

8.60

STATENS NÄMND FÖR BYGGNADSFORSKNING

— **SNB** —

Särtryck 7:1957

Strålningsdrag från kalla tak

av *Hans E. Ronge* och *Börje E. Löfstedt*

STOCKHOLM 1957

Med. dr., docent

HANS E. RONGE

Med. kand.

BÖRJE E. LÖFSTEDT

Klimatfysiologiska laboratoriet
Uppsala Universitet

Strålningsdrag från kalla tak

Med några observationer om dragavkylningens fysiologi

697.1: 613

Den »torra» värmeavgivningen från människokroppen till omgivande rum sker genom strålning och konvektion till ytor respektive luft med lägre temperaturer än kroppsytan. Först med införandet av den s. k. partitionella kalorimetrin fick man möjligheter att studera den inbördes betydelsen av dessa båda kylningsförlopp (Winslow, Herrington & Gagge 1936, Hardy & Du Bois 1938). Senare har dessa undersökningar utvidgats väsentligt, se sammanfattningen av Winslow & Herrington 1949, Newburgh 1949 och på svenska av Ronge 1952. I Danmark har problemet bearbetats av Pedersen 1948, 1951, och Nielsen & Pedersen 1952. Då sådana variabler som lufthastigheten, hudens och klädytans temperatur och storleken av den effektiva strålnings- respektive konvektionsytan ingår kan den inbördes relationen mellan strålnings- och konvektionsvärmeförluster från människokroppen icke angivas med en konstant. För normala inomhusförhållanden med lika luft- och strålningstemperaturer och stillasittande eller stillastående försöksperson och med en lufthastighet på 5—10 cm/sek. synes konvektionsförlusterna överväga något litet över strålningsförlusterna, vilket delvis beror på att den effektiva konvektionsytan är större än den effektiva strålningsytan av människokroppen. För standardförhållandena med lufthastigheten 7,6 cm/sek. uppger således Winslow, Her-

rington och Gagge att det totala strålningsöverföringstalet (med effektiv kroppsyta inräknad) svarar för 48 % och motsvarande konvektionsöverföringstal för 52 % av den totala torra värmeavgivningen. Liknande resultat om än med något större övervikt för konvektionen har visats av Nielsen och Pedersen. Dessa undersökningar gäller för värmeavgivningen från *hela* människokroppen.

Av visst och ej minst praktiskt intresse är även undersökningar över konvektions- och strålningsförluster från smärre, lokala kroppsyteområden på människokroppen. I föreliggande undersökning har inverkan av ett kallt tak på skuldrornas och axlarnas temperatur och på människokroppens värmebalans studerats. För vissa lokaler med hög värmeutveckling är kylning medelst kallt tak en ändamålsenlig och praktisk metod för borttransport av överskottsvärme. Av praktiskt intresse är då att veta, i vad mån det kalla taket kan ge upphov till köld- eller dragsensationer på människorna i lokalen och i vad mån detta kan kompenseras genom högre lufttemperatur. Härvid kan också det förhållandet inverka att skuldror och nacke hos många människor synes vara särskilt känsliga för dragavkylning med subjektivt obehagliga, ibland »reumatiska» reaktioner.

Försökens utförande

Försöken har utförts i ett klimatiserat rum, i vars ena del ett kyltak uppmonterades (se fig. 1). På grund

Artikeln bygger på undersökningar, till vilka Statens nämnd för byggnadsforskning lämnar anslag.

av lokalstorleken kunde endast en försöksperson i taget prövas. Försökspersonen placerades först i »referensrummet» under det »varma» taket, tills temperaturjämvikt på huden och framför allt axlar, nacke och andra för taket exponerade kroppsytor inställts (30—45 min.), varefter han flyttades in under det kalla taket. Därvid vidtogs nya temperaturregistreringar, tills eventuell ny temperaturjämvikt inställts (60—120 min.). Vid sidan av subjektiva utsagor användes finger- och tåtemperaturerna såsom objektivt mått på allmän köldreaktion. Av de totalt 20 utförda försöken (se tab. 1) omfattade 7 försök med naken överkropp och vid kroppsvila, 6 med ett klädsnitt (grov arbetsskjorta) över överkroppen och kroppsvila samt 7 försök med 2—3 klädsnitt (motvarande normal arbetskläder) och lätt kroppslarbete (total energiutveckling 150 kcal/tim.) på ergometercykel.

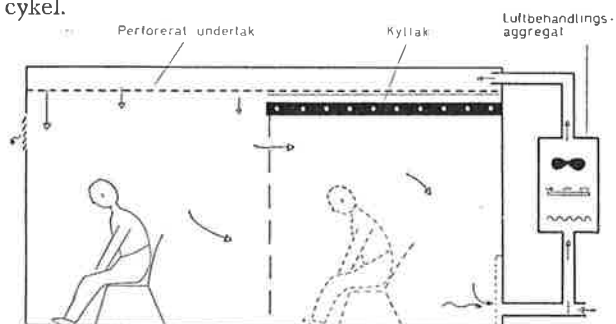


Fig. 1. Schema över försökupställningen.

Förutom dessa försök i modellskala har möjlighet givits till en undersökning i en större fabrikslokal under jorden, där takkyllningssystemet begagnades. Härvid erhöles en stickprovsmässig, praktisk kontroll av de laboratoriemässiga försöksresultaten.

