



Forblad

Menneskets krav til indendørsklimaet

Vagn Korsgaard

Tidsskrifter

Arkitekten 1964

1964



Man har i en årrække diskuteret begrebet dårligt klima på arbejdspladsen. Nu har en nærmere undersøgelse af de store glashuse vist, at det er noget, der skal tages bogstaveligt.

BO BOJESEN I POLITIKEN

Menneskets krav til indendørsklimaet

Af civilingeniør Vagn Korsgaard

Nutidens byggeri er en meget differentieret og kompliceret affære, ikke mindst når det gælder moderne glashuse, der i de senere år er kommet på mode til alle former for offentligt byggeri, fra hospitaler til skoler, hoteller og kontorhuse.

Denne byggeform må imidlertid efter min opfattelse stort set i sin hidtidige form betegnes som uegnet til de nævnte formål. Det er derfor noget af et paradoks, hvordan det i et moderne samfund, hvor bestræbelserne indenfor alle områder er rettet imod at gøre alting mere rationelt, er muligt at bygge i rumklimatisk henseende så irrationelle huse som glashuse til ophold for arbejdende mennesker.

Dette hænger vel i høj grad sammen med, at et hus, specielt en offentlig bygning, foruden at skulle tjene ganske prosaiske formål f. eks. at være en skole, også skal være det skulpturelle udtryk for den kunstart, vi kalder for arkitektur. Dette har vel altid været tilfældet og kan vel næppe ændres, men jeg kan dog ikke lade være med som tekniker og især som skatteborger at udtale et spagfærdigt ønske om, at de offentlige bygherrer indskærper arkitekterne, at den kapital, der investeres i hans kunstværk, er så stor, at det er af væsentlig betydning for samfundet, at kunstværket lykkes i hvert fald i brugsmæssig henseende og helst også i kunstnerisk henseende, da det jo ikke kan stilles i kælderen eller på loftet, som man kan med en mislykket skulptur eller et maleri.

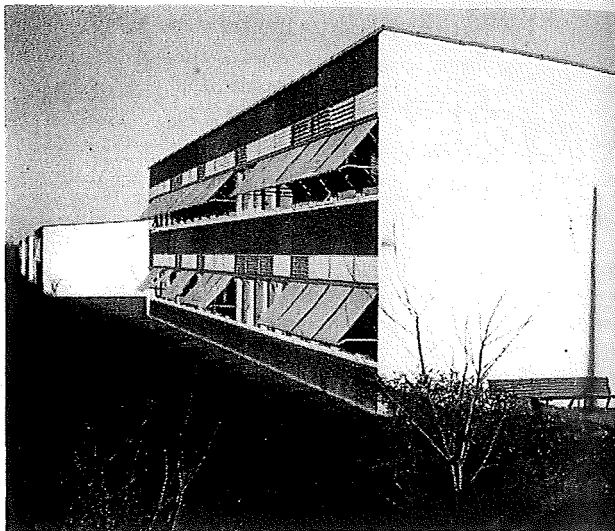
I denne forbindelse vil jeg tillade mig at fremsætte et utopisk forslag, som, tror jeg, ville kunne medvirke til at løse nogle af de klimaproblemer, som opstår i moderne byggeri. Forslaget går i korthed ud på, at bygherren forpligter sig til at bekoste udførelsen af en model af det hus, arkitekten ville have bygget, såfremt hans kunstneriske ønsker havde forrang fremfor brugsmæssige, tekniske og økonomiske synspunkter. Bygherren skulle lade denne model opstille på en fremtrædende plads i det hus, som arkitekten til gengæld skulle forpligte sig til at udforme efter det princip, at kunstneriske ønsker skulle vige for brugsmæssige, tekniske og økonomiske synspunkter, der hvor de kommer i modstrid med hverandre.

Problemerne ved moderne byggeteknik optræder i særlig grad, når facaderne udformes som „curtain-walls“ med store vinduesarealer.

Langt det største problem i relation til rumklimaet er det store solvarmeindfald igennem vinduerne forår og efterår og om vinteren kuldepåvirkningerne fra vinduerne. Hertil kommer, at curtain-wall'ens konstruktive udformning ofte medfører, at der opstår kraftige kuldebroer, som giver anledning til kondensproblemer. Curtain wall'ens mange komplicerede fuger medfører også tæthedsproblemer, især overfor slagregn, ligesom den også giver anledning til lyd-isoleringsproblemer. De to sidstnævnte forhold skal jeg dog ikke komme nærmere ind på i denne artikel.



Solafskærmning er nødvendig – og den kommer.



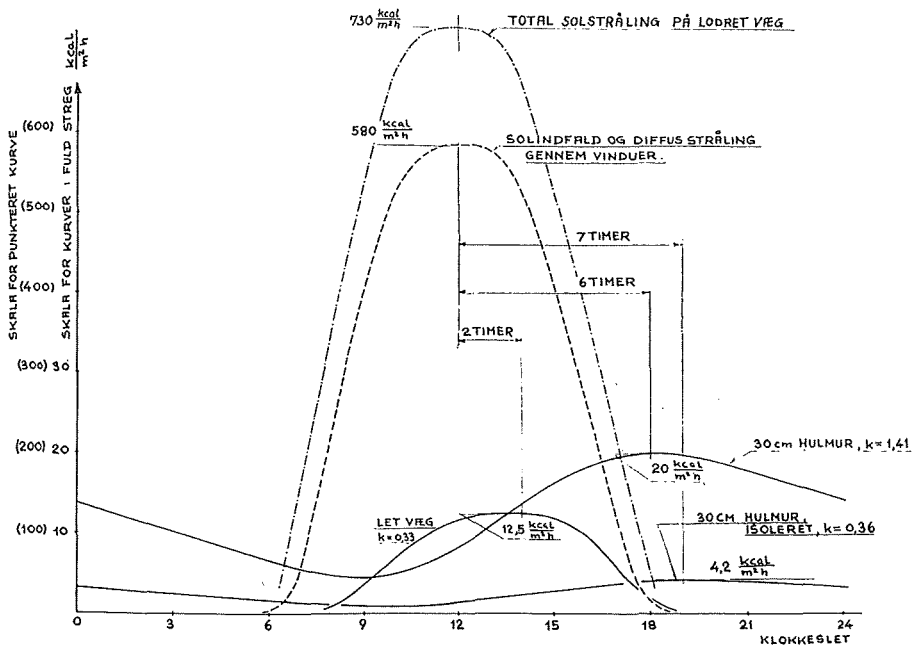
Solafskærmning med markiser og jalousier.

