

THOMAS BEDFORD

TOPLINA I VENTILACIJA RADNE OKOLINE I NJIHOV
 UTJECAJ NA INDUSTRIJSKOG RADNIKA*

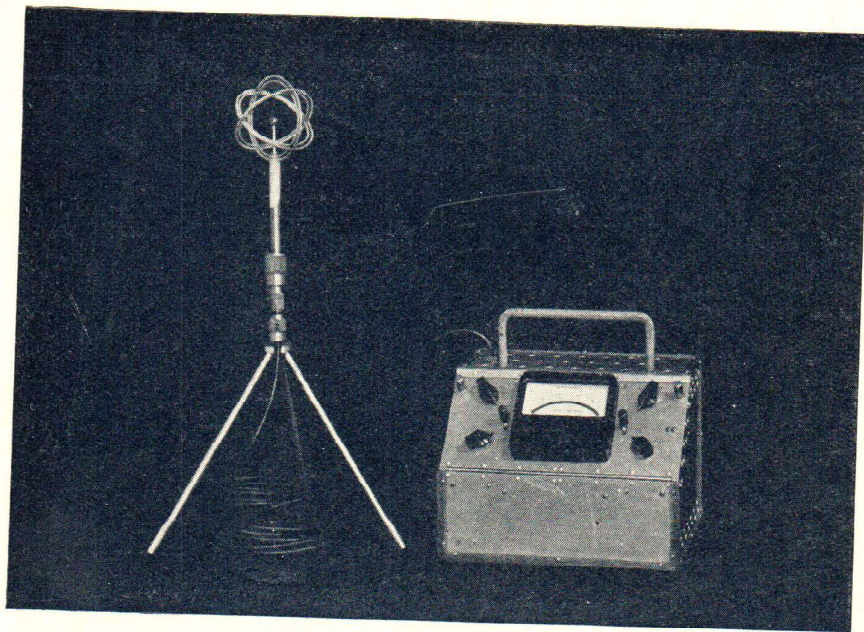
Autor prikazuje najnovija istraživanja o toplini i ventilaciji u industriji i o njihovu utjecaju na radnika. Raspravljena su ova pitanja: mjerenje topline u radnoj okolini (mjerenje toplinskih promjena, toplinske skale); toplota i udobnost (pouzdanost toplinskih skala, zone udobnosti zimi i ljeti, utjecaj pojedinih termičkih faktora na udobnost, izvori neudobnosti); udobnosti u radnoj okolini u vezi s toplinom i ventilacijom (efekti atmosferskih prilika, efekti toplinskog zračenja, lokalne senzacije u vezi s toplinom i studeni, atmosferski elektricitet, fizikalni zahtjevi za grijanje i ventilaciju); toplina i sigurni uvjeti u radu (radna sposobnost i atmosferski uvjeti, utjecaj toplote na duševnu sposobnost, granični uvjeti za fizički rad, problemi nesreća u vezi s atmosferskim prilikama); atmosferski uvjeti i bolest (efekti klimatizacije, utjecaj nepovoljnih temperatura, utjecaj neadekvatne ventilacije, efekti onečišćenja atmosfere, čišćenje zraka i širenje respiratornih infekcija).

I. UVOD

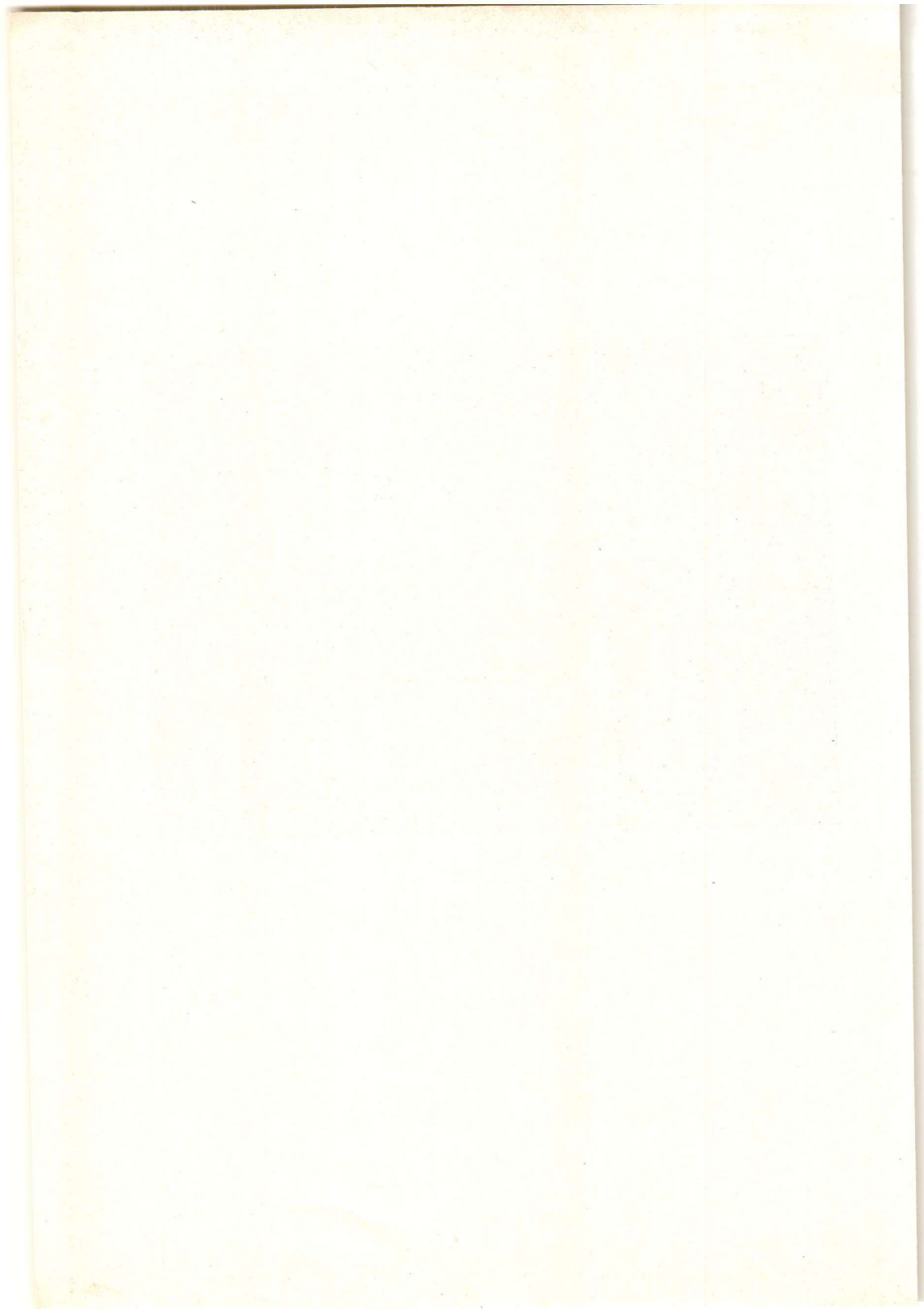
Od najstarijih vremena čovjek nastoji da se zaštiti od zimske hladnoće i vrućine ljetnog sunca. Stan mu pruža zaklon od sunca i zimskih vjetrova, a vatra daje toplinu. U raznim razdobljima ljudi su se na razne načine domišljali, kako da usavrše grijanje svojih stanova. Već su se stari Rimljani prije 2000 godina odlično znali služiti tehnikom grijanja. Danas nam stoje na raspolaganju nove metode grijanja, naročito panelno grijanje spojeno s prednostima suvremene klimatizacije.

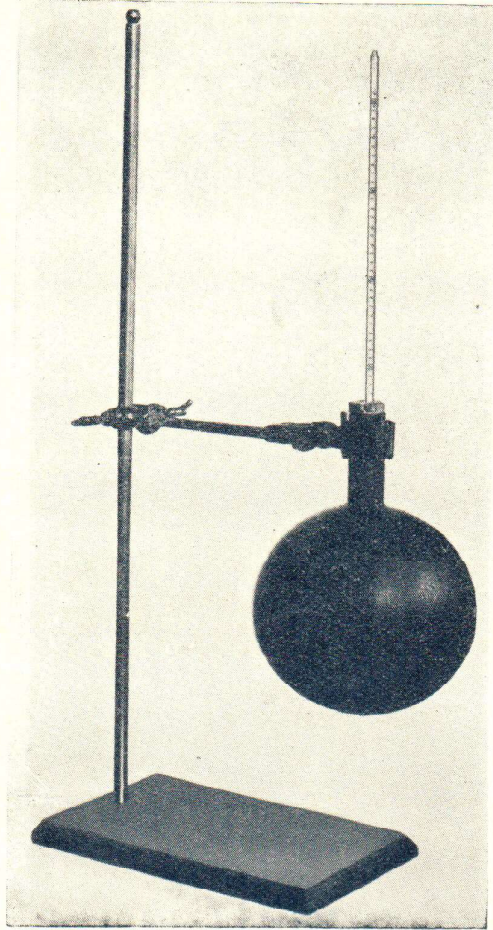
Dok su ljudi vršili svoje zvanje u stanovima ili u malim radionicama, oni su se sami brinuli, da osiguraju sebi zaklon i grijanje, koje im je bilo potrebno ili koje su mogli nabaviti. Ali grupiranjem ljudi u velikim tvornicama i drugim radilištima i uvođenjem industrijskih procesa, koji iziskuju mnogo topline, nastala je potreba, da se proučava fiziološki utjecaj toplinske okoline. Uvođenje novih metoda grijanja, u posljednjoj četvrtini stoljeća stvara također potrebu za takvim proučavanjem. Dalje pobude za istraživanje te vrste nastale su za posljednjeg rata. Tada su vojnici, mornari i

* Predavanje održano na I. sastanku stručnjaka za higijenu rada, Zagreb, 5.—8. jula 1950.

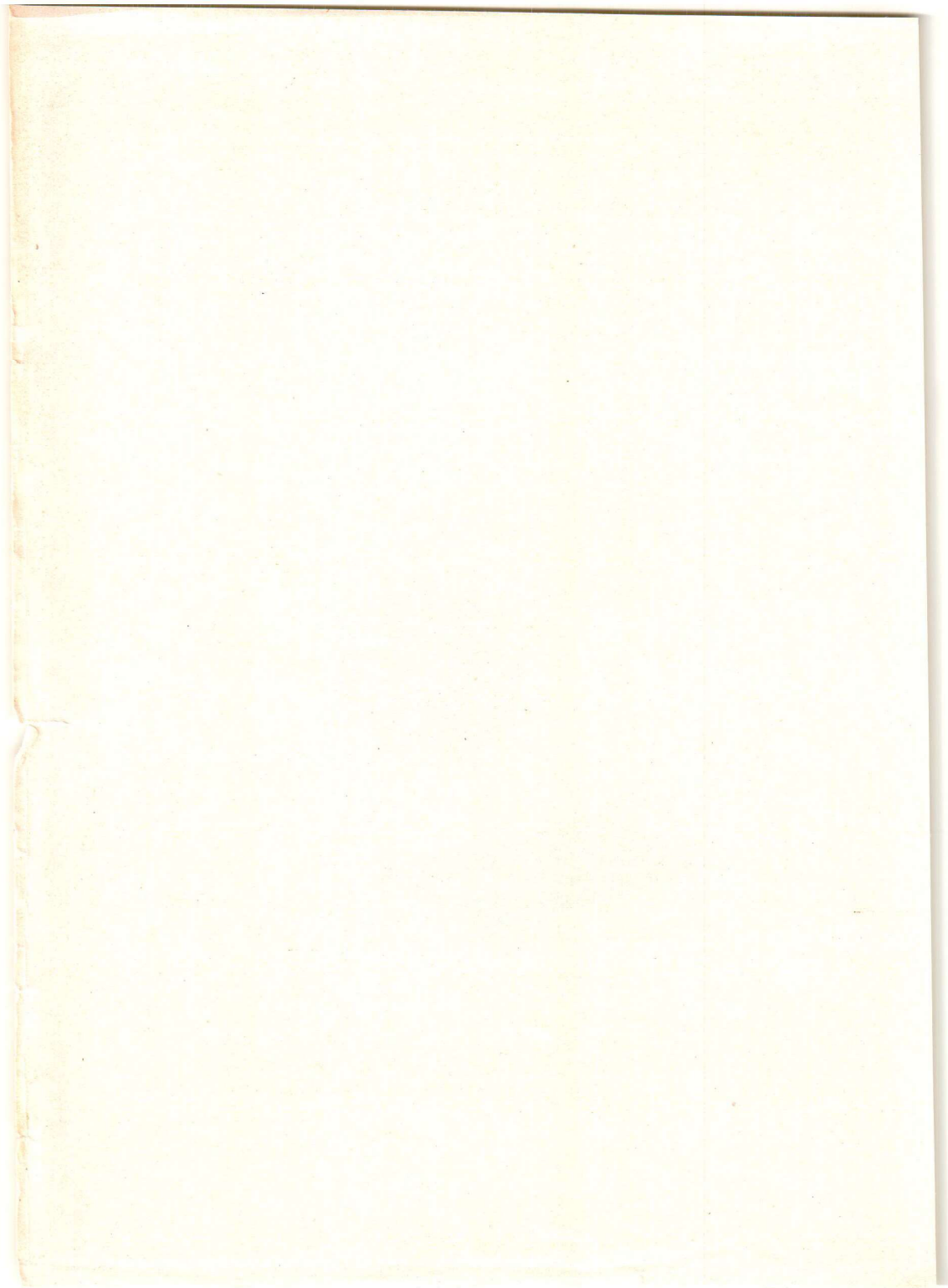


Sl. 1. Ionski anemometar





Sl. 2. Globus-thermometer



zrakoplovci bili izloženi klimatskim ekstremima, pa je u interesu vojnih uspjeha trebalo vršiti mnoga klimatološka istraživanja.