Försökupställning

Försökupställningen framgår i princip av fig. 1. Klimatrummet ventilerades från ett luftbehandlingsaggregat för uppvärmning och befuktning och inblåsning av den förbehandlade luften genom perforerat undertak. Frisk- och returluftmängderna kunde varieras med spjäll. Den relativa fuktigheten hölls i samtliga personförsök vid 55—60 %. Ventilationsluftmängden motsvarade 10 luftväxlingar i lokalen per timme. Ett kyltak, bestående av en betongplatta, 2,8×2,0 m, med inlagda rörslingor med ledningarna på cirka 0,5 m inbördes avstånd, monterades fristående på stolpar över en del av försöksrummet, 2,1 m över golvet. Rörslingorna matades med 13 lit./min. kallvatten med ingående temperatur 8,5°. Under kyltaket placerades försökspersonerna på stol- respektive sadelsits 0,9 m över golv så att axlarna exponerades för det kalla taket under den rymdvinkel (cirka 2,2 sterradianer) som fallet skulle i en verkstadslokal med takhöjden 6 m och rumsbredden 11 m. Ett riktat fall av kallluft ned från kyltaket kunde påvisas med titan-

TABELL 1

Sammandrag av försöken med försöksbetingelser och axlarnas hudtemperaturer 0,5—1 timme efter uppehållet i referensrum resp. under kyltak.

Försök nr	Försöksperson	Klädsel och arbete	Luft °C	Ref.tak °C	Kyltak °C	Axel ref. °C	Axel kyltak °C	Finger ref. °C	Finger kyltak °C	Anm.
1	A	Naken överkropp, vila	18,8	19,2	13,7	31,0	29,9	—	—	Köldreaktion » *Köldreaktion efter 2 tim. Subj. indifferent
2	Ac	»	19,3	19,7	13,0	31,3	29,7	—	—	
3	L	»	25,0	27,2	16,0	33,3	31,5	34	33*	
4	Lt	»	23,2	26,0	—	33,7	—	32	—	
5	Lt	»	26,0	27,0	17,5	33,8	32,5	34	27	
6	A	»	28,5	35,0	18,0	34,4	33,0	35	34	
6x	T	»	18,5	—	13,5	—	29,2	—	26*	*Fallande; 2 tim försök
7	Lt	Ett klädsnitt, vila	16,6	16,3	12,5	32,4*	31,5*	19	17	*Lokal kolloidumretning
8	Lt	»	21,0	23,5	14,5	32,8	31,3	33	23	*Subj. indifferent
9	Lt	»	23,0	24,0	15,5	33,4	32,0	33	27*	
10	S	»	23,2	26,0	—	33,5	—	30	—	
11	Lt	»	26,2	31,0	17,0	34,2	32,6	35	33	
12	L	Två klädsnitt, vila	25,0	28,0	16,5	35,0	34,0	33	32	
13	Lt	2—3 klädsnitt, arb. 150 kcal/h	15,6	16,6	12,0	32,1	31,7	21	20	*Fallande
14	Lt	»	17,5	18,0	12,8	32,0	31,3	30	20	
15	Lt	»	18,0	18,5	12,5	33,4	33,0	28	24*	
16	Lt	»	20,0	21,5	14,0	33,5	33,5	32	32	
17	Lt	»	22,2	24,4	15,0	33,3	32,9	35	33	
18	Lt	»	24,0	26,6	16,0	34,4	33,5	33	33	
19	Lt	Ett klädsnitt, arb. 225 kcal/h	19,0	19,5	14,4	33,0	32,2	30	28	

tetrakloridrök de närmaste cm under taket. Därefter uppblandades det helt med den cirkulerande och något uppåstigande luften. Någon avkyllning av försökspersonerna till följd av nedåtströmmande kall luft från taket har således ej förekommit i mätbar utsträckning.

Med den konstanta kylvattentillförseln erhöll kyltakets undersida en bestämd yttemperatur för varje värde på lufttemperaturen i rummet (se fig. 2). Vid 18° lufttemperatur kunde således en kyltakstemperatur på 13° erhållas, medan den lägsta kyltakstemperaturen vid 28° lufttemperatur var cirka 18°. Kondens på kyltaket uppkom endast om den relativa fuktigheten i lokalen översteg 60—65 %. Den vertikala temperaturgradienten under kyltaket från golvet upp till 1 dm under takytan har varit relativt liten, mindre än 2°.

I referensavdelningen av rummet har takets temperatur varit lika med eller något högre än luftens, högre särskilt vid höga lufttemperaturer (se fig. 2). I de senare fallen har temperaturgradienter på upp till 8° uppmätts mellan golv och 1 dm under taket. De i det följande angivna lufttemperaturvärdena är uppmätta i försökspersonens omgivning med snabbregistrerande instrument.

Tack vare den effektiva luftomsättningen har lufttemperaturen under referensstak och kyltak vid varje försök varit praktiskt taget identiska.

De 20 fullständiga försöken är utförda med sex olika försökspersoner i åldrar 20—35 år.

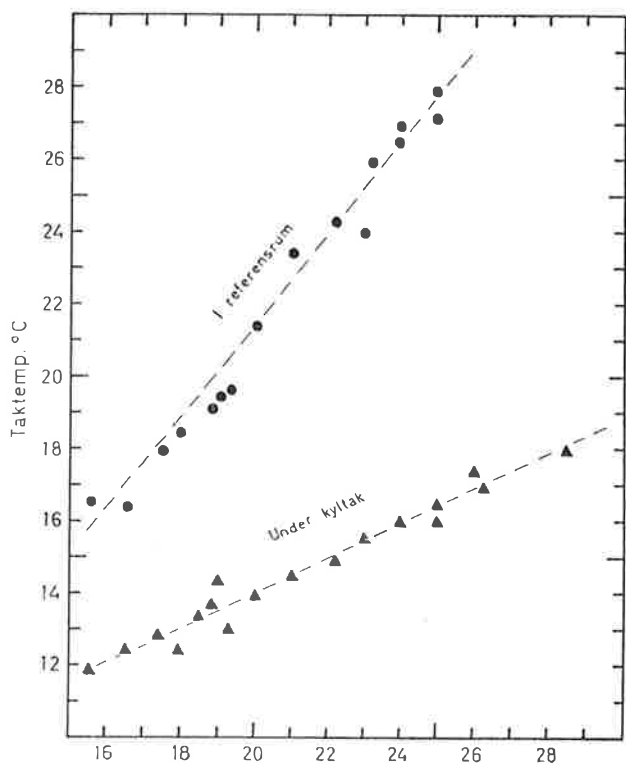


Fig. 2. Den relation mellan takyte- och lufttemperaturer, som erhölls i försöksrummet.