Solindfald

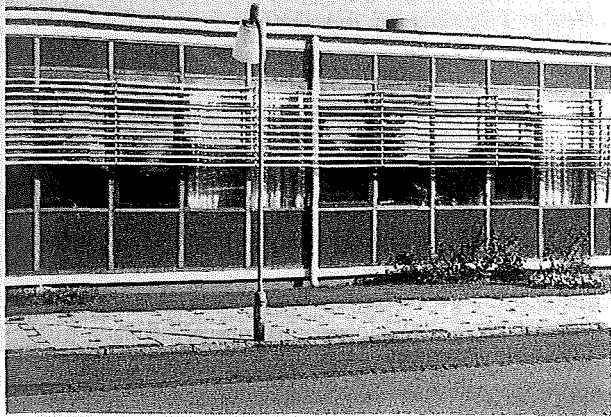
For at give et begreb om størrelsen af de varmemængder, som solen kan tilføre en bygning, er der på figur 1 tegnet en kurve, som angiver tidsforløbet af solintensiteten mod en sydfacade i København i klart vejr ved forårsjævndøgn. Maximalværdien indtræder (naturligvis) kl. ca. 12 og andrager som vist $730 \text{ kcal/m}^2\text{h}$. En betydelig del af denne solstråling vil, som vist, trænge igennem et vindue med to lag glas. Maximalværdien andrager $580 \text{ kcal/m}^2\text{h}$ og indtræder også kl. ca. 12. På figuren er ligeledes vist, hvor stor en del af solvarmen der trænger igennem den ugenomsigtige del af facaden. Består denne af 10 cm mineraluld imellem to tynde beklædningsplader (let væg) andrager maximalværdien $12,5 \text{ kcal/m}^2\text{h}$ og indtræder med 2 timers forsinkelse. For en almindelig uisoleret 30 cm

hulmur andrager maximalværdien $20 \text{ kcal/m}^2\text{h}$ og indtræder med 6 timers forsinkelse. Udfyldes hulrummet med mineraluld, bliver maximalværdien $4,2 \text{ kcal/m}^2\text{h}$ og forsinkelsen 7 timer. Det vil heraf fremgå, at en betydelig reduktion af solvarmeindfaldet kan opnås ved at erstatte så meget som muligt af vinduesarealet med lette, velisolerede udfyldningselementer, hvis udvendige beklædning udmærket kan være glas. Til vurdering af de anførte varmemængders størrelse kan nævnes, at varmetabet i gråvejrgennem et dobbelt vindue ved 0°C ude og 20°C inde er $60 \text{ kcal/m}^2\text{h}$, og opholder man sig bagved et uafskærmet vindue er varmpåvirkningen ligeså stor som fra en 100°C varm radiator.

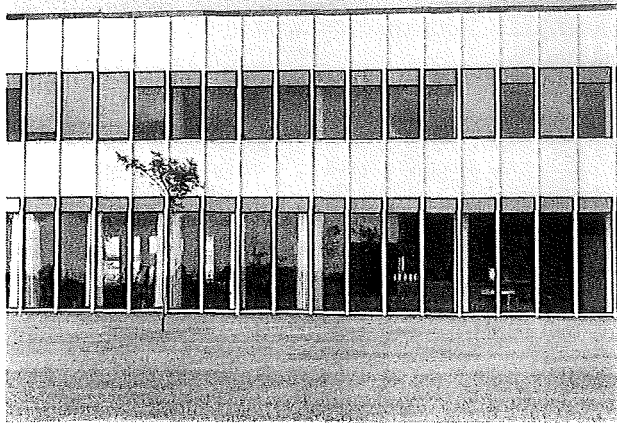
Det fremføres undertiden, at en væsentlig årsag til den overopvarmning, som solindfaldet i moderne



1, solvarme gennem vægge og vinduer.



En solafskærmning kan udformes på mange måder.



Solafskærmningen er indbygget i facaden.

huse giver anledning til, skyldes, at husene er for kraftigt varmeisolerede. Det forkerte i denne påstand indses let ved at betragte kurverne på figur 1, idet det heraf fremgår, at der i det tidsrum, hvori solen skinner, tilføres mere varme igennem den uisolerede hulmur end gennem såvel den isolerede hulmur som gennem den lette væg. Iøvrigt er disse varmemængder så små, at de er uden betydning sammenlignet med solindfaldet gennem vinduet.

Mulighederne for nedsættelse af solindfaldet igennem vinduerne er mange. Nogle er mere effektive end andre. De mest trivielle er ofte de mest effektive, f. eks. at gøre vinduerne mindre eller orientere dem mod nord.

Andre muligheder er følgende:

Indvendige afskærmninger:

Gardiner	} lyse mest effektive
Persienner	
Rullegardiner	

Varmeabsorberende glas som yderste rude i dobbelte vindue.

Afskærmning mellem to lag glas, persienne eller rullegardin, ventileres mellemrummet til det fri, forøges effektiviteten stærkt.

Varmereflekterende glas.

Varmeabsorberende glas med selectiv reflekterende overflade. Denne nye type glas er selv som enkel rude ret effektiv.

Udvendige afskærmninger:

Persienner
Jalousier
Markiser
Baldakiner

Effektiviteten af afskærmningerne vil stort set være jævnt voksende i den angivne rækkefølge, blot må man gøre sig klart, at de fleste afskærmninger vil reducere lysmængden i samme grad som varmeindfaldet.

Herover er vist nogle kendte „glashuse“ med og uden solafskærmning. Med hensyn til de forskellige solafskærmningers indflydelse på facadearkitekturen taler billederne for sig selv.