Znanstveni radnici raznih struka — inženjeri, fizičari, fiziolozi i psiholozi — već mnogo godina proučavaju utjecaj okoline na radnika, i ja želim da ukratko izložim glavne rezultate tog rada.

II. MJERENJE TOPLINE U RADNOJ OKOLINI

Ljudsko tijelo gubi toplinu uglavnom na tri načina: zračenjem prema okolini, konvekcijom i isparivanjem vode iz kože i respiratornog trakta. U mirnom zraku kod temperature od oko 18° C gubi se otprilike 45% tjelesne topline zračenjem, 30% konvekcijom, a 25% isparivanjem. S porastom temperature okoline raste i temperatura površine tijela, ali taj porast je manji od porasta temperature okoline, i na taj se način razlika između temperature površine tijela i okoline smanjuje. Prema tome se smanjuje i količina topline, koja se gubi zračenjem i konvekcijom, a raste količina topline, koja se gubi isparivanjem (što je omogućeno znojenjem), sve dok temperatura okoline ne dostigne temperaturu tijela. Tada se cijela toplina, koju tijelo proizvodi, mora odvoditi isparivanjem, da bi se mogla održati toplinska ravnoteža. Ali ako temperatura okoline prijeđe temperaturu površine tijela, tijelo zračenjem i konvekcijom dobiva na toplini, a tjelesna se temperatura može održati na stalnoj razini samo, ako se toplina dobivena od okoline i toplina, koju proizvodi tijelo, može kompenzirati isparivanjem.

Pojedinačni faktori, koji sačinjavaju toplinsku okolinu i koji odlučuju o brzini, kojom se gubi tjelesna toplina, jesu: temperatura, vlaga, brzina kretanja zraka i toplinsko zračenje okoline; zbog toga sve te faktore treba uzeti u obzir, ako želimo da okolinu potpuno specificiramo.

1. Mjerenje toplinskih varijabla

a) *Temperatura zraka.* U istraživanjima na području higijene temperatura se zraka obično mjeri živinim termometrima ili termočlancima. Ako se upotrebljavaju živini termometri, treba ih snabdjeti radijacionim štitom, jer će inače, kad god postoji veliko toplinsko zračenje, u mjerenju biti osjetljiva pogreška.

b) *Vlaga.* Vlaga atmosfere može se lako mjeriti psihrometrom bilo Asmanova ili rotacionog tipa. Od osnovne je važnosti, da zrak struji oko vlažnog rezervoara brzinom od oko 3 m/sek. Kod Asmanova psihrometra to se postizava brzim tjeranjem zraka preko nepomičnog vlažnog rezervoara, dok rotacioni higrometar treba brzo okretati tako, da rezervoari termometra prolaze kroz zrak željenom brzinom.

c) *Kretanje zraka.* U tvornicama i ostalim zgradama brzina kretanja zraka je obično malena, osim, možda, za topla vremena. Mjerenje tih vrlo malih brzina — često samo 0,05 m/sek. — predstavljalo je dugo vremena poteškoće. Mi godinama upotrebljavamo u tu svrhu Hillov katatermometar.

Nedavno nam je za proučavanje ventilacije trebao instrumenat, koji bi davao preciznije rezultate od onih, koji se mogu postići katatermometrom, i koji bi se mogao upotrebljavati i onda, kad se smjer zračnog kretanja mijenja. Dva moja suradnika *Dr. Lovelock* i *Wasilewska* su 1949. g. izradili ionski anemometar, koji udovoljava tim zahtjevima. Kugla promjera 1 cm presvučena je polonijem i nabijena na 100 volta. Ta je kugla okružena dvjema koncentričnim sferičnim krletkama od žice polumjera 3 i 4 cm. Vanjska krletka izravno je spojena sa zemljom, a unutrašnja je spojena sa zemljom preko cijevnog elektrometra. Struja iona kroz elektrometar smanjuje se, kad se povećava brzina kretanja zraka. Reakcije instrumenta su vrlo brze, a osjetljivost je instrumenta velika. Sl. 1. prikazuje taj anemometar.

d) *Toplinsko zračenje.* Za neposredno mjerenje prosječnog zračenja okoline treba upotrebiti ma kakvu bateriju termočlanaka zajedno s osjetljivim galvanometrom. Aparat je delikatan, a opažanja prilično teška. Jednostavnije i lakše je izračunati srednji intenzitet zračenja na osnovu mjerenja globus-termometrom. Globus-termometar se sastoji iz šuplje metalne kugle, 15 cm u promjeru, prevučene crnom bojom bez sjaja, a u centru te metalne kugle nalazi se rezervoar termometra.

Temperatura instrumenta zavisi od okoline, u kojoj se nalazi. Ako su zidovi i druge okolne površine toplije od zraka, temperatura, koju pokazuje globus-termometar, jest viša od temperature zraka, i obrnuto, ako je okolina hladnija od zraka, globus-termometar pokazuje nižu temperaturu. Na temperaturu globus-termometra utječe također i brzina kretanja zraka. Globus-termometar postiže približnu ravnotežu sa svojom okolinom nakon ekspozicije od otprilike 20 minuta.

Srednji intenzitet zračenja na mjestu promatranja može se izraziti kao tok energije, ali kod proučavanja toplinske okoline uobičajeno je, da ga izrazimo kao »srednju temperaturu zračenja« t. j. onu jednoličnu temperaturu, kod koje bi crna površina zračila intenzitetom, koji je jednak srednjem izmjenenom intenzitetu toplinskog zračenja.

Ako poznamo temperaturu globus-termometra, temperaturu zraka i brzinu kretanja zraka, srednju temperaturu zračenja možemo izračunati prema jednadžbi:

$$T_s^4 \times 10^{-9} = T_G^4 \times 10^{-9} + 0.247 \sqrt{v} (t_g - t_a) \dots \dots (1),$$

gdje je

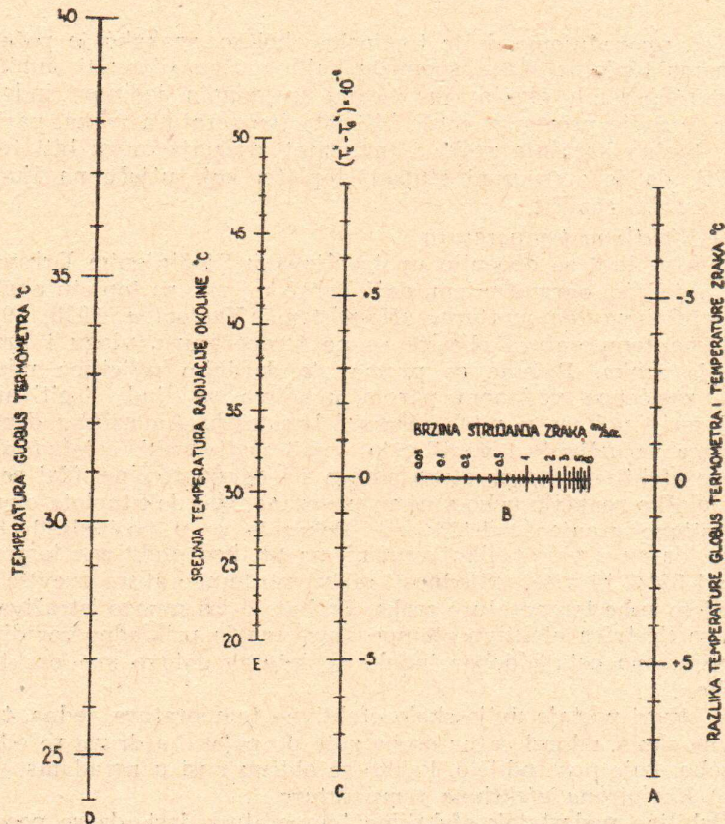
T_s srednja temperatura zračenja u °C abs.

T_G temperatura globus-termometra u °C abs.

v brzina kretanja zraka u metrima na sekundu

$(t_g - t_a)$ razlika između temperature globus-termometra i zraka u °C.

Komplicirana izračunavanja mogu se izbjeći, ako se upotrebi nomogram prikazan na sl. 3.



Sl. 3. Nomogram za određivanje srednje temperature zračenja (radijacije) okoline

Skala A pokazuje razliku između globus-temperature i temperature zraka; vrijednost je pozitivna ili negativna, već prema tome, da li je globus-temperatura viša ili niža od temperature zraka. Skala

B pokazuje brzinu kretanja zraka, a skala C daje broj, koji je proporcionalan izrazu $(T_s^4 - T_G^4)$. Treba povući pravac od pripadne točke na skali A preko one točke na skali B, koja odgovara brzini kretanja zraka, sve do sjecišta sa skalom C; odatle se povuče drugi pravac do one točke na skali D, koja odgovara izmjerenoj temperaturi globus-termometra. Točka, na kojoj taj pravac siječe skalu E, odgovara srednjoj temperaturi zračenja (Bedford, 1934).

2. Toplotne skale

Kad upoređujemo dvije toplinske okoline, svakako je poželjno da imamo toplotne skale, spomoću kojih možemo izraziti sumirane efekte odijeljenih okolinskih faktora u jednom jedinom indeksu. Na pr. u dvije prostorije može biti ista temperatura zraka, pa ipak vlaga, brzina kretanja zraka i intenzitet zračenja mogu biti toliko različiti, da je sveukupni stupanj toplote, koji utječe na ljudsko tijelo, sasvim različit.

a) Efektivna temperatura

Indeks, koji se općenito upotrebljava u Sjedinjenim Državama i koji, s jednim ograničenjem, daje dobro mjerilo za toplotu okoline, jest »efektivna temperatura« (Houghten i Yagloglou, 1923, 1925.). Efektivna temperatura obazire se na temperaturu, vlagu i brzinu kretanja zraka. Računa se prema standardnim uvjetima mirnog zraka, zasićenog vodenom parom, u kojem su ljudi, ispitivani u dugoj seriji pokusa u pitsburškom laboratoriju Američkog društva inženjera za grijanje i ventilaciju, imali podjednaki osjet topline. Iako se efektivna temperatura osniva na osjetu topline, čini se, da su fiziološke reakcije usko s njom povezane, sve dok toplota okoline ne dostigne granicu izdržljivosti. Pokazalo se u posljednjih 8—9 godina, da su u vrlo velikoj vrućini, na pr. kod efektivne temperature od 32° C ili više, vrijednosti efektivne temperature previše pod utjecajem suhe temperature zraka. Trebat će još mnogo istraživanja, da bi se ljestvica efektivne temperature mogla prikladno revidirati; međutim, ona ostaje dobar indeks toplote za gotovo sve praktične potrebe.