Mätmetoder

Temperaturmätningarna i luften, på hud och på rumsytor har huvudsakligen utförts med ett termoelektriskt instrument med en inställningstid på cirka 2 sek. I vissa försök fästes termoelement på pannan, axlar, nacke, mellan skulderbladen, på bröstkorgen och fingertopparna etc. med hjälp av häfta, dock så att häftan icke täckte termoelementets lödställe. Genom en omkopplare kunde önskat termoelement avläsas på galvanometern. I ett fall (försök 7) fästes termoelementen med kolloidium, vilket dock visade sig olämpligt då en lokal hudreaktion med rodnad uppkom omkring applikationsstället. I andra fall företogs hudtemperaturmätningarna med jämna tidsintervaller med hjälp av en lämplig, pennliknande applikator.

Förutom genom direktmätning med termoelement mättes takens och klädytornas yttemperaturer med hjälp av en strålningskänslig termostapel enligt Moll som kalibrerades och kontrollerades med hjälp av ett svärtat Leslie-kärl, fyllt med vatten av känd temperatur. Då kyltakets yttemperatur varierade åtskilliga grader, allt efter mätpunktens läge i förhållande till underliggande kylslingor, befanns strålningstemperaturbestämningen vara en lämpligare metod. För bestämning av klädytetemperaturen är strålningsmetoden avgjort överlägsen andra metoder. Någon korrektion för de olika ytornas emissionsfaktorer har icke utförts, då såväl den råa betongytan som klädesytorna kan anses ha en emissionsfaktor mycket nära 1,0.

Fuktmätningarna skedde dels med kalibrerad hårhygrometer, och dels med Assman-psykrometer.

Vid arbetsförsöken användes en cykelergometer med oljepumpsbromsning för att få en konstant och reproducerbar arbetsintensitet. Genom bestämning av syrgasförbrukningen enligt gängse kliniska metod (Kroghs slutna metod) injusterades belastning och tramphastighet så att arbetet motsvarade en värmeproduktion på 150 kcal/tim, vilket motsvarar den värmeutveckling som en vid en verkstadsbänk eller liknande stående person med lätt arbete utvecklar.

Försökspersonerna fick med jämna tidsintervall ange sin subjektiva känsla av värme eller kyla enligt en särskild sifferskala. Såsom ett objektiva mått på eventuellt inträdande allmän köldreaktion begagnades i första hand temperaturvärdena på finger- och tåtoppar.

Resultat

Då varje försök gav ett protokoll med ett hundratal hudtemperaturvärden, vilka på grund av de olika försöksbetingelserna icke kan sammanslås i grupp- eller medelvärden, är en presentation av hela materialet försvårad. I tabell 1 ges ett sammandrag av försöksbetingelserna och av jämviktsvärdena på hudtem-

peraturerna på axlar och fingertoppar (medelvärdena av höger och vänster sida) i slutet av uppehållet under referenstag respektive kyltak. Förändringar i fingertemperaturen är ett kriterium på eventuella förändringar i kroppens totala värmebalans.

Exempel på registreringskurvor

Fig. 3 visar en registrering av temperaturerna på ena axeln vid naken överkropp under ett av de första försöken, varav den tydliga effekten av kyltaket framgår. Fig. 4 visar den fullständiga temperaturregistreringen från försök nr 3 (lufttemperatur 25°, referenstag 27,2, kyltak 16,0°). Under uppehållet i referensrummet hålles värmejämvikten uppe och är snarare stadd mot en förskjutning mot värmereaktion (se tåtemperaturkurvan). Efter inflyttningen under kyltaket inträder ett momentant fall av temperaturerna, särskilt de mot taket exponerade horisontella hudytorna, och efter cirka 2 timmar utvecklas en allmän köldreaktion.

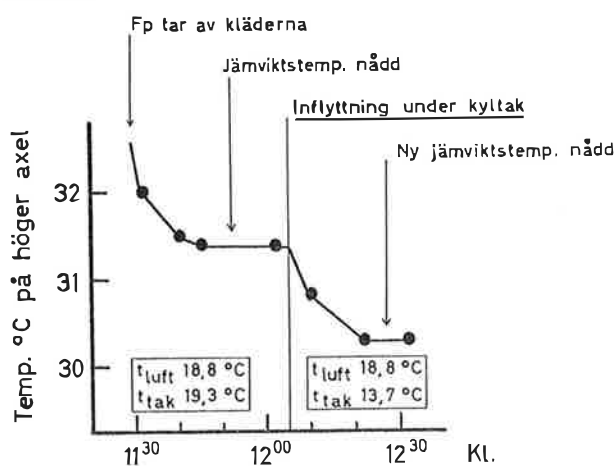


Fig. 3. Exempel på temperaturregistrering vid inflyttning under kyltak.