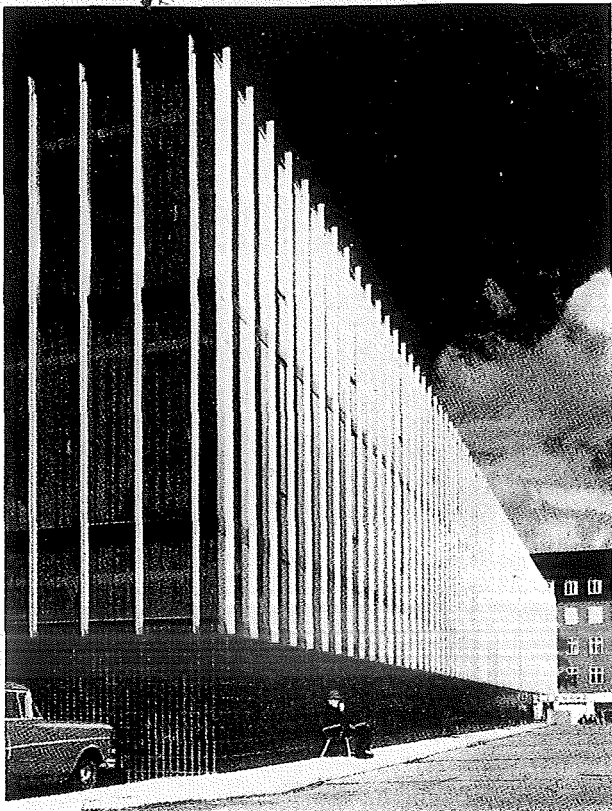
Kuldepåvirkninger

Heldigvis skinner solen jo ikke altid her til lands. Det hænder endda regelmæssigt, at vi om vinteren har ret lange gråvejrperioder med frostvejr og blæst. I sådanne perioder er det ikke særligt behageligt at have fast arbejdsplads i nærheden af en ydervæg, der i hovedsagen består af to lag glas indsat i metalrammer. Dette hænger som bekendt sammen med, at to lag glas og metalsprosser ikke varmeisolerer særligt godt, og indersiden har derfor en lav temperatur, som dels bevirker en kraftig ensidig afkøling ved stråling for personer, der opholder sig i nærheden af vinduet, dels bevirker at luften, der er i berøring med glasset, afkøles og synker ned og derved giver anledning til træk og fodkulde. Nævnte ulemper kan der bødes en del på ved at udforme opvarmningsanlægget under hensyn hertil, men det vil altid koste ekstra kalorier.

Kuldebroer

Ved kuldebroer forstås som bekendt konstruktionsdele, som bryder igennem en facade, og som er betydeligt bedre varmeledende end den omliggende del af facaden. En kuldebro er således et relativt fænomen. Ved et almindeligt trævindue i en traditionel ydermur kan glasset betragtes som en kuldebro. I en moderne curtain wall er det ikke glasset, men eventuelle gennemgående metalsprosser der er kuldebroer.

Kuldebroer er uheldige i flere henseender. For det første giver de anledning til et forøget varmetab, som i særlige tilfælde kan blive af betydelig størrelse. For det andet medfører de en uensartet indvendig overfladetemperatur, som bevirker misfarvning på grund af større støvafsætninger på de kolde partier. Ved



El-opvarmning af sprosserne overvejes for at undgå dugdannelsen.

særlig kraftige kuldebroer, som ofte forekommer ved curtain walls, kan den indvendige overfladetemperatur blive så lav, at der sker kondensation.

På figur 2 er vist et vandret snit i et brystnings-element i en curtain wall, der er benyttet til et stort provinsygehus. Sprosserne er hule aluminiumprofiler. Udfyldningselementerne består af polystyrenskum armeret med et honeycomb gitter af papir, pålimet en aluminiumplade på hver side. Langs randen er aluminiumpladerne forbundet med en tynd aluminiumfolie, som skal forhindre vanddampe i at trænge ind i isoleringen og kondensere der. Udfyldningselementet uden aluminiumfolie langs randen har en k-værdi på ca. 1,0. Indsættes elementet i aluminiumsprosserne, finder der en slags kortslutning sted varmemæssig set mellem de to beklædningsplader via sprossen, selvom den direkte metalliske kontakt mellem sprosser og plader er afbrudt af en 3 mm tyk fugemasse. Dette bevirker, at „k-værdien“ vokser til ca. 2,1, hvilket betyder, at varmetabet på grund af aluminiumsprosserne mere end fordobles. Den færdige curtain wall's gennemsnitlige „k-værdi“ ville ikke blive mærkbar bedre, selvom aluminiumfolien langs udfyldningselementernes rand blev fjernet.

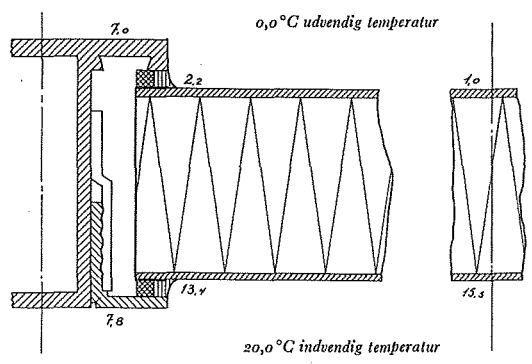
På figur 3 er vist et snit i en dobbelt rude indsat i et bronzeprofil, som er tænkt anvendt til et nyt rådhus i provinsen. Temperaturen på profilet inderside bliver så lav, at man må forvente dugdannelse i 190 dage om året, når rumluften som planlagt konditio-

neres til 22°C og 50 relativ fugtighed svarende til et damptryk på 10 mm Hg, hvilket efter fysiologers mening skulle være den nedre fugtighedsgrænse for undgåelse af udtørring af næseslimhinderne, som medfører, at fimrehårenes bevægelse hæmmes med deraf følgende forøget modtagelighed for luftvejsinfektion. Ved udvendige temperaturer lavere end -7°C vil duggen fryse til is. Dette var iøvrigt tilfældet i en længere periode sidste vinter på sygestuerne i det før nævnte provinsygehus.

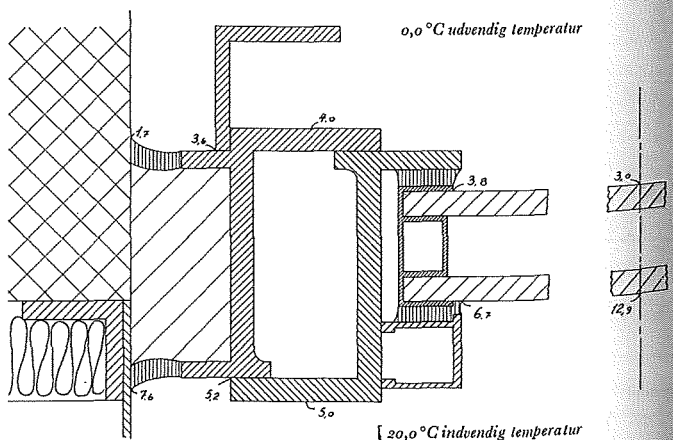
For at undgå fugtgenerne fra kuldebroerne må disse svækkes betydeligt enten ved at bruge andre materialer end metal eller ved at isolere dem, selvom dette medfører betydelige tekniske komplikationer og forringer de æstetiske muligheder, som rene metalprofiler indebærer. En anden mulighed er at unnlade kunstig befugtning af rumluften, hvilket dog ud fra fysiologiske betragtninger næppe bør tilrådes.