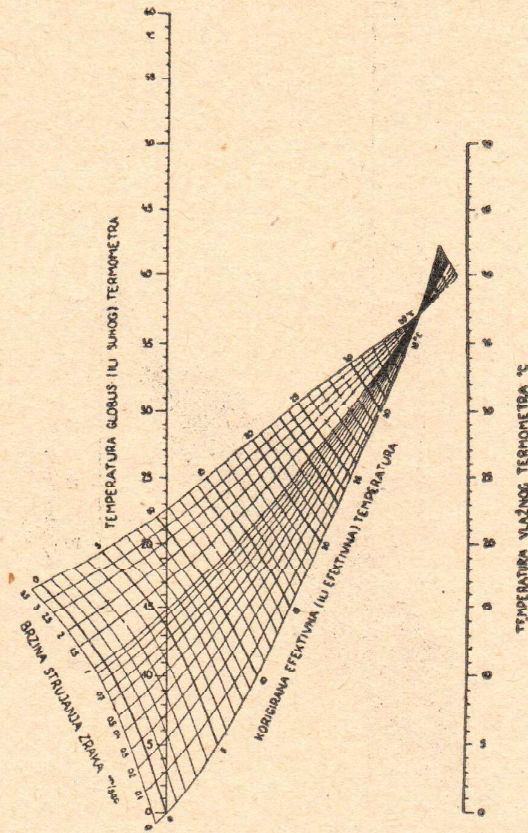
U stvari postoje dvije skale efektivne temperature, jedna, t. zv. osnovna skala, odnosi se na osobe gole do pojasa, a druga se odnosi na osobe, koje nose odijelo, kakvo se obično nosi u zgradama.

b) Korigirana efektivna temperatura

Ozbiljan nedostatak efektivne temperature jest, da se posebno ne obazire na toplinsko zračenje. Pokusi, na kojima se efektivna temperatura osniva, vršeni su u prostorijama bez naročito izvora toplinskog zračenja i u kojima su zidovi i ostale površine imale uglavnom temperaturu zraka. Tako je u naročitom slučaju, gdje je srednja temperatura zračenja jednaka temperaturi zraka, ili gdje globus-termometar pokazuje temperaturu jednaku temperaturi

zraka, efektivna temperatura adekvatno mjerilo toplote. S druge strane, ako je razlika između temperature zraka i temperature čvrstih površina u njegovoj okolini velika, treba efektivnu temperaturu korigirati s obzirom na zračenje.

Približna se korektura dobiva, ako se za izračunavanje efektivne temperature umjesto temperature zraka upotrebi temperatura, koju pokazuje globus-termometar. Tako dobivena vrijednost zove se

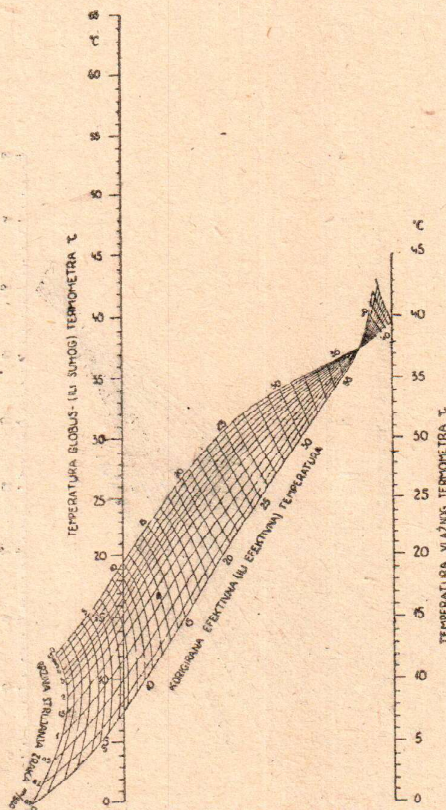


Sl. 4. Nomogram za određivanje osnovne korigirane efektivne (ili efektivne) temperature

korigirana efektivna temperatura. (Bedford, 1946.). Ta je temperatura privremeno usvojena kao indeks toplote pri mjerenjima na brodovima engleske ratne mornarice, a upotrebljava se i za mnoge civilne svrhe u Velikoj Britaniji.

Kad su izvršena potrebna instrumenta'na mjerenja, korigiranu efektivnu temperaturu ili efektivnu temperaturu možemo lako odrediti spomoću nomograma prikazanih na sl. 4. i 5.

Slika 4. prikazuje osnovnu skalu, a slika 5. skalu, koja vrijedi za odjevene osobe. Oba se nomograma mogu upotrebiti za određivanje kako efektivne tako i korigirane efektivne temperature, već prema



Sl. 5. Nomogram za određivanje normalne korigirane efektivne (ili efektivne) temperature

tome, da li je suha temperatura zraka ili g'obus-temperatura upotrebljena na vertikalnoj skali s lijeve strane. Vertikalna skala vlažne temperature zraka nalazi se s desne strane. Na nomogramu se vidi niz krivulja, koje se spuštaju s desna na lijevo, i svaka od njih predstavlja skalu efektivne (ili korigirane efektivne) temperature,

koja odgovara brzini kretanja zraka označenoj na donjem kraju krivulje. Točke, koje predstavljaju jednake efektivne temperature, spojene su krivuljama, koje omogućuju da se očita efektivna temperatura i za vrijednosti brzine kretanja zraka, koje nisu označene na skali.

Kod upotrebe nomograma treba povući pravac kroz točke na vertikalnim skalama, koje predstavljaju izmjerenu suhu temperaturu zraka (ili globus-temperaturu) i vlažnu temperaturu zraka, do točke, u kojoj on siječe krivulju, koja odgovara izmjerenoj brzini kretanja zraka: na taj se način dobiva efektivna (ili korigirana efektivna) temperatura. Tako na pr. na osnovu sl. 5, ako je temperatura globustermometra 76° F (24,4° C), vlažna temperatura 62° F (16,7° C), a brzina kretanja zraka 100 stopa/min. (0,5 m/sek.), korigirana je efektivna temperatura 69° F (20,6° C). To znači, da je kombinacija temperature zraka, vlage, kretanja zraka i toplinskog zračenja, koje smo specificirali, ekvivalentna okolini, u kojoj je zrak miran i zasićen vlagom kod temperature 20,6° C, i u kojoj je srednja temperatura zračenja također 20,6° C. Kad bi kraj iste globus-temperature i iste vlažne temperature zraka, brzina kretanja zraka bila 2 m/sek. korigirana bi efektivna temperatura bila 64° F (17,8° C).

Možda je neprilično, što su nomogrami efektivne temperature izraženi u stupnjevima Fahrenheita i u britanskim mjerama za dužinu. Prije nekoliko godina (1933) je *Missenard* izrazio normanu skalu efektivne temperature u metričkim jedinicama. Njegova jednadžba glasi:

$$T_e = 37 - \frac{1}{0,68 - 0,14e + \frac{1}{1,76 + 1,4V^{0,75}}} \cdot (37 - T_s) - 0,29T_s(1-e) \dots$$

gdje je

T_e efektivna temperatura u °C

V brzina kretanja zraka u m/sek.

e relativna vlaga podijeljena sa 100

T_s suha temperatura zraka u °C

c) Ekvivalentna temperatura

U Velikoj Britaniji inženjeri za grijanje i ventilaciju upotrebljavaju toplotnu skalu poznatu pod imenom *ekvivalentne temperature*. Ona uzima u račun toplinsko zračenje, kretanje zraka i temperaturu zraka, ali se ne obazire na vlagu u zraku. Zato se ta skala ne može upotrebiti pri temperaturi, koja je znatno iznad 22° C, i ne može se primijeniti na mnoge prilike, koje nalazimo u industri-

jama gdje vlada velika vrućina, i u vrućim klimama, ali ona je ipak dragocjena, kad se radi o grijanju soba naročito toplinskim zračenjem.

Ekvivalentna se temperatura mjeri direktno spomoću *eupateoskopa*, koji je 1932.—1936. g. izradio *Dufton* u Stanici za građevinska istraživanja u Engleskoj. Eupateoskop je crn, električki grijani valjak, visok 56 cm, promjera 19 cm. Površinska temperatura tog valjka odgovara otprilike temperaturi odjevenog ljudskog tijela i mijenja se s temperaturom okoline gotovo na jednaki način. Ekvivalentna temperatura, koju instrument pokazuje, jest temperatura jednoličnog zatvorenog prostora, u kojem bi, pri mirnom zraku, eupateoskop gubio toplinu jednako brzo kao i u okolini, koja se istražuje.

Nije uvijek moguće upotrebiti eupateoskop, ali se ekvivalentna temperatura može lako procijeniti iz poznatih individualnih termalnih faktora spomoću jednadžbe, koju sam postavio prije nekoliko godina (1936):

$$t_{eq} = 0,522 t_a + 0,478 t_w - 0,207 \sqrt{v} (37,7 - t_a)$$

gdje je

t_{eq} ekvivalentna temperatura u °C

t_a temperatura zraka u °C

t_w srednja temperatura zračenja u °C

v brzina kretanja zraka u m/sek.

Pa i onda, kad raspoložemo eupateoskopom, mjerenje je individualnih termalnih faktora vrlo poželjno, da bi se lakše moglo odlučiti, kako da se isprave nepovoljni uvjeti.

d) *Katatermometar*

Katatermometar je najprije primijenio *Leonard Hill* kao instrument za mjerenje toplote okoline. Taj je instrument upotrebljen za mjerenje suhe i vlažne temperature, i podaci koji su spomoću njega dobiveni, izraženi su kao suha »kata-sposobnost hlađenja« i »vlažna kata-sposobnost hlađenja«. Smatralo se, da kata-sposobnost hlađenja predstavlja sposobnost okoline, da hladi ljudsko tijelo, ali to nije točno; ona samo pokazuje brzinu, kojom rezervoar termometra gubi toplinu. S obzirom na to, da je katatermometar mnogo manjih razmjera, zračne struje izazivaju kod njega jače hlađenje, nego kod ljudskog tijela. Ta osjetljivost katatermometra na vjetar čini ga odličnim anemometrom, ali je on zato nepouzdan kao instrument za mjerenje toplote.

III. TOPLOTA I UDOBNOST

1. Uvod

Poznato je, da pojedincima treba različit stupanj toplote, da bi se osjećali udobno. U stvari se i potrebe jedne iste osobe mijenjaju od vremena na vrijeme. Osjet toplote ne zavisi samo od toplote okoline. Razlike u odjeći, u mišićnoj djelatnosti, u ishrani, starosti, tjelesnoj konstituciji i aklimatizaciji utječu na osjet toplote.

S obzirom na to, da ti različiti faktori utječu na naše reakcije prema okolini, jasno je, da nije moguće propisati u nekoj prostoriji stupanj toplote, koji bi sigurno zadovoljio sve ljude, koji se u njoj nalaze. Ali s druge strane isto je tako očito, da oni, koji rukovode centralnim grijanjem, moraju nastojati da ostvare neku određenu temperaturu, i za njih je važno da znaju, koja će temperatura najbolje odgovarati većini ljudi.

Istina, može se ustanoviti, koja će temperatura biti u najvećoj mjeri poželjna, ali to često nije dovoljno. Ako nema dobre automatske kontrole uređaja za grijanje, nemoguće je točno održavati neku određenu temperaturu, i zato je korisno da se zna, koja se odstupanja od standardne temperature mogu dopustiti, t. j. treba poznavati granice zone udobnosti.

S jedne strane radi toga, da odredim granice zimske zone udobnosti za osobe, koje rade sjedeći ili vrše laki rad, a s druge strane radi ispitivanja ispravnosti raznih toplotnih skala kao indeksa udobnosti, ja sam prije nekoliko godina vršio istraživanja udobnosti u odnosu na toplotu okoline. Zanimljivi su glavni rezultati tog istraživanja (*Bedford*, 1936.).

Rad je izvršen u 12 tvornica s raznim metodama grijanja i ventilacije. Opažanja su izvršena u zimskim mjesecima, kad su uređaji za grijanje bili u upotrebi.

Vršena su instrumentarna mjerenja toplinske okoline, a radnici u neposrednoj blizini mjesta istraživanja bili su ispitivani s obzirom na toplotnu udobnost. Zatim je mjerena kožna temperatura ruke, noge i čela svakog radnika i radnice i prosječna površinska temperatura njihova odjevena tijela.

Izvršeno je u svemu preko 3.000 nizova opažanja. Neka su opažanja izvedena u naročitim prilikama, i ona su odvojeno raspravljena. U glavnom nizu, na koji se odnosi ovo razmatranje, bilo je oko 2.600 opažanja.

Izjave o udobnosti, koje su radnici dali, klasificirane su u 7 grupa:

opći osjet topline	ocjena
vruće	1
previše toplo	2
ugodno toplo	3
ugodno	4
ugodno hladno	5
previše hladno	6
leđeno	7

Osobe, koje su izjavile, da im je ugodno, nisu imale nikakve žeđe, da im bude hladnije ili toplije. Onima, koji su izjavili, da im je ugodno toplo, nije bilo neugodno, ali bi im bilo ugodnije, da je bilo malo hladnije, i obrnuto onima, koji su izjavili, da im je ugodno hladno, bilo bi ugodnije, da je bilo malo toplije. Izjave »previše hladno«, »leđeno«, »previše toplo«, »vruće«, označivale su očito osjećaj neudobnosti. U statističke svrhe te su izjave klasificirane spomoću prije iznijetih ocjena.