Allmän resultatbeskrivning

Naken överkropp, vila. — Denna försöksserie (försök 1—6x) utfördes närmast för att konstatera om det kalla taket hade något inflytande på temperaturen och värmebalansen över huvud taget. Försöken visade tydligt att en sådan inverkan finns. Den kylande effekten av taket är särskilt uttalad på axlarna, nacken, övre delen av ryggen (mellan skulderbladen) och på hjässhårets yta; temperaturen på hårbotten påverkas däremot obetydligt eller möjligen blott temporärt. De nämnda områdena är uppenbarligen mest utsatta för värmeutstrålning mot det kalla taket vid lätt framåtlutande kroppsställning.

Den kylande verkan av taket visar sig i en temperatursänkning på axlarna på 1,5—2,5°, räknat från jämviktsvärdet i referensrummet (se tab. 1). Under själva temperaturfallet uppkom konstant en tydlig köldkänsla («drag») över axlarna och nacken. Om

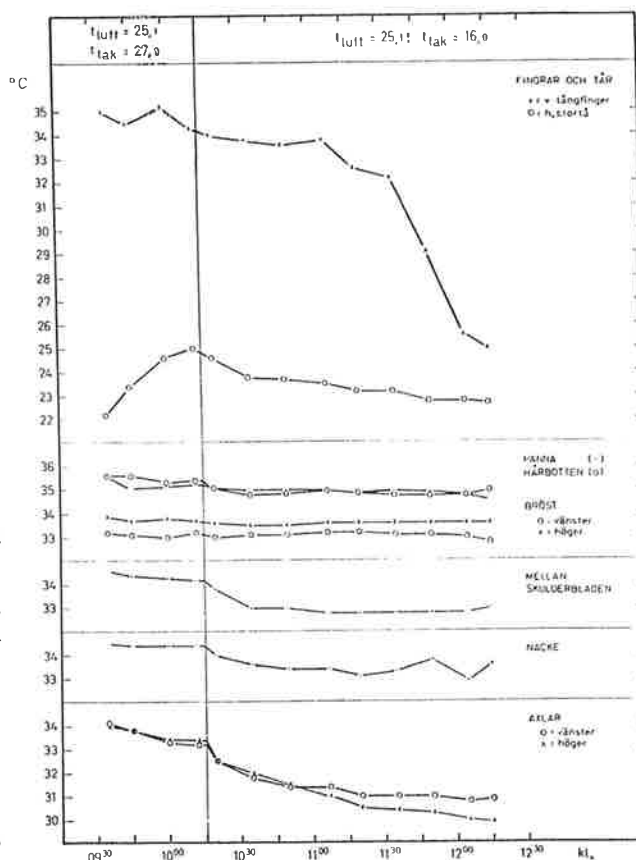


Fig. 4. Exempel på en fullständig registreringskurva från ett försök (nr 3). Inflyttningen under kyltak skedde kl. 10.15. Se f.ö. texten.

axeltemperaturerna nådde värden under cirka 31,5° blev köldkänslan bestående även efter den initialt branta temperatursänkningen. I dessa fall utvecklades snart en allmän köldreaktion med ett uttalat temperaturfall på fingrar och tår till värden knappt överstigande lufttemperaturen.

Först vid en lufttemperatur på över 26° under kyltaket (taktemperatur 17°) kunde axeltemperaturerna säkert bibehållas över den kritiska nivån. I referensrummet kunde värmekomfort däremot hållas vid åtminstone 23° lufttemperatur. Inom lufttemperaturområdet 23—26° hos luften blev således kyltaket — för personer med naken överkropp — den tunga på vågen som bringade kroppen i negativ värmebalans med köldreaktioner som följd.

Vid några av ovannämnda försök gjordes den iakttagelsen att temperatursänkningen på axlarna efter inflyttningen under kyltaket efterföljdes av en något stigande axeltemperatur i samband med att den allmänna köldreaktionen utvecklade sig.

Ett lager kläder, vila. — Även vid dessa försök (nr 7—12) inträder ett tydligt fall av axeltemperaturerna på i allmänhet cirka 1° efter inflyttningen under kyltaket. Temperaturfallet är regelbundet

åtföljt av en temporär, subjektiv dragkänsla över axlarna. Bestående köldkänsla uppkom endast vid försöken 7 och 8, där axeltemperaturerna sjönk under $31,5^{\circ}$. Gränsvärdena till hotande köldreaktion i referensrummet låg vid lufttemperaturen 20° (taktemperatur 21°), medan motsvarande värden under kyltaket var $23-23,5^{\circ}$ respektive $15,5-16,0^{\circ}$.

I flera av dessa försök iaktogs att hudtemperaturen på axlar, hårbotten, nacke etc. efter den initiala sänkningen åter steg något till ett jämviktsvärde mellan utgångsvärdet från referensrummet och minimivärdet. I fig. 5 visas ett exempel på en sådan reaktion (försök nr 9). Detta fenomen har givetvis försvårat angivandet av ett jämviktsvärde på hudtemperaturerna efter inflyttningen under kyltaket. Orsaken till fenomenet diskuteras senare.

Klädytans temperatur, bestämd med termostapel, har i allmänhet varierat avsevärt från mätning till mätning, betydligt mera än hudtemperaturerna. Förklaringen är givetvis att söka i veckbildning och andra förskjutningar av klädesplagget, medförande olika tjockt luftskikt mellan hud och klädesplagg. Ett temperaturfall hos klädytan över axlarna på $2-3^{\circ}$ har dock varit den vanligaste effekten av inflyttningen under kyltaket.

Klädesplagget utgjordes i försöken 7—11 av en grov arbetsskjorta.

