldes sikkert, at kvinder ofte er lettere påklædt end mænd ved samme arbejde og følgelig af denne grund ønsker højere temperatur. 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 om sommeren skyldes den lettere bekklædning.

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. 6 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].

Konklusion

Det er med den viden, vi har i dag, og med den teknik, der står til rådighed, muligt at skabe et tilfredsstillende termisk indeklima. Når dette alligevel ikke altid lykkes, skyldes det bl. a., at man ikke tager de nødvendige hensyn til den aktivitet og især den beklædning, som er med til at fastlægge den optimale komforttemperatur. Desuden er reguleringen af mange varmeanlæg for dårlig; der savnes en termostat, som tager fornødent hensyn til middelstrålingstemperaturen. Luftfugtigheden er ikke så stort et problem, som den bliver gjort til.

I rum med store glasarealer må det for alle andre end nordlig orientering anbefales at anskaffe en effektiv solafskærmning og bruge den med omtanke. Det er ligeledes af betydning, at et eventuelt ventilationsanlæg udnyttes fuldt ud i de varme perioder. Og så må man iøvrigt gøre sig klart, at det heller ikke, hvad det termiske indeklima angår, er muligt på én gang at gøre alle tilfredse.

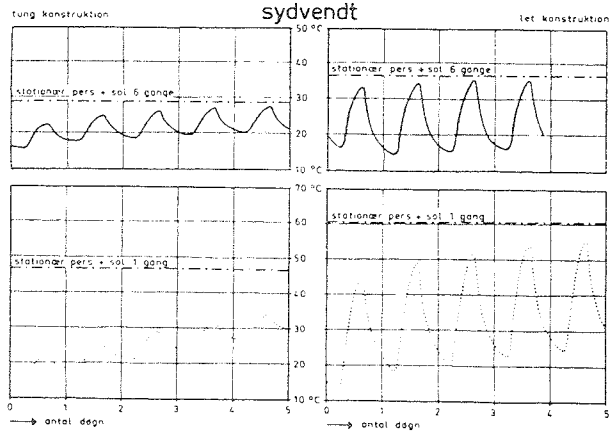


Fig. 5. Lufttemperaturens variation i et sydvendt rum med store solafskærmede vinduer. Udeklimaet er døgnstationært svarende til Ukæ solskinsdage i september [2].

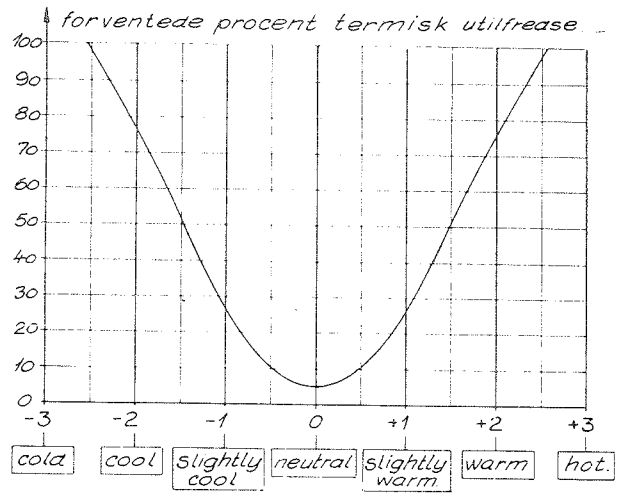


Fig. 6. Forventet procent termisk utilfredse som funktion af ASHRAE's psyko-fysiologiske komfortskala [1].

Litteraturliste:

[1] Thermal Comfort. P. O. Fanger. Teknisk Forlag. København 1970.

[2] Termisk og atmosfærisk indeklima. Polyteknisk Forlag 1970.

[3] Nordisk Indeklimasymposium, nov. 1970. Resumé af foredrag.

[4] Bolgens klima. Vi Korsgaard. Varme, august 1970.