Kod tog ispitivanja toplinski su se faktori kretali u ovim područjima:

Toplinsko mjerenje	Prosječna vrijednost	Područje
Temperatura zraka u °C	18,0	od 12 do 24,5
Srednja temperatura zračenja °C	19,5	od 12 do 27
Apsolutna vlaga (pritisak vodene pare u mm žive)	7,2	od 5 do 14
Brzina kretanja zraka (m/sek.)	0,15	od 0,05 do 0,5

Prosječna temperatura zraka bila je vrlo slična prosječnoj vrijednosti srednje temperature zračenja, ali kod individualnih opažanja bilo je priličnih razlika. U nekim slučajevima srednja temperatura zračenja bila je 2 5° C ili 3° C ispod temperature zraka, a u drugima je bila 8° C ili više iznad nje.

2. Pouzdanost toplotnih skala

Osim toplotne okoline utječu i drugi faktori na naš osjet toplotne; ljudi se razlikuju prema stupnju toplotne, koja im je potrebna za osjećaj udobnosti. Podaci, koje sam skupio u vrijeme svog ispitivanja, jasno su pokazali različna gledišta s obzirom na »ugodnu toplotinu«. Prosječan se čovjek osjećao »udobno« kod temperature od $18,3^{\circ}\text{C}$, a ipak, dok je od 319 ljudi 79% izjavilo, da se osjećaju »udobno« kod temperature između $17,8^{\circ}\text{C}$ i $18,8^{\circ}\text{C}$, 21% bilo bi voljelo višu ili nižu temperaturu. Od ovih posljednjih 3% su osjećali neugodno toplo, a 4% neugodno hladno.

Adekvatnost raznih toplotnih skala kao indeksa udobnosti provjerena je izračunavanjem zavisnosti raznih varijabla među sobom. Ne treba ovdje iznositi detaljne koeficijente korelacije.

Od svih toplotnih skala, koje su uzete u obzir, korelacija između vrijednosti na toplotnoj ljestvici i izjava o udobnosti bila je najbolja za ekvivalentnu temperaturu; ali ni globus-temperatura, efektivna temperatura i temperatura zraka nisu mnogo zaostajale, tako da u stvari nije bilo statistički značajne razlike u rezultatima za te tri skale kao indeksa udobnosti. Naprotiv se suha kata-sposobnost hlađenja pokazala kao znatno slabiji indeks udobnosti.

Ako zajedno razmotrimo rezultate te isporodbe i fizikalne karakteristike raznih skala, jasno je, da je do temperature od otprilike 21°C — 24°C ekvivalentna temperatura najbolja od skala, koje smo istraživali. Ona se može upotrijebiti u širokom području brzina strujanja zraka; ona se obazire i na toplinsko zračenje i na temperaturu zraka.

Ipak u prosječnoj radionici ili uredu obično nema znatnog kretanja zraka, i za takve prilike su obični podaci, koje daje globus-termometar, dobar indeks, jer oni zavise kako od zračenja tako i od kretanja zraka.

U mnogim zgradama s centralnim grijanjem srednja temperatura zračenja ne razlikuje se bitno od temperature zraka, a nema ni jakog zračnog strujanja. Zato i obični termometar daje dobru indikaciju toplote u takvim prilikama.

U ovom istraživanju nije skala efektivne temperature pokazala nikakve prednosti prema podacima, koje je davao obični termometar. U vezi s tom konstatacijom treba, dakako, imati pred očima, da kod tih istraživanja nismo našli na visoke temperature, tako da nedostatak termometra sa suhim rezervoarom, koji ne uzima u obzir atmosfersku vlagu, nije imao ozbiljnih posljedica u rezultatima. Zanimljivo je napomenuti, da su neki američki autori nedavno našli bolju korelaciju između izjava o udobnosti i temperature zraka, nego između izjava o udobnosti i efektivne temperature. Ta su istraživanja vršena u jednom američkom uredu kod temperature zraka, koja se obično smatra kao prilično udobna. Naprotiv, prema

podacima nekih drugih američkih autora čini se, da su efektivna temperatura i suha temperatura zraka jednako dobri indeksi udobnosti.

3. Zona udobnosti zimi

Katkada se kao granice zone udobnosti smatraju prilike, u kojima barem 50% ispitanika izjavljuju, da im je »ugodno hladno« do »ugodno toplo«, a u drugim slučajevima su za granice udobnosti uzete temperature, pri kojima je prosječna udobnost »ugodno toplo« ili »ugodno hladno«. Zona, koja se definira na taj način, obično je preširoka i ne osigurava osjećaj udobnosti velikoj većini, jer će u blizini granica zone priličan procenat očito osjećati, da im je pretoplo ili prehladno.

Na osnovu vlastitih podataka preporučujem kao zonu, koja je iz praktičkih razloga poželjna, ono područje toplinskih prilika, kod kojih je bar 70% ispitanika izjavilo, da se osjećaju »ugodno«. U toj zoni je bar 86% izjava bilo između »ugodno hladno« i »ugodno toplo«, tako da je samo 14% ispitanika imalo stvarni osjećaj neugodnosti. Ta zona udobnosti je izražena u ovoj tablici spomoću raznih mjera toplote:

Toplinska skala	Najugodnija temperatura	Temperatura (°C), između kojih je bar 70% ispitanika izjavilo, da se osjećaju »ugodno«
Ekvivalentna temperatura	16,8°	14,5° do 18,9°
Globus-temperatura	18,4°	16,7° do 20,0°
Efektivna temperatura	16,0°	14,0° do 17,2°
Suha temperatura zraka	18,2°	15,5° do 20,0°

Te temperature vrijede za ljude, koji nose normalnu odjeću u zgradama i koji vrše lak posao. Mogu se primijeniti na zimske prilike u Vel. Britaniji.

Za ljude, koji su fizički aktivniji, poželjne su niže temperature. Za njih nisu ustanovljene zone udobnosti na osnovu opširnih ispitivanja, ali iskustvo uči, da je za aktivan, a ipak lak rad poželjna temperatura zraka između 15,5° i 18,3° C, a za teži rad od 12,8° do 15,5° C.

4. Zona udobnosti ljeti

Bez klimatizacije u vrućim danima ne će uvijek biti moguće da se temperatura u zgradama održi u zimskoj zoni udobnosti, ali ljeti nije ni poželjno, da temperatura bude tako niska. Mi se aklimatiziramo na više temperature i lakše smo obučeni nego zimi.

Iz rezultata američkih istraživanja proizlazi, da je najidealnija efektivna temperatura ljeti samo oko 2°C viša od temperature zimi, ali to ne znači, da u klimatiziranim zgradama zrak treba toliko hladiti, da bi njegova temperatura bila tako blizu one temperature, koja je predviđena za zimu. U nekim geografskim prilikama čovjek može biti neprijatno rashlađen, ako uđe u hladnu zgradu iz vanjske vrućine. Takvo ohlađenje se obično ne osjeća, kad se ostavlja toplo prostorija u hladnom vremenu, jer se onda obično oblači više odjeće prije izlaska iz zgrade. Ljudi različito reagiraju na prijelaze iz vanjske vrućine u hladnu unutrašnjost klimatizirane prostorije. U jednoj američkoj radnji navodi se, da većina ljudi voli promjenu na hladno, ali da kod nekih to izaziva nelagodnost ili čak štetne prehlade. U drugim pokusima je prijelaz iz sobe od 35°C sa 40% vlage u hladniju sobu od 28°C sa 45% vlage uzrokovao kod nekih osoba jaku prehladu. Iz tih se pokusa može zaključiti, da je, kad su odijelo i koža mokri, nagli pad temperature od $5,5^{\circ}\text{C}$ ili više štetan za priličan procenat ljudi.

Naprotiv, u vrućim i suhim klimama može se podnijeti prilično ohlađenje. Tako se u Abadama na Perzijskom zaljevu, gdje temperatura u sjeni može prijeći 49°C , sobe hlade do 21°C (sa samo 50% relativne vlage) na veliko zadovoljstvo stanovnika. U takvim klimama znoj se brzo isparuje, tako da je odjeća jedva važna, i kad ljudi u'aze u zgradu, ne osjećaju hlađenje, koje dolazi od preznojene odjeće.

5. Utjecaj pojedinih termičkih faktora na udobnost

Na osnovu podataka dobivenih u mojim istraživanjima izvršenim na tvorničkim radnicima, može se izračunati relativna važnost, koju imaju četiri termička faktora (toplinsko zračenje, temperatura, vlaga i strujanje zraka) u svom djelovanju na subjektivni osjet toplote u istraživanom toplinskom području. Možda nije neinteresantno navesti zaključke, koji se odnose na toplinsko zračenje i na vlagu u atmosferi.

a) *Toplinsko zračenje*

Ako su temperatura zraka i srednja temperatura zračenja konstantne, porast brzine kretanja zraka povećava gubitak toplote konvekcijom, a smanjenjem površinske temperature tijela izaziva smanjenje u gubitku zračenjem. Zato bi se moglo očekivati, da će povećanjem kretanja zraka biti smanjen utjecaj srednje temperature zračenja na udobnost u odnosu na utjecaj temperature zraka. To očekivanje je potvrđeno mojim podacima, iako je utvrđena brzina zraka iznosila samo do 0,5 m/sek. Prema tome, ako računamo prosječni osjet toplote, koji nastaje, kad su temperatura zraka i srednja temperatura zračenja $18,3^{\circ}\text{C}$, napetost vodene pare 9 mm žive, a brzina zraka samo 0,05 m/sek, i ako zatim računamo, do koje visine treba podići srednju temperaturu zračenja, da bismo kompenzirali

sniženje temperature zraka na $15,5^{\circ}\text{C}$ s tim, da ostali uvjeti ostanu konstantni, naći ćemo, da je potrebna srednja temperatura zračenja $21,4^{\circ}\text{C}$. To znači, kad je brzina zraka $0,05\text{ m/sek}$, (što se često događa u zatvorenim prostorijama, u kojima je konvekcija slaba), sniženje temperature zraka za $2,8^{\circ}\text{C}$ kompenzirano je porastom od $3,1^{\circ}\text{C}$ u srednjoj temperaturi zračenja. Slična izračunavanja pokazuju, da kod brzine kretanja zraka od $0,25$ i $0,5\text{ m/sek}$ odgovarajući kompenzativni porast u srednjoj temperaturi zračenja iznosi $3,3^{\circ}$ i $3,7^{\circ}\text{C}$.

b) Atmosferska vlaga

Kod temperatura u zoni udobnosti ili blizu nje vrlo je malen utjecaj umjerene promjene u relativnoj vlazi na osjećaj toplote. Što se toga tiče, slaže se većina onih, koji su vršili ispitivanja posljednjih godina. Iz mojih podataka može se izračunati, da u mirnom zraku čovjek osjeća jednako toplo u sobi, u kojoj su zrak i zidovi $21,1^{\circ}\text{C}$, a relativna vlaga 32% kao u sobi, u kojoj temperatura iznosi $20,6^{\circ}\text{C}$, a relativna vlaga 50% . Prema tome će se kod ove temperature promjena od $0,5^{\circ}\text{C}$ u sobnoj temperaturi kompenzirati promjenom od 18% u relativnoj vlazi. Kod $15,6^{\circ}\text{C}$ promjena od 23% u relativnoj vlazi ekvivalentna je promjeni od $0,5^{\circ}\text{C}$ u temperaturi zraka i okoline.

6. Izvori neudobnosti

a) Hladne noge

Mnoge osobe, koje sam ispitivao za mojih istraživanja, spontano su se žalile, da su im noge hladne. Procenat onih, koji su se žalili, bio je, kao što se moglo očekivati, sve manji, što je temperatura bila viša, ali se ne bi moglo reći, da je bilo žalbi samo u hladnoj okolini, jer su se neki žalili, i kad je temperatura zraka bila iznad 19°C . Kao što se moglo očekivati, broj žalbi je u užoj vezi s temperaturom u razini poda, nego u visini glave. Kad je temperatura na 15 cm od poda bila između 10° i $12,2^{\circ}\text{C}$, žalio se svaki šesti, a kod temperature od 19° do 21°C žalio se samo svaki šezdeseti.

Te se žalbe teško mogu pripisati jakom propuhu kod nogu, jer je brzina kretanja zraka u visini od 15 cm bila u 88% slučajeva manja od $0,25\text{ m/sek}$, a u 45% slučajeva bila je ispod $0,15\text{ m/sek}$.