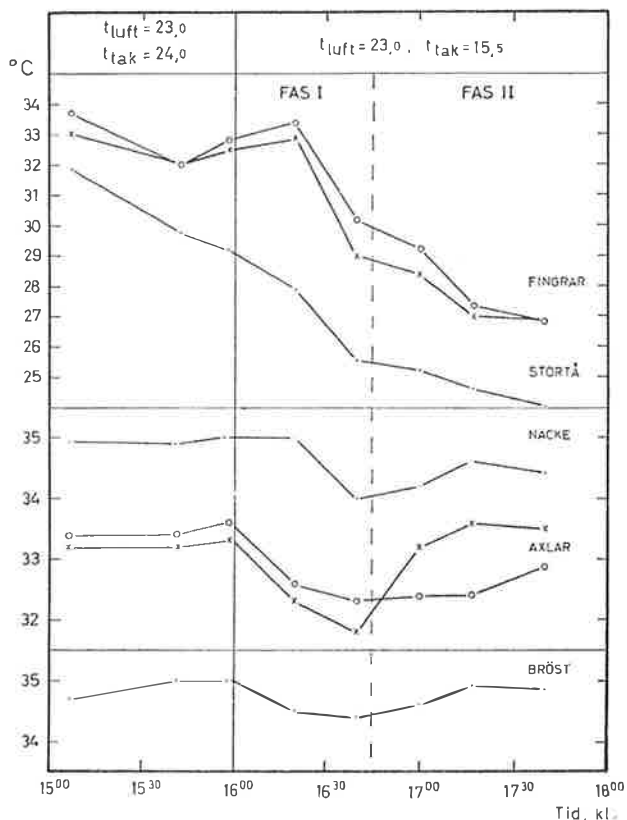


Fig. 5. Exempel på det 2-fasiga temperaturförloppet på bältytan vid utveckling av allmän köldreaktion (försök nr 9).

Normalklädsel, arbete. — Dessa betingelser för försökspersoner ansågs bäst motsvara de verkliga förhållanden som skulle uppstå i en verkstad med kyltak. Klädseln på överkroppen bestod av undertröja + skjorta + blå arbetsrock. Arbetet inställdes som ovan nämnts på en ergometercykel till cirka 150 kcal/tim. , vilket motsvarar ett lätt kroppsarbete i stående.

Försöken (nr 13—19) har utförts med lufttemperaturer mellan 24 och 16° . Resultaten har i stort sett varit följande.

Vid 24° : Subjektiv och objektiv värmereaktion både i referensrummet (taktemperatur $26-27^{\circ}$) och under kyltaket (taktemperatur $15-16^{\circ}$), med blott en temporär, lätt köldkänsla över axlarna och nacken strax efter inflyttningen under kyltaket.

Vid 22° : Fortfarande värmereaktion i referensrummet (taktemperatur 24°), medan reaktionen under kyltaket (taktemperatur 15°) mer lutar åt indifferent.

Vid 20° : Närmast indifferent på båda ställena, dock med något lägre hudtemperaturer under kyltaket (taktemperatur 14°).

Vid 18° : Flera försök har härvid gjorts. I ett rådde värmebalans med behaglig, sval sensation på båda ställena, i ett annat åter uppehölls värmebalansen i referensrummet, medan en bestående köldreaktion inträdde under kyltaket. I ett tredje försök märktes begynnande köldreaktion redan i referensrummet som accelererades efter inflyttningen under det kalla taket (kyltakstemperatur $12-13^{\circ}$).

Vid 16° : Köldreaktion inträder redan i referensrummet.

Temperaturfallet på axlarna efter inflyttningen har här genomgående varit mindre än i de tidigare skildrade serierna och har högst uppgått till $0,5-1^{\circ}$.

Analys och diskussion av resultaten

Den 2-fasiga temperaturreaktionen

Det i vissa försök iaktagna fenomenet med först fallande och sedan stigande temperaturer på axlar, nacke etc. efter inflyttningen under kyltaket, som illustrerades av figur 5, torde kunna förklaras på följande sätt. Till en början sjunker bältytans temperatur på grund av den fysikaliskt betingade, ökade avkylningen, och snart utvecklar sig en allmän köldreaktion med sjunkande finger- och tåtemperaturer («fas I»). Vasokonstriktionen vid den allmänna köldreaktionen drabbar i första hand de perifera ändarna av extremiteterna. Den härav följande minskade blodcirkulationen i extremiteterna medför ökad cirkulerande blodvolym inom bälten. Om den lokala kyl-

effekten på bälten icke varit tillräckligt stark för att där åstadkomma maximal vasokonstriktion i huden medför detta en ökning av blodcirkulationen även i bälens hud, med åtföljande temperaturökning. Under denna »fas II» (se fig. 5) får man således fortfarande sjunkande temperaturer på fingrar och tår men stigande temperaturer på hålytorna.

Enligt denna förklaring skulle detta 2-fasiga förlopp av hålytetemperaturen särskilt märkas vid måttlig köldreaktion, då vasokonstriktionen i huden huvudsakligen är begränsad till extremiteterna. Detta styrkes också av föreliggande försöksmaterial; det har särskilt varit vid axeltemperaturer omkring 32° under den första fasen som en andra fas med stigande axeltemperaturer uppkommit. Vid starkare lokalt temperaturfall över axlarna och kraftigare allmän köldreaktion har effekten icke märkts.

I flera av försöken har denna sekundära temperaturökning på hålytan åtföljts av en svag, subjektiv värmekänsla.

Kännedomen om denna 2-fasiga reaktion är uppenbarligen av stor betydelse vid alla undersökningar och analyser av lokala »drag»-effekter. Svårigheten att tillämpa fysikaliska avkylningsekvationer, åtminstone på isolerade delar av människokroppen, belyses även härav.