Menneskets varmebalance - det termiske rumklima

Det er en kendt sag, at den varmeproduktion pr. tidsenhed, som finder sted i et menneske, hænger nøje sammen med intensiteten af det muskelarbejde, som udføres. For at en konstant legemstemperatur på 37°C skal kunne opretholdes, er det nødvendigt, at denne varmeproduktion kan afgives til omgivelserne.



2, kuldebro. Snit i aluminiumsprofil til brystningsparti. K-værdi for udfyldningselement 1,0 Kcal/m²h°C. K-værdi for brystningsparti 2,1 Kcal/m²h°C.



3, kuldebro. Snit i bronzeprofil til oplukkeligt vindue. K-værdi for glasareal 3,1 Kcal/m²h°C. K-værdi for vinduesparti 5,3 Kcal/m²h°C.

Varmeafgivelsen finder sted som fri og bunden varme. Fordelingen imellem disse to former afhænger især af rumtemperaturen og i nogen grad af luftfugtigheden. Den bundne varme er den, der afgives i form af vanddamp gennem udåndingsluften og fra huden. Den fri varme afgives ved konvektion (luftbårne kalorier) og ved varmestråling og en mindre del ved ledning til det man står, sidder eller ligger på evt. holder ved.

For en voksen person, der vejer 70 kg og udfører stillesiddende arbejde, er varmeproduktionen ca. 100 kcal pr. time. Indenfor behagelighedsområdet afgives heraf ca. 25 kcal som bunden varme resten ved konvektion, stråling og ledning. Da en voksen persons varmekapacitet er ca. 60 kcal pr. grad, vil den gennemsnitlige legemstemperatur ændre sig med $0,1^{\circ}\text{C}$ i timen for hver 6 kcal pr. time varmeproduktionen over- eller underskrides varmeafgivelsen.

Til at holde varmeafgivelsen lig med varmeproduktionen er legemet udrustet med en kompliceret reguleringsmekanisme, som i grove træk består af en perifer eller vasomotorisk og en central eller kemisk regulering. Indenfor behagelighedsområdet klarer den vasomotoriske regulering opgaven. Overskrides dette område, træder den kemiske regulering i funktion, der ytrer sig ved kulderystelser eller forøget svedsekretion.

Den vasomotoriske regulering består i ændringer af blodtilstrømningen til huden, og hvis dette ikke slår til så til ekstremiteterne, kolde eller varme hænder og fødder. Især kan blodtilstrømningen til hænderne ændres, indtil flere hundrede gange. Dette er dog ikke ensbetydende med, at varmeafgivelsen kan ændres tilsvarende.

Varmeafgivelsen ved konvektion fra en overflade, enten denne er levende hud eller dødt stof, følger en af Newton påvist lovmæssighed, der siger, at varmeafgivelsen er proportional med temperaturforskellen mellem overfladen og luften og med arealet. Proportionalitetsfaktoren er afhængig af luft hastigheden forbi overfladen. En 70 kg's mand i almindelig påklædning vil have en samlet tøj- eller hudoverflade i fri berøring med luften på ca. $2,0\text{ m}^2$ og en middeltemperatur på ca. 26°C , når han står op. Er luften 20°C , og står manden stille i et almindeligt opholdsrum, vil proportionalitetsfaktoren have værdien 3,0, og den samlede konventionsvarmeafgivelse bliver følgende $2 \cdot 6 \cdot 3 = 36$ kcal pr. time.

For at manden skal holde sin legemstemperatur konstant, må resten af varmeproduktionen afgives ved stråling og ledning, hvilket bliver $100 - 25 - 36 = 39$ kcal/h. Da manden står op og må formodes at have sko og strømper på, vil varmeafgivelsen ved ledning være forsvindende. Det er nu muligt at beregne, hvilken middeltemperatur rummets begrænsningsflader skal have, for at manden skal kunne afgive 39 kcal pr. time ved stråling, men forinden må vi se lidt på de lovmæssigheder, der gælder for varmestråling.

Den i denne forbindelse vigtigste strålingslov blev opstillet omkring 1880 af Stefan og Boltzmann. Loven

siger, at ethvert „sort“ legeme udsender varmeenergi ved stråling til omgivelserne i en mængde, der er proportional med overfladens størrelse og dets absolute temperatur i fjerde potens. Når der ikke er tale om synlig varmestråling, vil de fleste overflader med undtagelse af metaloverflader være næsten „sorte“. Farven spiller således ingen rolle. For disse flader vil proportionalitetsfaktoren have en værdi på ca. $4,7 \cdot 10^{-8}$. Denne værdi gælder også for levende hud.

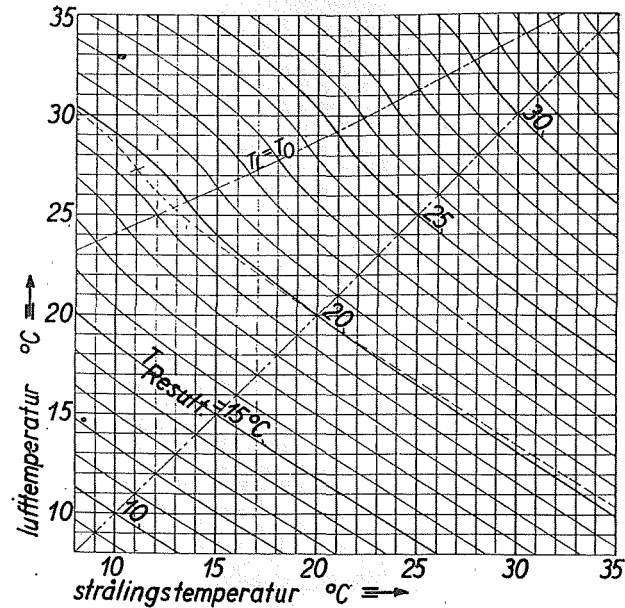
Mandens strålingsoverflade vil være ca. $1,3\text{ m}^2$ altså mindre end konvektionsoverfladen, idet de dele af overfladen ikke må medregnes, som kan „se“ andre dele af overfladen, f. eks. indersiden af arme og ben. Manden afgiver således følgende varmemængde ved stråling $4,7 \cdot 10^{-8} (273 + 26)^4 \cdot 1,3 = 486$ kcal pr. time. Da vi altid er omgivet af mere eller mindre faste overflader, som jo også udsender varmestråling, modtager manden herfra en varmemængde, som i det simple tilfælde, hvor omgivelserne har ensartet temperatur og er næsten „sorte“, er produktet af denne temperatur i fjerde potens og 4,7 samt mandens og ikke omgivelsernes areal. I vort tilfælde skulle vi finde den temperatur af omgivelserne, som ville tillade en nettovarmeafgivelse ved stråling fra manden på 39 kcal pr. time, hvilken temperatur t således bestemmes af ligningen $486 - 4,7 \cdot 10^{-8} \cdot (273 + t)^4 \cdot 1,3 = 39$, hvoraf findes $t = 19,5^{\circ}\text{C}$.