Proučavanje podataka o temperaturi kože pokazalo je, da su kod određene sobne temperature oni, koji su se žalili na hladne noge, doista imali noge hladnije od prosjeka, ali je ta razlika bila manja od temperature, pri kojoj bi se moglo očekivati tužbe. Veća je razlika nađena između izjava o udobnosti i temperature kože, i to zato, jer je onima, koji su se žalili na hladne noge, trebala viša temperatura kože, da bi im bilo ugodno, nego njihovim drugovima.

Kad se ljudi neugodno osjećaju zbog hladnih nogu, a pri tome stoje na betonu, imaju tendenciju, da tu neugodnost pripišu betonu. Nedavno su dva moja kolege, *Dr. Munro* i *Chrenko*, proučavali učinak temperature i brzine kretanja zraka, i raznih tvari, iz kojih

se pravi pod, na osjet toplote i temperaturu kože nogu. Ispitivani materijali za pod varirali su od betona do pluta. Ustanovljeno je, da ima nivo temperature zraka, negdje između 12,8° i 18,3° C, iznad kojeg je toplinska vodljivost materijala za pod bez utjecaja, ako su noge obuvene. Ispod te temperature podovi, koji su dobri vodiči topline, nisu prikladni, ali kod viših temperatura čini se, da je temperatura zraka dominantni faktor, koji utječe na udobnost nogu.

b) Propuh

Neke od osoba, koje sam ispitivao, žalile su se na propuh. Čini se, da čestina žalbi nije toliko ovisila o brzini kretanja zraka u visini glave, koliko o kretanju zraka u razini nogu. Kad je brzina kretanja zraka 15 cm nad podom bila veća od 0,2 m/sek, žalbe su bile češće, a naročito su učestale, kad je brzina kretanja zraka prešla 0,25 m/sek. Ali bilo je žalbi i onda, kad je brzina kretanja zraka u razini nogu bila manja od 0,1 m/sek.

Slično onima, koji su se žalili na hladne noge, imali su i ljudi, koji su se tužili na propuh, temperaturu kože nešto ispod prosjeka i vjerojatno im je zato za osjećaj udobnosti bila potrebna toplija okolina nego prosječnom čovjeku.

IV. UGODNA SREDINA

U vrijeme rata 1914.—1918. Komitet za zaštitu zdravlja u tvornicama municije postavio je ove kriterije za poželjnu atmosferu pri radu:

- a) hladna bolje nego topla,
 - b) suha bolje nego vlažna,
 - c) u pokretu bolje nego mirna i
 - d) promjenjiva u temperaturi bolje nego jednolična i monotona.
- U tim je prilikama radnik bodar, a nije razdražljiv, svjež je, a nije trom. Naši osjećaji svježine i tromosti vezani su s našim doživljajem opće tjelesne topline, jer i jedni i drugi, iako nisu identični, zavise od opće toplinske okoline.

Da li ćemo osjećati ugodno, previše hladno ili previše toplo, u skladu s izrazima, koje smo upotrebili prije u poglavlju o »Toplini i udobnosti« — zavisi od sumiranih efekata okoline na površinu cijelog tijela. Osjećaj svježine je posljedica podražaja, koje vrši okolina na lokalna područja kože. Često označujemo atmosferu, koja se osjeća kao svjež, »podražujućom«, i to je doslovno točno u fiziološkom smislu, jer okolina, koja se osjeća kao svjež, doista podražuje osjetne živčane završetke u koži, koji su razvijeni za primanje toplinskih osjeta. Podraživanje zavisi od promjene. Zato, ako tijelo ostane u potpunoj ravnoteži sa svojom okolinom, tako da nikakva promjena ne nastupa u temperaturi kože ili u temperaturi dubljih tkiva, živčani završeci u koži, koji reagiraju na promjene temperature kože, nisu podraženi, pa ne nastaje nikakav osjet topline ili hladnoće. U takvim prilikama čovjek će osjećati »ugodno« prema našoj skali općih osjeta topline, ali okolina se može ocijeniti kao sparna.

1. Opažanja o utjecaju atmosferskih prilika

Podražujući utjecaj promjenljivih uvjeta naročito je istaknut u referatu *Sir Leonarda Hilla* »O nauci o ventilaciji i liječenju na slobodnom zraku«, koji je objavljen 1919. godine. Nekoliko godina kasnije *dr. Vernon*, *dr. Warner* i ja vršili smo sistematska istraživanja o svom osjećaju svježine, dok smo mjerili atmosferske prilike u nizu tvornica. Nekoliko godina kasnije, *dr. Warner* i ja ponovo smo provjerili te podatke (*Bedford* i *Warner*, 1939.).

Objektivna mjerenja, koja smo vršili, odnosila su se na temperaturu zraka, njenu promjenljivost, prosječnu brzinu kretanja zraka, promjenljivost u brzini kretanja zraka i relativnu vlagu. Od svih tih faktora prosječna je temperatura zraka bila najuže povezana s osjećajem svježine. U hladnoj se sobi čovjek uglavnom osjeća svježije nego u toploj, i određena promjena u temperaturi zraka ima veći utjecaj na osjećaj svježine kod opažanja, koja smo vršili zimi, kad je prosječna temperatura $16,1^{\circ}\text{C}$, nego ljeti pri prosječnoj temperaturi od $21,7^{\circ}\text{C}$.

Povećanje brzine kretanja zraka također je pojačalo osjećaj svježine. Osvježujući utjecaj kretanja zraka jače se očitovao ljeti, kad su pretezale više temperature.

Promjenljivost u brzini kretanja zraka ispitivali smo anemometrom s ugrijanom žicom. Brzinu kretanja zraka očitavali smo u intervalima od 2 ili 2,5 sekunde za vrijeme od 5 minuta, a srednju varijaciju prosječne brzine kretanja zraka izrazili smo kao procenat prosječne brzine. Kad smo uzeli u obzir srednju temperaturu i srednju brzinu kretanja zraka, našli smo kod ljetnih ispitivanja — kad prosječna brzina zraka vrši važan utjecaj na svježinu — vrlo značajnu vezu između svježine i promjene kretanja zraka. Promjenljive zračne struje mnogo su više osvježavajuće nego struje jednoličnije brzine. Čak i u hladnijim prilikama, kod opažanja izvršenih zimi, činilo se, da je povoljnije promjenljivo kretanje zraka, ali rezultati nisu bili statistički značajni, a promjene u brzini bile su očito mnogo manje važne nego ljeti.

U vrijeme zimskih istraživanja upotrebili smo osjetljivu bateriju termočlanaka za mjerenje temperature zraka u intervalima od 2,5 sekunde, tako da smo mogli izračunati srednje varijacije temperature. Nađene varijacije bile su neznatne. U 30% slučajeva srednja je varijacija od prosječne temperature bila manja od $0,1^{\circ}\text{C}$, a u 73% slučajeva bila je ispod $0,2^{\circ}\text{C}$. Samo u 4% slučajeva varijabilitet je bio $0,6^{\circ}\text{C}$ ili više. Te male promjene u temperaturi nisu imale nikakav osjetljiv utjecaj na osjećaj svježine.

Već smo utvrdili, da je kod sobne temperature, koju nalazimo zimi u Velikoj Britaniji, utjecaj atmosferske vlage na naš osjet topline malen. Ali, čini se, da promjene u vlazi, koje su nedovoljne da izazovu osjetljiv utjecaj na osjet topline, mogu imati jasan utjecaj na naš osjećaj svježine. U tim se istraživanjima atmosferska vlaga

mjerila samo zimi. Relativna vlaga kretala se između 40 i 85% s prosječkom od 60%. Ako se uzme u obzir temperatura zraka i prosječna brzina kretanja zraka, onda još uvijek postoji značajna sveza između relativne vlage i osjećaja svježine; u suhoj atmosferi imamo osjećaj svježine, a u vlažnoj imamo osjećaj sparine. Prema podacima dobivenim tom prilikom, porast od 8,5% u relativnoj vlazi može biti kompenziran padom od 1°F ($0,55^{\circ}\text{C}$) u temperaturi zraka. Taj utjecaj vlage otprilike je tri puta veći nego što bi se moglo očekivati prema istraživanjima o općem osjetu topline.

2. Utjecaj topline zračenja

Već je gotovo prije 100 godina komisija britanskog Općeg komiteta za zdravlje preporučila kao jedan od uvjeta udobnosti, da temperatura zidova bude bar tako visoka kao temperatura sobe.

U vrijeme istraživanja, koja smo izvršili prije 15 godina *dr. Warner* i ja, osjetili smo zapan, iako smo se inače ugodno osjećali. Jedino objašnjenje, koje smo mogli naći, bilo je, da je u tim prilikama srednja temperatura zračenja bila $3,3^{\circ}\text{C}$ ili više ispod temperature zraka. Mi smo bili uvjereni, da je komisija Općeg komiteta imala pravo, ali još uvijek nismo imali statistički valjan dokaz u prilog našem zaključku.

Nedavno su dva moja kolege, *dr. Munro* i *Chrenko*, koji rade na Stanici za građevinska istraživanja, skupili statistički značajne podatke, prema kojima — kod jednake temperature — kombinacija toplih zidova s hladnim zrakom djeluje svježije nego hladni zidovi s toplim zrakom. U prvom je slučaju apsolutna vlaga zraka bila niža, i vjerojatno je to bio u velikoj mjeri uzrok osjećaju svježine.

3. Lokalni osjeti topline i hladnoće

Osjetljivost kože za promjene u toplinskoj okolini vrlo je velika. *Hardy* i *Oppel* proučavali su u New Yorku osjete temperature, koji su bili izazvani djelovanjem toplinskog zračenja na određene površine kože. Oni su ustanovili, da se, ako zračena površina kože nije manja od 200 cm^2 , osjet topline pojavljuje za 3 sekunde, ako se u to vrijeme temperatura te površine kože povisi za $0,003^{\circ}\text{C}$. Najmanji intenzitet zračenja, koji je mogao da izazove taj učinak, bio je $0,00015\text{ g. kal. na cm}^2/\text{sek}$.

Ako se hlađenje kože vrši izmjenom zračenja između kože i bloka čvrstog ugljičnog dioksida, povećanje gubitka zračenjem iz kože od $0,0003\text{ g. kal. na cm}^2/\text{sek}$. izaziva osjet hladnoće u 3 sekunde, i u to se vrijeme temperatura kože, koja je bila podvrgnuta zračenju, smanjila za $0,012^{\circ}\text{C}$.

Jednake promjene kao one, za koje su *Hardy* i *Oppel* ustanovili, da uzrokuju temperaturne osjete, mogle bi nastati, ako se temperatura površina, koje zrače u sobi, naglo povisi za otprilike 1°C ili ako se smanji za 2°C . Promjene u atmosferskim prilikama, koje bi

izazvale slična nagla skretanja u konvekciji ili gubicima zbog isparivanja kože, isto bi tako izazvale temperaturne osjete.

U svakom slučaju nagle promjene izazivaju osjete. Moguće je, ili čak vjerojatno, da promjene u okolini, koje su premanene ili prespore da izazovu osjete, mogu ipak staviti u pogon mehanizam za termoregulaciju tako, da se površinska temperatura tijela pomalo prilagođuje uvjetima, koji se sporo mijenjaju i bez popratnih temperaturnih osjeta.

Osjećaj svježine, koji smo opazili moji kolege i ja, bio je gotovo sigurno izazvan temperaturnim podražajem kože, kao što je i podražaj, koji su proučavali spomenuti američki naučni radnici. Svaka promjena u smjeru kretanja zraka i svaka mala kretnja tijela izvrgnut će druge površine kože kretanju zraka i tako će omogućiti, da dođe do naglih promjena, koje su potrebne za stimulaciju. Dalju stimulaciju izazivaju promjene u brzini kretanja zraka, a u dobro ventiliranoj sobi takve su promjene često nagle. Nismo opazili, da su promjene temperature, koje su se desile prilikom naših istraživanja, utjecale na naš osjećaj svježine; to opažanje je u skladu sa spomenutom američkom radnjom, jer su te promjene bile premanene, da bi bile dovoljne za stimulaciju.

4. Temperaturni gradijenti

Već 1857. g. razboriti su članovi već spomenute komisije Općeg komiteta za zdravije u svom referatu o grijanju i ventilaciji zgrada za stanovanje izjavili, da u udobnom i zdravom stanu pod mora imati najvišu temperaturu u sobi, i da se temperatura mora postepeno smanjivati od poda prema stropu. Oni su objavili velik broj opažanja o temperaturi na raznim visinama u određenim sobama. Tim preporukama se obratilo malo pažnje, pa se i danas uvode sistemi grijanja — često u industrijskim zgradama — koji stvaraju velike temperaturne razlike između poda i stropa, tako da je zrak blizu poda mnogo hladniji nego oko glave.