Luft- och taktemperaturer i komfortdiagram

I fig. 6 har resultaten av två av försöksserierna (naken överkropp + vila och arbetsklädsel + lätt arbete) sammanställts till ett »komfortdiagram» med hänsyn till luft- och takytetemperaturer. Såsom parametrar i diagrammet ingår temperaturen på axlarna. Dessa »isotermier» har dragits såsom räta linjer så att de bäst passat med samtliga registrerade jämviktsvärden på axeltemperaturen. Av försöksresultaten har det framgått att en allmän köldreaktion uppkom hos försökspersonerna, då hudtemperaturen på axlarna sjönk under cirka 32°; vid en axeltemperatur på 31,5° eller lägre uppkom köldreaktionen mycket hastigt, medan en jämviktstemperatur på 32° kunde bibehållas under någon eller några timmar innan den manifesta köldreaktionen uppkom. En axeltemperatur på 32,5—33° var i samtliga försök förenad med en subjektiv känsla av »behagligt svalt», medan axeltemperaturer på 34° eller däröver var förenade med subjektiv och objektiv värmereaktion. Intet försök drevs till svettningens gränser.

Av lutningen på »axelisotermerna» för betingelserna »arbetsklädsel + lätt arbete» framgår det att luft- och taktemperaturerna påverkar hudtemperaturen på axlarna i praktiskt taget samma grad. Den resulterande eller vägda temperaturen erhålles således bäst såsom det aritmetiska medelvärdet av luft- och tak-

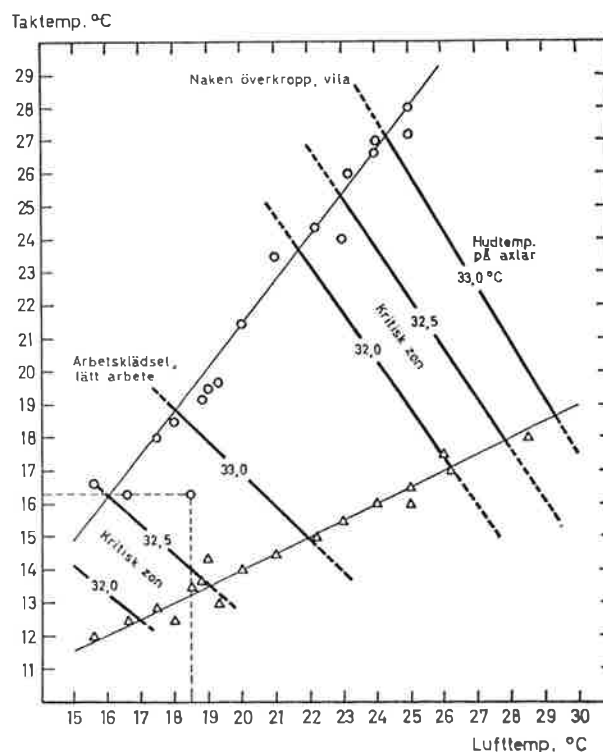


Fig. 6. Diagram över de takyte- och lufttemperaturer, som givit samma axeltemperaturer i två av försöksserierna. En axeltemperatur på 32,5—33,0°C var förenad med en subjektiv känsla av »behagligt svalt».

temperaturerna. I sin helhet stämmer diagrammet väl med det diagram över »resulterande temperatur» som Pedersen och Nielsen, Teknologisk Institut, varmeteknisk afdeling, Köpenhamn, nyligen angivit för hela människokroppen i ett rum med olika luft- och strålningstemperaturer.¹

Kombinationsmått på luft- och takytetemperaturer

I fig. 7 återges relationen mellan axlarnas hudtemperatur på naken överkropp i vila och några olika kombinationsmått av tak- och lufttemperaturer. Kombinationsmått utgöres av på olika sätt vägda medelvärden av luft- och taktemperaturerna, såsom framgår av figuren. Det enkla aritmetiska medelvärdet mellan luft- och taktemperaturer, d.v.s. $(t_1 + t_2)/2$, ger som synes den jämnaste kurvan. Kurvan för $(2t_1 + t_2)/3$ motsvarar den ursprungligen av Pedersen 1948 givna relationen för resulterande tempera-

¹ Dr Lorents Pedersen, som välvilligt granskat detta arbete i manuskript, har påpekat att de här använda värdena på taktemperaturerna kan med i artikeln givna data för takyta och avstånd omräknas till strålningstemperatur hos taket (t_s) enligt ekvationen: $t_s = 0,85 t_{\text{tak}} + 0,15 t_{\text{luft}}$ Om materialet bearbetas med hänsyn här till finner man att de i fig. 6 givna hudtemperaturkurvorna för »naken överkropp» visar mycket god överensstämmelse med Niensens och Pedersens försök, medan kurvorna för påklädd person ger något större betydelse åt taktemperaturerna än förväntat. Antalet försök och försöksbetingelser i övrigt med påklädd person tillåter icke en bedömning av signifikansen av denna avvikelser.