Har rummets begrænsningsflader ikke samme temperatur, bliver beregningerne lidt mere komplicerede, idet den vægt, hvormed de enkelte fladers temperatur indgår, då må afvejes efter den rumvinkel, hvorunder fladen ses fra manden.

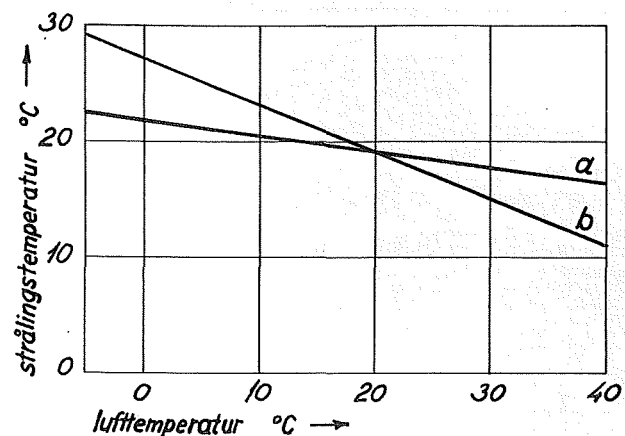
I det foreliggende tilfælde bliver således 52 pct. af den fri varme afgivet ved konvektion og 48 pct. ved stråling.

Man hører og ser jævnligt angivet, at mennesket afgiver så og så mange procent af sin varmeproduktion ved stråling og så og så mange ved konvektion, som om det var universelle konstanter. Af det foregående fremgår klart, at dette ikke kan være tilfældet. Fordelingen afhænger af forholdet mellem de effektive stråling- og konvektionsarealer, der igen afhænger af mandens facon, lille og tyk eller høj og tynd, og især af hvilken stilling han indtager, om han står, ligger eller sidder. I sidste tilfælde om det er en Svane-stol, en Y-stol eller en teaterstol han sidder i. Temperaturerne spiller også en stor rolle. Tænker man sig f. eks., at lufttemperaturen er lig med mandens middeloverfladetemperatur, må omgivelsernes temperatur være så lav, at han kan komme af med hele sin frie varmeproduktion ved stråling. Er omgivelsernes temperatur lig med mandens middeloverfladetemperatur, må lufttemperaturen være så lav, at han kan komme af med hele sin frie varmeproduktion ved konvektion.

Fra gammel tid er vi vant til som mål for et rums opvarmningstilstand at angive en temperatur målt med et almindeligt stuetermometer, som regel hængende på væggen i øjenhøjde. Erfaringsmæssigt havde man så et vist indtryk af, hvorledes det rent behagelighedsmæssigt ville være at opholde sig længere



4. diagram for den resulterende temperatur (Nielsen og Pedersen).



5. diagram for den resulterende temperatur: a. ved stillestående luft, b. ved lufthastighed 9 cm/sek.

Om Ventilation,

et Foredrag for Damer og Herrer
i Frederiksforeningen,
af G. F. L. Krarup-Hansen,
Overlærer.
(Trykt i „Fredericia Avis“).

Jeg er bleven opfordret til at holde et naturvidenskabeligt Foredrag for Dem, helst noget Nytt med Experimenter. Jeg skal nu se at efterkomme denne Opfordring. Som noget af det interessanteste og vigtigste Nye anser jeg Ventilationen. Ventilation er jo egenlig blot Udluftning; men det, som her er Tale om, er Udluftning i Forbindelse med Opvarmning efter et Princip, som stemmer med Naturlovene. Den Naturlov, som her især kommer i Betragtning,

tid i rummet, når termometret viste en eller anden temperatur, og hvor de luneste pladser var. I tidens løb er der opstillet adskillige mere præcist definerede temperaturangivelser som mål for behageligheden ved ophold i rum, som tager hensyn både til strålingstemperatur, lufttemperatur og -hastighed m. v. På forhånd er en sådan enkelt resulterende temperaturangivelse dog dømt til at mislykkes, idet temperaturskalaen må blive forskellig for en person, der sidder og læser i en øreklapstol med benene på en skammel og for en person, der sidder på en pind og spiller bridge.

På figur 4 er vist et diagram, efter hvilket man kan sammensætte luft- og strålingstemperatur til en resulterende temperatur med gyldighed for en bestemt person. På figur 5 er vist et tilsvarende diagram uden nærmere angivelse af gyldighedsområde, så vidt jeg kan skønne, må det nærmest gælde for en sengeleggende person.

Det fremføres undertiden, at mennesket rent behagelighedsmæssigt skulle foretrække at afgive sin varmeproduktion ved stråling fremfor ved konvektion. Mig bekendt foreligger der ingen videnskabelige undersøgelser, der bekræfter denne påstand. I øvrigt afgiver vi jo, som vist ovenfor, altid ca. 486 kcal. pr. time ved stråling. Det, der varierer, er den mængde varmestråling, vi modtager fra omgivelserne. I givne termiske omgivelser er menneskets muligheder for selv at bestemme hvor stor en del af dets varmeproduktion, der skal afgives ved stråling henholdsvis konvektion, indskrænket til det, der kan opnås ved de ret små ændringer af det effektive strålingsareal, som kan opnås ved at man krummer sig sammen eller retter sig op. En mulig forklaring på, at det skulle være behageligere at afgive sin varmeproduktion ved stråling fremfor ved konvektion, (hvis det er dette, der skal forstås ved, at mennesket foretrækker at afgive den ved stråling), hænger måske sammen med fænomenet træk, som vi alle kender, og som vel kan defineres som en ensidig kraftig afkøling af en begrænset del af legemet, specielt anklerne og nakken, med en så stor intensitet, at det føles ubehageligt. For samme afkølingsintensitet vil ubehagførmelsen utvivlsomt være den samme, uanset om der er tale om „konvektionstræk“ eller „stråletræk“. For konvektionstrækkens vedkommende under den forudsætning, at lufthastigheden ikke må være så stor, at luftens dynamiske tryk mod huden eller hårene virker generende.