Takve metode grijanja nisu povoljne, jer uzrokuju osjet hladnoće u nogama i izazivaju osjećaj zapare. Kod istraživanja u tvornicama često smo našli sisteme grijanja, kod kojih je zrak u visini glave bio za 3,5—4,5° C topliji nego blizu poda, a katkada smo, štoviše, našli i razlike od 5,5 ili 6° C. U takvim radištima redovno smo imali osjećaj zapare i nelagodnosti.

Slični nerožetni efekti nastaju, ako je glava izložena prekomjernom toplinskom zračenju. U jednoj tvornici, u kojoj smo moj kolega i ja proveli dosta vremena, zrak je u visini glave katkada bio 5,5° C topliji nego u blizini poda i osim toga toplinsko zračenje blizu glave bilo je jako, dok su noge radnika bile zaklonjene radnim stolicama. Takve prilike su loše, i nije bilo nikakvo čudo, što su se mnoge radnice tužile, da im je uglavnom pretoplo, ali da su im noge neugodno hladne.

5. Atmosferski elektricitet

Već preko 100 godina razmišljaju autori, koji se bave ventilacijom, o mogućnosti utjecaja atmosferskog elektriciteta na udobnost. Ponovo je oživio interes za tu stranu problema ventilacije, kad su njemački autori prije gotovo 20 godina ustvrdili, da pozitivno nabijeni ioni povećavaju brzinu stvaranja topline u tijelu, ubrzavaju bilo, povećavaju krvni tlak i uzrokuju neugodne simptome kao što su glavobolja, mučnina i osjećaj opće nelagodnosti. Naprotiv, negativno nabijeni ioni su navodno uzrok dobrog osjećanja, i oni smanjuju fiziološke reakcije, koje su izazvane pozitivnim ionima. Tvrđilo se, da na pacijenta s visokim krvnim tlakom dobro djeluje boravak u negativno ioniziranom zraku.

Te su tvrdnje mogle biti važne za ventilaciju, i neke grupe američkih stručnjaka uložile su mnogo truda, da brižno preispitaju tvrdnje njemačkih učenjaka.

U nastanjenim je sobama sadržaj zraka na ionima otprilike isti kao izvan zgrade, ali u nastanjenim sobama je broj pozitivnih i negativnih iona mnogo manji. Zbog difuzije i adsorpcije na metalnim vodičima, mehanička ventilacija smanjuje sadržaj iona u zraku do 30%. Kod »pranja zraka« svi se mali ioni gube, a stvaraju se mnogi veliki negativni ioni.

Jedna grupa istraživača izvrнула je određeni broj osoba umjetno ioniziranom zraku, u kojem je koncentracija iona bila 100—200 puta veća nego napolju. Njihov nalaz bio je neodređen, i oni su zaključili: »U uvjetima sadašnjih eksperimenata nije utvrđeno ništa definitivno, što bi opravdalo primjenu umjetne ionizacije u općoj ventilaciji.« U kasnijim pokusima s dezioniziranim zrakom, koje je izvršio jedan član te grupe, nije se moglo utvrditi, da taj zrak ima ma kakav naročit utjecaj.

I u drugim pokusima nije se pronašao nikakav utjecaj ioniziranog zraka na normalnu osobu. Dalji pokusi s ljudima, koji trpe od cirkulatornih smetnja ili od visokog krvnog tlaka, nisu mogli utvrditi bilo kakav efekt visoke koncentracije iona.

Na osnovu svih tih podataka može se zaključiti, da razlike, koje se normalno javljaju s obzirom na količinu iona u nastanjenim prostorijama, nemaju nikakav značajan utjecaj na stanovnike.

6. Fizički uvjeti prikladnog grijanja i ventilacije

Prema predašnjim izlaganjima možemo rezimirati fizičke uvjete, kojima treba da udovolje sistemi grijanja i ventilacije. Ti su uvjeti:

a) Soba mora biti adekvatno grijana, ali ne smije biti pregrijana, jer svježina raste s padom temperature.

b) Potrebno je adekvatno kretanje zraka, ali bez neprijatnih propuha. Zimi brzina kretanja zraka u tvornici obično iznosi pro-

sječno 0,15 m/sek. i redovno se nalazi između 0,1 i 0,2 m/sek. Kad je brzina kretanja zraka znatno ispod 0,1 m/sek, neki će se ljudi žaliti na sparinu. Zato je ljeti, ili u vrućim tvornicama, poželjna veća brzina kretanja zraka od navedene.

c) Kretanje zraka mora biti promjenljivo.

d) Relativna vlaga zraka ne smije prijeći 70%, a bolje je, ako je znatno ispod te vrijednosti. Nema pouzdanih dokaza, da je u engleskoj klimi potrebno za udobnost umjetno vlaženje zraka.

e) Prosječna temperatura zidova i ostalih površina, koje zrače, mora biti viša nego temperatura zraka.

f) Zrak u visini glave ne smije biti znatno topliji nego kod nogu, a glave stanovnika ne smiju biti izložene pretjeranoj toplini zračenja.

V. TOPLINA, RAD I SIGURNOST

1. Radna sposobnost i atmosfere prilike

Težak rad postaje sve naporniji, ako se vrši u velikoj vrućini. U hladnoj sredini (ako su ruke hladne) rad, za koji treba spretnost, često postaje neuspješan. Razna istraživanja, izvršena u vrijeme prošle generacije, pokazala su, da toplinska okolina utječe na izvršenje industrijskih zadataka.

Smanjena spretnost ruku kod neugodno niskih temperatura dokazana je laboratorijskim eksperimentima, o kojima smo pisali *Vernon, Warner* i ja 1930. g. Mi smo oponašali industrijski proces dajući ispitaniku da sastavlja članke lanca za bicikl. Kad je temperatura u sobi bila 10° C, vrijeme potrebno da se izvrši zadatak bilo je 12% duže nego kod temperature od 17° C. Kod niže temperature bile su nam ruke očito hladne.

Djelovanje visoke temperature na smanjenje kvaliteta i brzine ručnog rada utvrđeno je u mnogim industrijskim istraživanjima. Tako je kod proučavanja u rudnicima ugljena (*Vernon, Bedford* i *Warner, 1927.*) ustanovljeno, da brzina rada opada, a vrijeme provedeno u kratkim odmorima raste s porastom temperature. Pri povećanju vlažne temperature od 15° na 28° C računalo se, da radna sposobnost rudara opada za 41%.

Dalji dokaz nepovoljnog utjecaja prevelike vrućine na brzinu i kvalitet teškog rada u industriji proizlazi iz podataka o sezonskim fluktuacijama proizvodnje. Utvrđeno je, da je kod onog rada, koji se vrši pri visokoj temperaturi, najveća produktivnost zimi, najmanja ljeti, a srednja u jeseni i proljeću. Takve fluktuacije opažene su u industriji čelika (*Vernon, 1920*) i stakla (*Farmer, Brooke* i *Chambers, 1923*).

Uska veza između vanjske temperature i produktivnosti nađena je u tvornici bijelog lima (*Vernon, 1919*). Produktivnost je u augustu

bila za 10% manja nego u decembru i januaru. U industrijama, gdje vlada vrućina, kao na pr. u proizvodnji bijelog lima, ventilacija je vrlo važna. Velike su količine svježeg zraka potrebne, da se smanji temperatura i poveća kretanje zraka. *Vernon* je dokazao učinak dobre ventilacije uporedivanjem sezonskih fluktuacija u produktivnosti u raznim tvornicama bijelog lima. U tvornici s najboljom ventilacijom proizvodnja je bila ljeti samo za 3% manja nego zimi, a u tvornici s najgorom ventilacijom proizvodnja se ljeti smanjila za nekih 13%. *Vernon* je procijenio, da je u najgore ventiliranoj tvornici produktivnost za najvrućeg dana bila vjerojatno za 30% manja nego u najhladnijem vremenu.

Nije teško razumjeti, da će u najtežim zvanjima nastupiti teškoće, kad temperatura raste. U vrijeme teškog rada tijelo proizvodi mnogo topline, koja se mora iz organizma odvesti, a u vrlo vrućoj okolini ta se toplota može odvesti samo uz znatnu fiziološku cijenu. Vršena su mnoga istraživanja o fiziološkim teškoćama, koje je izazvao težak rad u velikoj vrućini.

Pa čak i u radu, koji je mnogo lakši nego onaj, o kom smo upravo govorili, pretjerane temperature znatno utječu na industrijsku proizvodnju. Za to je dobar primjer tkanje. Neke vrste pamučnih i lanenih tkanina tkaju se u velikim tkaonicama, u kojima se zrak umjetno vlaži i u kojima je temperatura visoka. U vrućem i vlažnom zraku doazi do kidanja niti mnogo rjeđe i proizvodnja je do neke mjere veća nego u hladnijoj i suhoj atmosferi.

Engleski vladin Komitet za vlagu i ventilaciju u tkaonicama lana i tvornicama platna (1914) vršio je pokuse, da bi se ustanovio utjecaj raznih stupnjeva vlažnosti na tkanje. S porastom vlažne temperature zraka od 16° na 22° C, a uz stalnu razliku između suhe i vlažne temperature zraka, koja je bila nešto niža od 1° C, broj pokidanih niti smanjio se gotovo na polovinu, a vrijeme potrebno za tkanje jedne jedinice dužine tkanine smanjeno je za 19%. Ako je vlažna temperatura zraka narasla za 0,6° do 1,2° C, broj pokidanih niti se podvostručio, a vrijeme proizvodnje se povećalo za 26%. Manji stupanj vlage od onoga, koji odgovara razlici od 1,1° C između suhe i vlažne temperature zraka, štetno je utjecao na tkanje.

Kasnije je i *Weston* (1922) ustanovio usku vezu između produktivnosti u tkanju lana i vlažne temperature zraka. Taj odnos je vrijedio samo do određene granice, jer su se kod neobično visokih vlažnih temperatura kvantitet i kvalitet proizvodnje počeli smanjivati. Kritična vlažna temperatura zraka bila je 22,8° C. Sličan učinak opazili su *Wyatt* i drugi (1926) u tkaonicama pamuka. Kad je suha temperatura zraka prešla 23,9° C (i prema tome, kad je vlažna temperatura zraka bila iznad 22,8° C), proizvodnja je opadala, iako se broj pokidanih niti i dalje smanjivao. Iz obje studije jasno proizlazi, da je kod vlažne temperature iznad 23° C negativni fiziološki utjecaj na tkalce nadvladao povoljnije fizičke uvjete tkanja.

2. Utjecaj vrućine na duševnu radnu sposobnost

Za toplih dana u umjerenim klimama ili pri putovanju u tropskim zemljama mnogi ljudi nailaze na teškoće kod dugotrajnog duševnog napora. Prilično je sigurno, da naša pripravnost za duševni napor opada u vrućoj okolini, ali do nedavna nije ustanovljeno, da li smanjenje duševne radne sposobnosti u tim prilikama treba svesti na smanjenje same sposobnosti za određenu vrstu posla ili tek na neraspoloženje za takav posao. Prije 30 godina su psiholozi u SAD istraživali utjecaj visoke temperature na duševnu radnu sposobnost, ali pri tome nisu došli do pozitivnih rezultata. Prosudujući danas te pokuse, čini se, da su oni bili tako planirani, da nisu mogli dati rezultate, koji su se očekivali. Eksperimentalna razdoblja su bila podijeljena, a ispitanici su imali rješavati razne zadatke u kratko vrijeme, pa je na taj način unesen jak element promjene. U stvari, oni su često bili izazvani, da dadu dobre rezultate. Vjerojatno je, da upravo zbog tog elementa promjene u vrsti zadataka, eksperimentatori nisu ustanovili nikakav utjecaj temperature. Svakako je to bar djelomični razlog. Većina zadataka u običnom životu nije ni izdaleka tako različita kao što su bili zadaci u tim eksperimentima.

Mackworth je u nedavnoj studiji (1946) ispitivao rad tjelesno sposobnih radiotelegrafista, koji su često bili izvrnuti velikoj vlazi i visokoj temperaturi. Svakog pokusnog dana rad je vršen tri sata, i u tom je vremenu odaslano devet izvještaja po 250 riječi brzinom od 22 riječi na minutu. Ljudi su bili obučeni samo u kratke hlače i cipele. Kad je efektivna temperatura dostigla 31° C, statistički se značajno smanjila točnost, kojom su ti stručno trenirani ljudi mogli bilježiti izvještaje u Morseovoj abecedi, koje su primili preko telefona. Kod viših temperatura učinjeno je sve više i više pogrešaka.