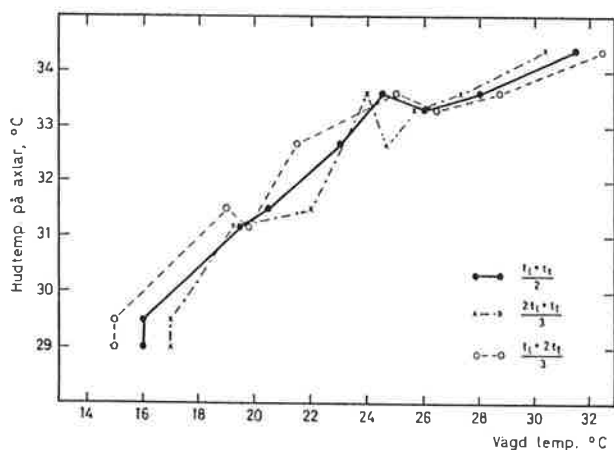


Fig. 7. Korrelationen mellan axeltemperatur på naken överkropp och olika kombinationsmått på luft- och takytetemperaturer (t_1 resp. t_2). Den jämnaste kurvan fås med det aritmetiska medelvärdet av luft- och takytetemperaturerna.

tur, medan kurvan $(t_1 + 2t_2)/3$ motsvarar den av Hardy & Du Bois 1937 funna relationen. Både nyare amerikanska och danska undersökningar har dock visat att den resulterande temperaturen i allmänhet bäst motsvaras av det aritmetiska medelvärdet av luft- och strålningstemperaturer, vilket således bestyrkes även av denna undersökning på begränsade hudtytor.

I fig. 8 är axeltemperaturerna för både fallet naken överkropp + vila och arbetsklädsel + arbete återgivna mot den aritmetiskt vägda, resulterande temperaturen. För axeltemperaturer under cirka $32,5^\circ$ råder såsom synes ett linjärt samband med den vägda temperaturen. Den ökade spridningen för försöken med arbetsklädsel och arbete torde huvudsakligen vara begrundad av olikheter i klädtjocklek och klädisolering.

För försöken med naken överkropp ges i fig. 9 relationen mellan jämviktsvärdena av axeltemperaturen och den samtidigt rådande differensen mellan axeltemperatur och vägd tak-lufttemperatur. Med större tydlighet än tidigare framgår där att temperaturkurvan för axlarna ändrar lutning vid en axeltemperatur på $32-32,5^\circ$. Detta är schematiskt markerat i figuren såsom en »brytpunkt». I vad mån denna brytpunkt sammanhänger med den lokala vasokonstriktionen eller utgör ett tecken på begynnande arteriell förkylning, enligt Bazett 1948, har icke säkert kunnat avgöras. Möjligen kan en arteriell förkylningsmekanism över huvud taget icke uppkomma på detta hudområde till följd av de anatomiska blodkärlsförhållandena.

I tabell 2 har slutligen en sammanställning gjorts mellan temperaturfallet på axlarna och temperaturskillnaden mellan referenstak och kyltak för samtliga relevanta försök. Om man borträknar de med * utmärkta försöken, där axeltemperaturen icke nådde ned till den linjärt fallande delen på den »kalla»

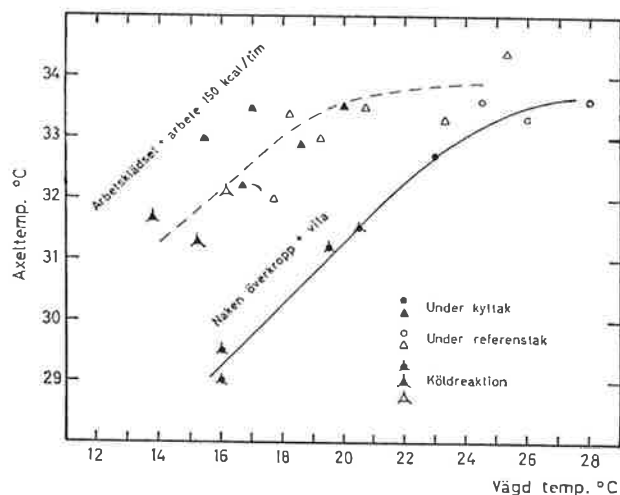


Fig. 8. Korrelationen mellan axeltemperatur och medelvärde av luft- och takytetemperatur.

sidan om den kritiska temperaturzonen, $32-32,5^\circ$, finner man således att 1° temperatursänkning på taket medför $0,20-0,24^\circ$ sänkning av axeltemperaturen vid naken överkropp, medan motsvarande värde vid ett klädsikt över axlarna uppgår till $0,16-0,24^\circ$ och vid 2-3 klädsikt till $0,09-0,13^\circ$.

En undersökning i kyltaksförsedd bergverksstad

Ett tillfälle har givits att experimentellt verifiera i praktisk skala de funna relationerna mellan lämplig luft- och taktemperatur vid takkylning i en underjordisk fabrikslokal (Svenska Flygmotor, Trollhättan). Lokalerna är 11 m breda skepp med 6 m genomsnittlig takhöjd. Kyltakets rymdvinkel gentemot en mitt i lokalen stående person blir således densamma som rätt för de i modellskala utförda laborierproven. Taktemperaturen bestämdes på termoelektrisk väg på 19 olika punkter och gav medelvärdet $16,3^\circ$, medan lufttemperaturen höll sig vid $18,5^\circ$ i brösthöjd

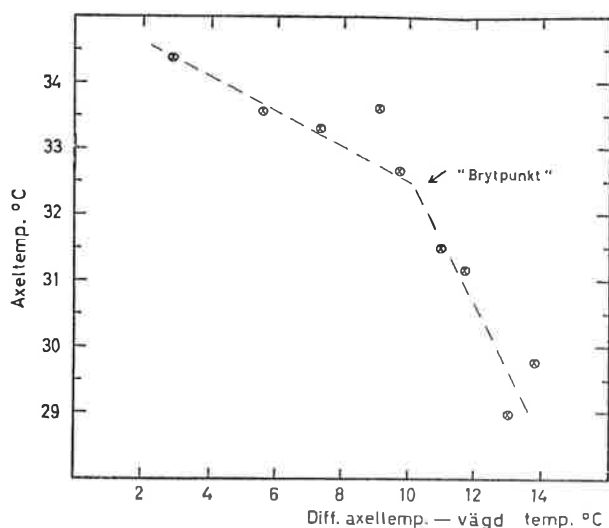


Fig. 9. Axeltemperaturernas beroende av den »yttre» temperaturdifferensen. Relationslinjens ändrade lutning vid axeltemperaturen $32,5^\circ$ framträder.