Middelafkølingsintensiteten for den førnævnte mand andrager $\frac{75}{1,8} = 42$ kcal/m²h henført til den nøgne overflade. Hændernes areal udgør ca. 5 pct. af denne overflade eller ca. 0,1 m², og deres temperatur i behagelighedsområdet vil være ca. 32°C. Holdes hænderne stille, og er luftens og omgivelsernes temperatur 20°C, afgiver hænderne ved konvektion 3,2 kcal og ved stråling 5,4 kcal eller ialt 8,6 kcal svarende til en afkølingsintensitet på 95 kcal/m²h.

Får man det for varmt, mangedobles blodtilstrømningen til hænderne, så disses temperatur forøges til

35° C. Herved forøges varmeafgivelsen til $5,3 + 6,9 = 12,2$ eller med 3,6 kcal/h. Den samme afkøling kan kaloriemæssigt opnås ved at spise en ispind til 50 øre, som dog kan have den uheldige virkning, at den på vej ned igennem svelget påvirker det centrale reguleringssystem, så blodtilstrømningen til huden nedsættes, så den samlede varmeafgivelse nedsættes med flere gange ispindens kuldeindhold.

Får man det for koldt, vil blodtilstrømningen til hænderne nedsættes og dermed deres temperatur, så varmeafgivelsen formindskes tilsvarende. Kaloriemæssigt kunne der være kompenseret for det forøgede varmetab ved at drikke en kop varm the, der dog på tilsvarende måde som ovenfor kan have den uheldige bivirkning, at centralreguleringssystemet påvirkes, så blodtilstrømningen til huden forøges og dermed varmetabet. Når arbejdere i frysehuse har adgang til at drikke varm the, når de har lyst, og gør det med velvære til følge, hænger det formodentlig sammen med, at velværet er betinget af en høj hudtemperatur, og at det dermed forbundne forøgede varmetab på grund af deres kraftigt isolerende påklædning ikke er større end svarende til varmeindholdet i theen.

Når vi får det for varmt, kan det, som forudsat ovenfor, skyldes, at vi forøger vor varmeproduktion ved forøget muskelarbejde, men det kan også skyldes, at omgivelsernes temperatur stiger. Indenfor behagelighedsområdet kan man med god tilnærmelse regne med, at for hver 1° C omgivelsernes temperatur stiger, skal en persons middeloverfladetemperatur forøges med 1° C for at afgive den samme varmemængde. For uændret påklædning betyder det, at middelhudtemperaturen skal forøges med 1° C.

Middelhudtemperaturen for den ovenfor omtalte mand er ca. 33° C og varmeafgivelsen 75 kcal fri varme pr. time ved en resulterende rumtemperatur 20° C eller $\frac{75}{33-20} = 5,8$ kcal pr. grad. Ved forøget på blodtilstrømning til hænder og ansigt kan disses overfladetemperatur forøges 2-3° C, hvorved deres varmeafgivelse vil vokse med ca. 6 kcal pr. time, hvilket betyder, at hænder og ansigt alene højst kan kompensere for en stigning af omgivelsernes temperatur på ca. 1° C. Stiger temperaturen mere, må resten af kroppen nødvendigvis hjælpe med ved at forøge sin overfladetemperatur, eller også må svedkirtlerne træde i funktion, men herved overskrides behagelighedsgrænserne.

Konditioneringsanlæg

Et konditioneringsanlægs primære opgave er at skabe sådanne termiske forhold i de konditionerede rum, at det bliver muligt for de personer, der har deres arbejde i rummene at opretholde varmembalancen, uden at behagelighedsgrænserne overskrides. I de foregående afsnit er belyst, hvilken indflydelse lufttemperaturen og temperaturen af rummets begrænsningsflader har på varmembalancen, og det skulle heraf fremgå, at varmembalancen under nærmere definerede forhold kan opfyldes for kombinationer af forskellige værdier af disse temperaturer, som det f. eks. er ud-

trykt i diagrammet på figur 4 i form af en resulterende rumtemperatur. En selvfølgelig forudsætning er, at det termiske felt, som er retningsbestemt, ikke er for skævt, som det kan være i rum med store vinduesarealer, om vinteren på grund af kuldestråling og om sommeren på grund af solindfald. Skævheden kan også skyldes mange og kraftige belysningsarmaturer.

I kontinuert opvarmede rum med velisolerede ydervægge, moderat vinduesareal og med moderat kunstig belysning vil en behagelig resulterende rumtemperatur kunne opnås med en lufttemperatur, som i normalt vintervejr kun ligger indtil et par grader over begrænsningsfladernes middeltemperatur.

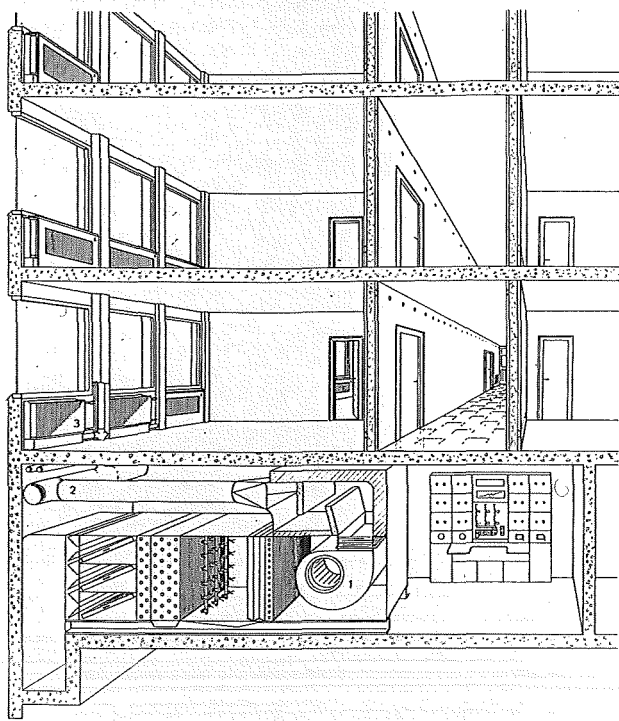
En sådan opvarmningstilstand har man i rum opvarmet med radiatorer eller ved indblæsning af varm luft, såkaldte konvektionsvarmeanlæg.

Ønsker man at opnå den samme opvarmningstilstand ved en lufttemperatur, som er lavere end begrænsningsfladernes temperatur, må såkaldte strålevarmesystemer benyttes f. eks. gulvvarme- eller loftvarmeanlæg. Hvor meget luften bliver koldere end begrænsningsfladerne afhænger især af friskluftskiftet. I vintervejr med et friskluftskifte på et par gange i timen vil temperaturforskellen blive et par grader.