Zanimljivo je istaknuti, da su izvanredno sposobne članove te grupe manje smetale teške atmosferske prilike nego one, koji su bili vrlo dobri, a članovi prosječnih sposobnosti imali su najslabije rezultate. Izvanredno sposobni telegrafisti nisu pokazivali nikakvo pogoršanje, dok temperatura nije prešla 33° C. Druga istraživanja o umoru u industriji pokazala su, da u nepovoljnim prilikama, koje zavise od broja radnih sati, rasporeda smjena ili rasvjete, sposobniji radnici pokazuju manji umor od svojih drugova.

U razdoblju od 3 sata broj pogrešaka je rastao progresivno od sata do sata. Ukratko, pogreške su bile dvaput brojnije u drugom satu nego u prvom, a u trećem satu bile su 3 do 4 puta češće.

3. Granični uvjeti za tjelesni rad

Mnogo je rada posvećeno proučavanju maksimalnih temperatura, u kojima se može vršiti tjelesni rad. Prije više od 40 godina *Haldane* je zaključio, da granica, do koje se temperatura može podnijeti, zavisi od vlažne temperature i od brzine kretanja zraka. Prema američkoj

skali efektivne temperature i suha i vlažna temperatura zraka ima značajan utjecaj, pa i kod sasvim visokih vlažnih temperatura.

Savjesno provedena istraživanja u Sjedinjenim Državama i u Vel. Britaniji za drugog svjetskog rata jasno su pokazala, da u graničnim prilikama vlažna temperatura ima pretežni utjecaj. To proizlazi iz rezultata, do kojih su došli *Eichna* i njegovi kolege (1945). Kod fizički sposobnih i visoko aklimatiziranih mladih vojnika kao pokusnih subjekata *Eichna* i njegovi suradnici su ustanovili, da za ljude, koji stupaju brzinom od 5 km/sat s teretom od blizu 10 kg, granična vlažna temperatura iznosi 35,5° C u atmosferi zasićenoj vodenom parom, a 34,4° C, ako suha temperatura iznosi 49° C. U tim prilikama je rad brzo dovodio do potpunog onesposobljenja većine ljudi i pratilo su ga ekscesivne i često uznemirujuće fiziološke promjene. Kod vlažne temperature od oko 33°—34,5° C ljudi su mogli vršiti duži i umjereno težak rad, ali rad je bio mučan i slabog učinka, a ljudi su često malaksavali od vrućine. U vlažnoj temperaturi ispod 33° C radili su lako i uspješno.

Iz toga proizlazi, da su granične temperature za mišićni rad više od temperatura, kod kojih su *Mackworthovi* ispitanici pokazivali pogoršanje duševnog rada.

Temperature, u kojima mogu zdravi i dobro aklimatizirani mladi ljudi vršiti težak rad, su visoke. Ako treba, mogu ljudi izdržati takve prilike nekoliko sati, ali se od njih ne bi smjelo tražiti, da takve prilike podnose rutinski kao na pr. u industriji. Mnogi industrijski radnici nisu tako zdravi, ili su stariji i manje aklimatizirani nego mladi vojnici, s kojima je *Eichna* eksperimentirao, i oni ne mogu dobro raditi u tako visokim temperaturama. Već raspravljeni materijal jasno pokazuje, da osjetno niže temperature treba uzeti kao maksimum za industrijske radnike.

4. Atmosferske prilike i nesretni slučajevi

Čini se, da je prvo opažanje o utjecaju atmosferskih prilika na nesretne slučajeve objavio *Vernon* (1918) na osnovu svojih iskustava za prvoga svjetskog rata. *Vernon* je bilježio prosječnu temperaturu i broj nesretnih slučajeva (pa i manjih) u vrijeme svakog radnog razdoblja u jednoj velikoj tvornici municije. On je ustanovio, da su nesretni slučajevi bili najrjeđi, kad je temperatura radilišta bila između 18,3° i 20,6° C. Taj je zaključak potvrđen daljnim istraživanjima, koja su vršili *Osborne* i *Vernon* (1922). Kad je temperatura u tvornici pala ispod 18,3° ili narasla iznad 20,6° C, broj se nesretnih slučajeva povećao. Kad je temperatura bila ispod 12,8° C, broj nesreća bio je 32—35% iznad minimuma, a kod temperature iznad 24° C bio je 23% viši.

Razna istraživanja izvršena u rudnicima pokazala su, da je velik broj nesreća u vezi s pretjerano visokim temperaturama. Zlatni rudnik *Morro Ve'ho* u Braziliji je među prvima primijenio uređaje za hlađenje. Uređaj za hlađenje smanjio je vlažnu temperaturu u

najdublji radilištima od 31,7° na 26,7° C. Prije uvođenja instalacije bilo je u 16 mjeseci 20 smrtnih nesreća u rudniku, a u 16 mjeseci poslije uvođenja bilo ih je samo 6.

U engleskim rudnicima ugljena konstatirali smo jasnu vezu između temperature rudnika i broja nesretnih slučajeva (*Vernon, Bedford i Warner, 1931*). Proučavajući izvještaje o nesretnim slučajevima za neko 18.000 radnika u dva statistička razdoblja, svako od 2 godine, našli smo, da su nesreće u toplijim slojevima rudnika značajno češće nego u hladnijima. Tako je broj nesretnih slučajeva za radnike na samom otkopu, koji su radili pri temperaturi od 26,7° C ili višoj bio za 77% (u prvom razdoblju), odnosno 30% (u drugom) viši nego broj nesreća kod radova, koji su vršeni kod temperature ispod 21° C; a kod radova, koji su vršeni pri temperaturi između 21° i 26° C broj je nesreća bio negdje u sredini. Kod radnika, koji su zaposleni pod zemljom, a i koji nisu radili na samom otkopu, utjecaj temperature bio je još očitiji.

TABLICA I.

Područje temperatura u °F	Srednja temperatura		Broj nesretnih slučajeva na milijun radnih sati	
	°F	°C	1924./5.	1927./8.
Rudari na samom otkopu:				
ispod 70°	63,9	17,7	104	133
70° do 79°	77,3	25,2	144	144
80° i iznad	82,8	28,2	184	173
Ostali radnici pod zemljom:				
ispod 70°	62,0	16,7	58	57
70° do 74°	72,7	22,6	87	87
75° i iznad	78,5	25,8	100	92

Mnogi su istraživači utvrdili, da redovno postoji jasna veza između dobi i broja industrijskih nesreća. Mladi ljudi su češće žrtve nesretnih slučajeva nego stariji. Vjerojatno je, da stariji imaju veće iskustvo i da su osim toga oprezniji. U jednoj studiji je utvrđeno, da nema više posebne sveze između većeg broja nesreća i iskustva, ako se izluči odnos između dobi i iskustva. Prema tome se čini, da je dob važniji faktor od iskustva s obzirom na smanjenje broja nesreća. Ipak, kod rudara u rudnicima ugljena ustanovljeno je, da je frekvencija i težina nesretnih slučajeva najmanja kod ljudi između 30 i 40 godina starosti.

Veći broj nesretnih slučajeva kod starijih radnika nije u vezi s većim brojem manjih nesreća, jer prosječno nesretni slučaj, koji se desi čovjeku od 50 ili više godina, uzrokuje oko 40% duže odsustvo s posla nego kod radnika od 30-40 godina. Ako se ti brojevi ispituju

u vezi s temperaturom radilišta, jasno je, da je veza između dobi i broja nesretnih slučajeva pod jakim utjecajem temperature.

TABLICA II.

Broj nesretnih slučajeva kod rudara na samom otkopu u odnosu na dob radnika i temperaturu u rudniku

Dobna grupa	Nesretni slučajevi na 1000 ljudi godišnje u rudnicima, gdje je temperatura		
	Ispod 21,1°	21,1°—26,6°	26,7° ili više
Ispod 30 godina	203	263	289
30 do 39 »	186	219	251
40 do 49 »	180	232	299
50 ili više »	191	331	344

Tablica pokazuje, da je broj nesretnih slučajeva bio manji u hladnijim slojevima nego u toplijim. U najhladnijoj skupini rudnika broj nesretnih slučajeva opadao je sa sve većom starosti do grupe od 40—49 godina, gdje je postigao minimum, a zatim je opet malo porastao kod starijih ljudi. U srednjoj skupini nalazio se najmanji broj nesretnih slučajeva u grupi od 30 do 39 godina, a u idućoj dekadi starosti bio je samo malo veći. U najtoplijoj skupini rudnika također su nesreće bile najrjeđe u grupi od 30 do 39 godina, ali su u grupi od 40—49 godina bile znatno češće. Poznato je, da umor povećava vjerojatnost nesretnih slučajeva, pa je utjecaj temperature na broj nesretnih slučajeva u raznim grupama starosti vjerojatno posljedica premorenosti zbog teškog rada u visokoj temperaturi.

VI. ATMOSFERSKE PRILIKE I BOLEST

Stotine su godina empirička opažanja pokazivala, da kvalitet zraka ima dubok utjecaj na zdravlje. Tako je već prije 200 godina konstatiran utjecaj ventilacije na zdravlje mornara. Pojava velikog broja oboljenja u engleskoj ratnoj mornarici oko 1736. g. skrenula je pažnju na nedostatak ventilacije u brodovima i *dr. Desaguliers* bio je pozvan, da demonstrira svoj novi centrifugalni ventilator. Demonstracija je uspjela, ali ventilator nije odmah uveden. Ipak se još danas upotrebljava u engleskoj mornarici velik broj ventilatora, koji su direktni potomci *Desaguliersova* ventilatora. Potkraj 18. stoljeća su *dr. Tomas Percival* i neki njegovi kolege u Zdravstvenoj upravi u Manchesteru upozorili na to, da osobe, koje rade u tvornicama pamuka, lako dobivaju groznice i da su, ako i nema nikakve naročite bolesti, konstitucije onih, koji rade u tvornicama oslabljene

vrućom i zagušljivoj atmosferom. Oni su tvrdili, da se u dobro uređenim tvornicama ta zla mogu u velikoj mjeri izbjeći.

Već se davno opazilo, da ljudi, koji rade u zaprašenoj atmosferi, mogu zbog toga stradati. To se naročito odnosi na rudarstvo. U grčkoj i rimskoj literaturi govori se o opasnostima, kojima su izloženi kopači ruda, a od 16. stoljeća ima sve veći broj izvještaja o plućnim bolestima u zvanjima, u kojima ima mnogo prašine. Posljednjih godina izvršena su mnoga istraživanja o utjecaju atmosferskih prilika na oboljenja u industriji.

1. Utjecaj klimatizacije

Činovnici njujorškog osiguravajućeg društva »Metropolitan Life Insurance Co.« smješteni su u dvije visoke zgrade. U novijoj je provedena klimatizacija, a u starijoj nije. Ventilacija starije zgrade zavisi od otvaranja prozora, a nema ni umjetnog vlaženja zraka zimi ni hlađenja ljeti. Kad je nova zgrada dovršena, društvo je odlučilo da istraži, ima li klimatizacija neki utjecaj na oboljenja. Proveo se brižno proučavanje, ali nije bilo značajnih razlika između te dvije zgrade u izostancima s posla ili u količini vremena izgubljenog bilo zbog respiratornih ili ostalih bolesti.

Temperatura zraka u novoj zgradi kretala se u toplo doba godine između 20—24° C s relativnom vlagom između 30 i 40%. Ljetna temperatura u sobama mijenjala se prema vremenu, no kad je temperatura napoju bila iznad 32,2° C, održavala se maksimalna temperatura od 26° C. Relativna vlaga ljeti kretala se između 43 i 53%.

Nema sumnje, da je klimatizirana zgrada bila mnogo udobnija, i smatralo se, da kontrolirana temperatura vjerojatno povećava radnu sposobnost. Ali činjenica je, da to nije utjecalo na oboljenje. Taj je rezultat možda neke razočarao, no on u stvari ne iznenađuje, jer klimatizacija nema neku čarobnu snagu. U zimskim mjesecima vjerojatno se u starijoj zgradi održavala primjerena temperatura, iako možda nije bila tako konstantna kao u novoj. Zrak je vjerojatno bio više suh u starijoj zgradi, ali ja nemam nikakvih podataka o tome, da relativno suh zrak uzrokuje bolest. Ne znamo, kakav je odnos bio između obje zgrade što se tiče čistoće zraka.