ovan golv. Den subjektiva förnimmelser av rummets värmegrad kan bäst karaktäriseras som »behagligt svalt» med en lätt, snabbt övergående dragkänsla över axlar och huvud vid inträdet i lokalen. Dessa förhållanden ligger uppenbarligen helt inom komfortzonen enligt diagrammet i fig. 6. Man kan där utläsa att dessa temperaturförhållanden motsvarar en hudtemperatur på axlarna mellan 32,5 och 33°. Av diagrammet kan man vidare utläsa att en sänkning av taktemperaturen till cirka 14° bör kompenseras med en höjning av lufttemperaturen i lokalen till 20—21° för att samma axeltemperaturer skall bibehållas. Det bör dock framhållas att arbetarna inom denna verkstadslokal sällan är utsatta för den köldstrålning från kyltaket som motsvarade betingelserna i modellförsöken. Detta dels på grund av att arbetaren i regel står intill ena väggen, vilket medför en mindre rymdvinkel mot kyltaket, och dels på grund av att han

ofta utsättes för värmestrålning från arbetsmaskinerna i lokalen.

Sammanfattning

Inverkan av takytans temperatur (vid rymdvinkeln 2,2 sterradianer) på hudtemperaturen på naken och klädd överkropp har studerats på försökspersoner i vila och arbete vid lufttemperaturer mellan 16 och 28°C. Vid flyttning från varmt till kallt tak fås en snabb temperatursänkning på mot taket exponerade kroppsytor. Om en lätt köldreaktion utvecklade sig (sjunkande finger och tå-temperatur) iaktogs stundom en samtidigt insättande ökning av bållytans temperatur. Detta antages bero på den då inträdande förskjutningen av cirkulerande blodvolym från extremiteterna till bålen. En god korrelation erhålles mellan jämviktsvärdena på axlarnas hudtemperatur och medelvärdet av luft- och taktemperaturerna. En sänkning av takytans temperatur med 1°C medförde en axeltemperatursänkning på 0,20—0,24°C på naken överkropp i vila, 0,16—0,24°C vid ett klädsnitt och vila och 0,09—0,13°C vid 2—3 klädlager och lätt arbete. På basis av resultaten är ett »komfortdiagram» konstruerat över de takyte- och lufttemperaturer, som kan förväntas ge samma axeltemperaturer.

TABELL 2

Kvoten mellan temperaturfallet på axlarna (Δt_{ax}) och temperaturskillnaden mellan referenstaket och kyltaket (Δt_{tak}).

Försök nr	Luft-temp.	Övriga betingelser	Δt_{tak}	Δt_{ax}	$\frac{\Delta t_{ax}}{\Delta t_{tak}}$
1	18,8	Naken överkropp vila	5,5	1,1	0,20
2	19,3	»	6,7	1,6	0,24
3	25,0	»	11,2	2,3	0,21
5	26,0	»	9,5	1,3	0,14*
6	28,5	»	17,0	1,4	0,08*
7	16,6	1 klädsnitt, vila	3,7	0,9	0,24
19	19,0	1 klädsnitt, arbete	5,1	0,8	0,16
8	21,0	1 klädsnitt, vila	9,0	1,5	0,17
9	23,0	»	8,5	1,4	0,16
11	26,2	»	14,0	1,6	0,11*
12	25,0	2 klädsnitt, vila	11,5	1,0	0,09*
13	15,6	2—3 klädsnitt, arbete	4,6	0,4	0,09
14	17,5	»	5,2	0,7	0,13
15	18,0	»	6,0	0,4	0,07*
16	20,0	»	7,5	0,0	0,00*
17	22,2	»	10,6	0,4	0,04*
18	24,0	»	10,6	0,9	0,09*

* Axeltemperatur på »varma» sidan om den kritiska temperaturzonen (32—32,5°C).

Litteraturlista

- BAZETT, H. C. A.: Temperature Changes in Blood flowing in Arterials and Veins in Man. *J. Appl. Physiol.* 1: 3, 1948.
- HARDY, J. D. & DU BOIS, E. F.: Basal Metabolism, Radiation, Convection and Vaporization at Temperatures of 22 to 35°C. *J. Nutrition* 15: 477, 1938.
- NEWBURGH, L. H. (Editor): Physiology of Heat Regulation and the Science of Clothing, Saunders 1949.
- NIELSEN, M. & PEDERSEN, L.: Studies on the Heat Loss by Radiation and Convection from the Clothed Human Body. *Acta Physiol. Scand.* 27:272, 1952.
- PEDERSEN, L.: Värmestrålningsundersøgelser, København 1948 (Diss.).
- PEDERSEN, L.: Varmeafgivelse fra en påklædt termostat ved forskellige luft- og strålingstemperaturer. Teknologisk Institut, Varmeteknisk afdeling 1926—1951, København 1951, sid. 49—81.
- RONGE, H. E.: Lämplig värmegrad och nödig luftväxling. Byggmästaren B 10, 1952, sid. 205—210.
- WINSLOW, C.-E., HERRINGTON, L. P. & GAGGE, A. P.: A New Method of Partitional Calorimetry. *Am. J. Physiol.* 116: 641, 1936.
- WINSLOW, C.-E. A. & HERRINGTON, L. P.: Temperature and Human Life. Princeton University Press 1949.

Pris kr. 1:50

Distribueras av
AB Tidskriften Byggmästaren
Stockholm