Det termiske felt i et velisoleret rum opvarmet med strålevarme vil normalt være næsten lige så skævt som i et rum opvarmet med konvektionsvarme, så i den henseende frembyder strålevarme ingen fordele. En mulig fordel er den lidt lavere lufttemperatur, som skulle bevirke en mindre kraftig udtørring af næselimhinderne, hvilket uden tvivl er ønskeligt.

Bortset fra det egentlige boligbyggeri, hvor det at skabe et behageligt termisk klima er det primære, idet ventilationen stort set overlades til beboerne, har konditioneringsanlæggene i kontorbyggeriet m. v. også den opgave at sørge for en effektiv men trækfri ventilation. I denne forbindelse er det værd at citere følgende fra et foredrag om ventilation holdt i 1876 i Fredericia af overlærer Krarup-Hansen: „Ventilationens princip er egentlig ikke helt nyt, men det hører til de principper, som må kæmpe sig frem gennem de praktiske vanskeligheder af forskellig art.“ Disse vanskeligheder har ventilationsteknikerne måttet slås med helt frem til i dag og gør det vel stadigvæk, selvom ventilationsteknikken med de i de seneste år udviklede systemer er nået et langt skridt på vejen mod effektiv trækfri ventilation eller luftkonditionering, idet der i dag ikke alene stilles krav om en bestemt mængde friskluft pr. rum, men denne luft skal være filtreret for støv og om vinteren befugtet, så luftfugtigheden får en så høj værdi, at næsens slimhinder ikke udtørres. Desværre giver dette krav til luftfugtigheden, som omtalt under kuldebroer, anledning til betydelige bygnings tekniske vanskeligheder. Når vort kendskab til de luftelektriske forholds fysiologiske betydning er klarlagt, er det muligt, at konditioneringsanlægget også skal sørge for, at denne side af sagen er i orden.

Et moderne luftkonditioneringsanlæg er i princip opbygget som vist på figur 6. Den friske luft forbehandles i et centralanlæg beliggende i kælder eller



6, luftkonditioneringsanlæg.

tagtage. Her filtreres, forvarmes evt. køles, befugtes evt. affugtes luften, inden den af en ventilator igennem en lydsluse blæses ind i kanalsystemet, hvor den med stor hastighed, for at få små kanaldimensioner, fordeles sig ud til indblæsningsaggregaterne i de enkelte rum.

Indblæsningsaggregaterne vil oftest være udformet som kabinetter til opstilling foran vinduesbrystningerne, og arkitekten vil have ret frie hænder til at udforme den ydre skal, så den passer til rummets arkitektur. I denne forbindelse vil jeg ikke undlade igen at citere fra ovennævnte foredrag af Krarup-Hansen, hvor han om ventilationsovne specielt til skolestuer siger: „En hovedbetingelse for skønhed er tilstede, nemlig de lodrette linier. Disse kan man jo fordele efter behag, lade ende som gotiske buer eller med forziringer. Også kan man jo gøre hele kappen hvid og derpå male vaser, fugle, portrætter med smukke indfatninger. Når først princippet bliver rigtig anerkendt, ville kunstnerne jo nok finde på udsmykningen.“

I kabinetterne efterbehandles luften, enten varmes eller køles, inden den gennem et dysesystem blæses ind i rummet og som regel ved ejektorvirkning blandet med rumluft, figur 7. Fordelen ved denne blanding er, at den indblæste lufts temperatur kommer til at ligge nærmere ved rumluftens temperatur, hvorved trækrisikoen formindskes. En luftmængde svarende til den indblæste mængde friskluft udsuges fra rummene evt. via korridorerne og bortkastes til det fri. I modsætning til ældre anlæg benyttes der således ikke returluft, hvilket forenkler kanalsystemet.

I nogle systemer udelades varme- eller kølefladen i kabinetterne, og istedet føres der to rørsystemer frem fra centralanlægget, et med varm og et med kold luft. De to luftstrømme blandes i kabinettet til den ønskede temperatur inden indblæsningen.

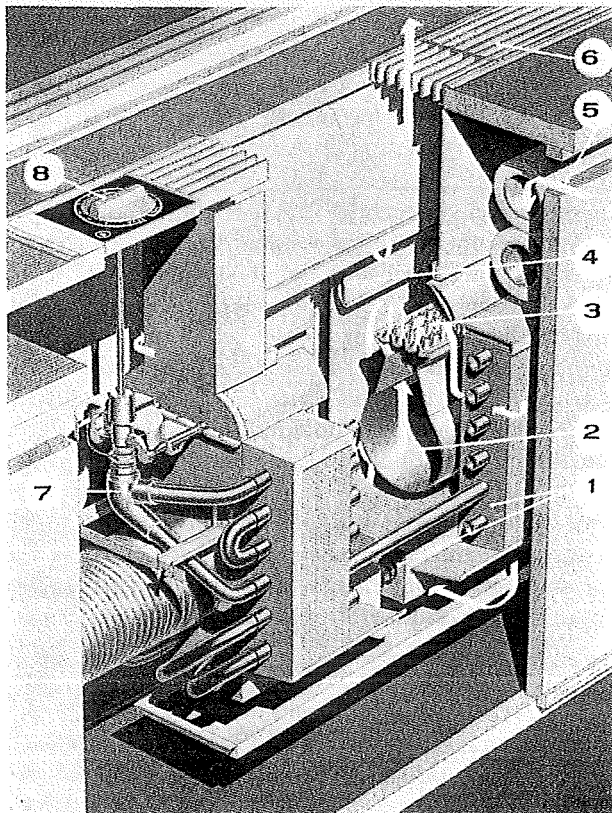
For at et moderne luftkonditioneringsanlæg skal virke tilfredsstillende, er det aldeles nødvendigt, at det er forsynet med et effektivt og driftsikkert automatisk reguleringsanlæg, som skal indreguleres og passes omhyggeligt af faguddannet personale og ikke af en tilfældig vicevært.

Kølelofter

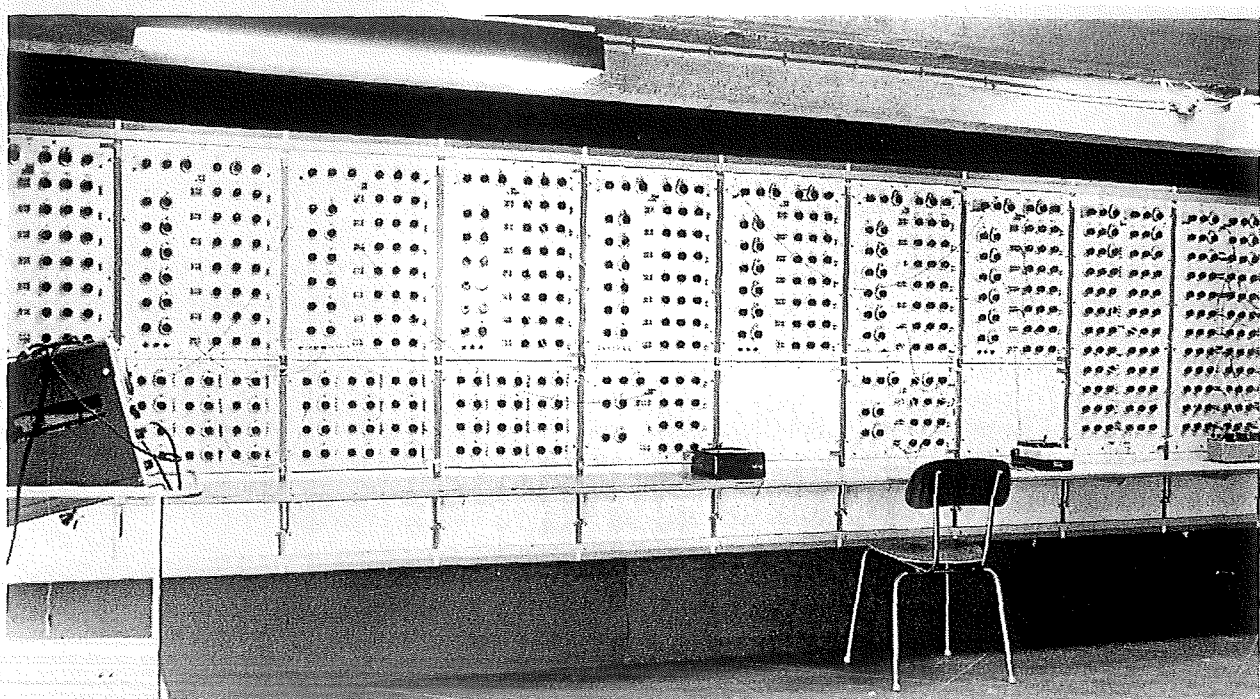
I særlige tilfælde kan det måske være nødvendigt at udbygge et luftkonditioneringsanlæg med såkaldte kølelofter for at skabe tålelige termiske forhold i rummet. Det kan dreje sig om glashuse, hvor vinduesarealet udgør op mod 100 pct. af facaden eller udstillingslokaler med meget store belysningsstyrker fra elektriske belysningslegemer.

Kølelofter er ikke nogen ny foreteelse. Efter sigende skulle de allerede være benyttet i Kong Salomons palads. Det første større anlæg fra nyere tid blev installeret i 1929 i ICI's hus i London. Fra omkring 1938 er der blevet installeret et betydeligt antal i USA.

Køleloftet vil som regel blive udført som et nedhængt underloft, der køles ved at koldt vand cirkuleres igennem et rørsystem i god termisk kontakt med



7, indblæsningskabinet.



El-analogiregnemaskine til forudberegning af det termiske rumklima (Laboratoriet for Varmeisolering, D. T. H.).

loftspladerne eller ved at koldt luft blæses henover det nedhængte loft. Al denne luft eller en del deraf kan blæses igennem huller, spalter eller anemostater ned i rummet og derved benyttes til at ventilere dette.

Det er rumluftens dugpunkt, der sætter grænsen for, hvor koldt loftet må blive, idet der vil fortætte vand på loftet med risiko for dryp, når dets temperatur bliver lavere end dugpunktet. Her til lands vil den ønskede effekt dog sædvanligvis kunne opnås, uden at det er nødvendigt at nærme sig dugpunktet.

Et køleloft vil naturligvis fjerne varme både ved konvektion fra rumluften og ved stråling fra de flader, køleloftet ser. Er køleloftets temperatur 20°C og rumluften 23°C vil loftet fjerne ca. 10 kcal/m^2 pr. time ved konvektion, og er middeltemperaturen af de flader, loftet ser, 25°C , hvilket nogenlunde svarer til temperaturen set fra loftet i en teatersal, vil køleloftet modtage et strålingsoverskud på 20 kcal/m^2 pr. time. I en tæt pakket teatersal vil en enkelt tilskuer afgive ca. 15 kcal pr. time af sin varmeproduktion ved stråling hovedsagelig til loftet. Da den resulterende rumtemperatur med hensyn til tilskueren er ca. 26°C , vil den bundne varmeafgivelse være forøget til 40 kcal og den frie varmeafgivelse bliver derfor kun 60 kcal , hvoraf de 20 blev afgivet ved stråling, resten 40 kcal afgives ved konvektion til luften.

Såfremt der ikke er køleloft, og loftets temperatur derfor er 23°C , skal lufttemperaturen sænkes ca. 1°C for at kompensere herfor. Loftets strålevirkning forøges ikke ved at gøre det bølget, da det kun er loftets tilsyneladende areal set fra tilskuerne, der har betyd-

ning for strålingsudvekslingen. Derimod vil et bølget loft have større effektiv konvektionsareal end et plant.

Konklusion

På grundlag af ovenstående redegørelse mener jeg, man må kunne konkludere, at det med moderne byggeteknik, konditioneringsteknik og omtanke skulle være muligt at afbøde de værste termiske virkninger på rumklimaet af glasfacader, udformet af arkitekter ud fra ensidige æstetiske synspunkter, såfremt bygherren er indforstået med at betale, hvad det koster. Stillet op på den rigtige måde, skulle disse udgifter næppe virke afskrækkende på den moderne indstillede bygherre, idet udgiften til forrentning, afskrivning og drift af et fuldt udbygget konditioneringsanlæg kun vil udgøre en beskedent del af bruttoomsætningen i et moderne kontorhus og sandsynligvis vil forøge effektiviteten af det arbejde, der bliver udført med et endnu større beløb.

Efterskrift

Laboratoriet for Varmeisolering, D.T.H., har bygget en speciel analogiregnemaskine, ses herover, til forudberegning af det termiske rumklima. I begrænset omfang vil laboratoriet kunne påtage sig ved aktuelle projekter allerede på skitsestadiet at forudberegne det termiske rumklima som må forventes, og hvilke forbedringer heraf, der kan opnås ved forskellige solafskærmninger, og om luftkonditionering evt. kølelofter vil være ønskelig. Ligeledes vil kuldebroproblemer kunne undersøges.