2. Utjecaj nepovoljnih temperatura

U posljednjih sto i pedeset godina obratilo se mnogo pažnje utjecaju atmosferskih prilika na zdravlje tekstilnih radnika. Mnogo se godina smatralo, da su tople i vlažne prilike, koje vladaju u mnogim radilištima tekstilne industrije, uzrokom slabog zdravlja. Poznato je, da život na svježem zraku popravlja zdravlje, a da izvršavanje radnog zadatka na zraku, koji je u pokretu, povišuje metabolizam čak i kod ljudi, koji se odmaraju.

U početku ovog stoljeća jedan je komitet ministarstva unutrašnjih poslova u Engleskoj izvijestio, da trajan rad, koji se vrši duže vrijeme u vrućim i vlažnim tkalnicama pamuka, može ugroziti zdravlje, ali nije iznio statističke podatke u prilog toj tvrdnji. U jednom istraživanju, koje je provedeno nekoliko godina kasnije (Bradford Hill, 1927), upoređena su oboljenja u tvornicama, gdje je zrak umjetno vlažen, s oboljenjima u onim radionicama, gdje to nije učinjeno. Između obje grupe nije nađena nikakva bitna razlika niti u kvantitetu niti u kvalitetu bolesti. To brižno statističko istraživanje nije potvrdilo, da bilo temperatura ili vlaga utječu na bolest.

Ali po drugim nekim opažanjima (Vernon, Bedford, Warner, 1926) u jednoj tvornici limenih kutija, gdje je bilo namješteno oko 800 žena i djevojaka, moglo se naslutiti, da relativno male razlike u temperaturi mogu utjecati na zdravlje. Proučavanje temperature izvršeno je u razna godišnja doba, i u razdoblju od dvije godine bilježeni su podaci o izgubljenom radnom vremenu zbog bolesti. Treba istaknuti, da su to bili tvornički podaci o bolesti, a da priroda bolesti nije zabilježena. Opažanja su vršena u šest radionica, i tablica III. pokazuje srednje temperature i pobol za pojedine radionice. U radionici E nije instalacija za grijanje bila u redu, i temperatura je zimi iznosila samo oko 12,4° C.

TABLICA III.

Vrijeme izgubljeno zbog bolesti u tvornici limenih kutija

Radionica	Srednja temperatura u radionici u °C		Vrijeme izgubljeno zbog bolesti u periodu od 2 god. (% mogućeg vremena)	Razlike u izgubljenom vremenu prema prosjeku za svih 6 radionica		
	zima	ljetno		decembar do marta	april, maj, oktobar i novembar	jun: do septembra
A	15,4	19,0	1,47	-0,24	-0,35	-0,06
B	17,2	19,6	1,51	-0,15	-0,30	-0,10
C	16,3	22,1	1,60	-0,18	-0,31	0,21
D	16,9	20,4	1,64	0,14	0,12	-0,42
E	12,4	18,8	1,88	0,32	0,14	0,09
F	19,5	25,1	2,05	0,10	0,70	0,29
Srednje temperature i pobol	16,3	20,9	1,69	(1,90)	(1,64)	(1,54)

U ljetnim se mjesecima pobol u toj sobi samo neznatno razlikovao od prosjeka za cijelu tvornicu, ali zimi je bio oko 17% iznad prosjeka. Soba F bila je stalno toplija od drugih, i premda je čitavu godinu pobol u toj radnici bio iznad prosjeka, u zimskim mjesecima je bio viši samo za 5%. Isto je tako zanimljivo, da je u sobi C, gdje je temperatura ljeti bila viša nego u ma kojoj drugoj sobi osim u F, pobol ljeti bio gotovo 14% iznad prosjeka, dok je u ostala godišnja doba bio znatno ispod prosjeka.

Kad ljudi vrše težak rad u visokim temperaturama i kad su izloženi naglim promjenama temperature, oni često više podliježu bolestima nego oni, koji rade u ravnomjernim prilikama. Opširno proučavanje obojenja kod radnika u industriji gvožđa i čelika (Vernon i Rusher, 1920) pokazalo je, da su obojenja kod topioničara i miješalaca čelika 23% i 20% iznad prosjeka, dok su kod onih, koji rade na izradi bijelog lima i željeznih ploča, bila samo 12% i 8% viša. Topioničari i miješaoci čelika izvrnuti su velikoj opasnosti od prehlada, jer njihov posao iziskuje kratkotrajan vrlo težak rad, za kojim dolaze razdoblja lakog rada i odmora. Oni su često obojevali od reumatizma i od bolesti respiratornih organa. S druge strane oni, koji rade u valjaonicama, rade gotovo neprekidno, i kratki periodi odmora jedva su dovoljni, da bi uzrokovali prehladu. Zato ti radnici nisu zbog reumatizma izostajali s posla više od drugih, a izostajali su više samo zbog respiratornih obojenja. Osim toga je opaženo, da dok je pomor radnika u čeličnoj industriji zbog raznih uzroka nešto niži od pomora u ostalim zvanjima uključivši tu i umirovljenike, dotle je s druge strane njihov pomor od respiratornih bolesti dvaput veći.

Prema iskustvima američkog društva za osiguranje života (Metropolitan Life Insurance Company) (Yaglou, 1937) pomor je visok kod radnika u industrijama, gdje v'ada velika vrućina. Kod radnika u talionicama željeza pomor od upale pluća je za 120% veći nego u drugim zvanjima, kod radnika u tvornicama željeza i čelika za 42%, a kod rudara u rudnicima ugljena za 50%.

U dva statistička razdoblja ustanovili smo, da je izostanak s posla zbog bolesti kod rudara u rudnicima ugljena zavisio od temperature u podzemnom radištu. Rudari, kopači uglja, a isto tako i ostali radnici pod zemljom gubili su više vremena zbog bolesti u toplijim nego u hladnijim rovovima (Vernon, Bedford i Warner, 1931).

3. Utjecaj neadekvatne ventilacije

Neki podaci, koje smo prikupili (Vernon, Bedford i Warner, 1926) upućivali su na ventilaciju kao na faktor, koji vjerojatno uzrokuje neke razlike u pobolu. U dvije sobe u istoj tvornici djevojke su radile istu vrstu lakog posla. U dvije godine prosjek vremena izgubljenog zbog bolesti bio je u sobi A 2,44%, a u sobi B 3,73% od ukupnog radnog vremena. Temperature su u obje sobe bile vrlo

slične, ali je kretanje zraka u sobi B bilo osjetljivo manje nego u sobi A. U z. mskim mjesecima je prosječna brzina kretanja zraka bila 0,17 m/sek u sobi A, a 0,075 m/sek u sobi B, u ljetnim mjesecima te su vrijednosti iznosile 0,20, odnosno 0,14 m/sek. Ventilacija se provodila općom umjetnom ventilacijom i otvaranjem prozora. Ventilacioni sistem u sobi A mijenjao je zrak četiri puta na sat, a u sobi B samo jedamput. Slaba ventilacija u sobi B nije zavisila od nestašice prozora, jer je u odnosu na veličinu sobe površina prozora bila tri puta veća nego u sobi A. Ipak, prozori nisu bili onoliko u upotrebi, koliko su mogli biti, jer dok je vanjska temperatura bila 18,3° C, bilo je samo 27% raspoloživih prozora u sobi B otvoreno. Ta je soba bila okružena drugim zgradama i prozori su na taj način bili zaklonjeni od vjetrova, dok je soba A bila u izoženom dijelu zgrade.

Kod proučavanja ventilacije u školama (*Vernon, Bedford i Warner, 1930*) prikupili smo podatke o izbivanju oko 5.000 djece iz 20 škola. Ti se podaci odnose na razdoblje od tri godine. U to vrijeme nismo mogli mjeriti ventilaciju u školskim sobama, no pokušali smo klasificirati sobe prema mogućnosti unakrsne ventilacije. Sobe s prozorima na jednoj strani ocijenjene su sa 1, sobe s prozorima na suprotnim stranama ocijenjene su sa 2, a kod prozora na raznim, ali ne suprotnim stranama bila je ocjena između 1 i 2. Neke sobe imale su prozore čak na tri strane, i te su ocijenjene sa 2,8. Među školama, od kojih smo dobili podatke, bilo je i šest poluotvorenih, gdje se jedna cijela strana razreda mogla otvoriti. Tablica IV. pokazuje prosječnu ocjenu ventilacije i procenat izbivanja za razne grupe škola u vrijeme od tri godine. Postoji jasna veza između izostanaka i ocjene s obzirom na ventilaciju. Kod škola s prosječnom ventilacijom ocijenjenom sa 2,2 zabilježeno je izbivanje u visini od 7,7%, a kod škole sa slabom ventilacijom (ocjena 1,2) izbivanje je iznosilo 10,7%. U poluotvorenim školama sa slabom ventilacijom izbivanje je iznosilo 8,9%, što gotovo odgovara prosjeku u svim ostalim školama. Taj relativno visok broj vjerojatno je posljedica niske temperature u razredu kod hladnog vremena, a ne nedostatka ventilacije.

TABLICA IV.
Ventilacija i izbivanje školske djece

Prosječna ocjena ventilacije	Broj škola	Broj djece	Procenat izbivanja u vremenu od 1927.-1929. g.
2,2	6	1.560	7,7
1,5	8	1.934	9,2
1,2	6	1.466	10,7
poluotvorene	6	1.352	8,9

Kod svih škola, koje su uključene u ovo istraživanje, nađena je jasna veza između izbjivanja i temperature razreda. Niske temperature u razredu bile su povezane s velikim brojem izostanaka, a u polu-otvorenim školama su temperature zimi bile prosječno za 2—3 stupnja niže od temperatura u običnim školama.

4. Utjecaj onečišćenja atmosfere

Pri mnogim industrijskim operacijama stvaraju se plinovi, pare i prašina, koji, ako slobodno izlaze u zrak radilišta, mogu izazvati bolesti. To su na pr. pamučna prašina, pare raznih organskih otapala, prašina silikata, koja se stvara u rudarstvu, kod brušenja metala, u lončarstvu i kod raznih drugih procesa. Udisanje zraka, u kojem ima ma i malih količina kvarca, može izazvati kronična plućna oboljenja poznata pod imenom silikoze. Prašina u tkaonicama pamuka uzrokuje astmu i bisinozu. Pare mnogih otapala, koja se rado upotrebljavaju u industriji, imaju specifična toksična djelovanja.

U nekim se procesima mogu toksične tvari zamijeniti netoksičnim. Koliko to nije moguće, treba nastojati, da se proces potpuno zatvori tako, da štetna tvar ne može prodrijeti napolje. Ako se potpuno zatvaranje ne može provesti, ventilacioni inženjer morat će uvesti lokalnu ventilaciju. To treba izvesti na principu ekshaustora. Zrak treba isisavati mimo radnika, a preko izvora materijala, koji onečišćuje. Katkada se lokalna ventilacija isisavanja ne će moći provesti; tada treba pojačati opću ventilaciju.

Za neka običnija onečišćenja predloženi su standardi maksimalnih dopuštenih koncentracija. Treba istaknuti, da ti standardi predstavljaju maksimalne koncentracije, kojima radnik smije biti izvrgnut. Nije dovoljno reći, da je prosječna koncentracija u zraku, isisanom iz prostorije, ispod dopuštene granice, jer pojedini radnici mogu biti izvrgnuti mnogo većim koncentracijama od prosječne koncentracije za cijelo radilište.

5. Čišćenje zraka i širenje respiratornih infekcija

U ovom poglavlju želim ukratko raspraviti širenje respiratornih infekcija, koje se prenose zaraženim materijalom iz nosa i usta. Iako treba još dalje istraživati, na koje se načine zaraženi materijal prenosi od čovjeka do čovjeka, neki su načini prenošenja prilično jasni. Inficirane kapljice, koje izlaze iz usta kod kihanja i kašljanja, mogu direktno prijeći od bolesnika na žrtvu. Neke od tih kapljica su tako male, da lebde u zraku još dugo vremena, i mogu se lako prenijeti zračnim strujama iz jednog dijela sobe u drugi, i čak iz jedne sobe u drugu. Kapljice, koje su preteške, da dugo lebde u zraku, padaju na pod i na druge površine, vežu se uz prašinu i opet stanu da lebde, kad se prašina uzvika. Tekstilni materijal, kao na pr. odijelo i gu-

njevi, mogu biti na taj način zaraženi, i kad se uzvita prašina, na pr. kod pravijenja kreveta, mnogi mikroorganizmi, koje nosi prašina, mogu se raširiti po zraku. Kad se uprljane maramice tresu, one ispuštaju velike količine mikroba vezanih na organske čestice. Mikroorganizmi, koji lebde u zraku nastanjenih soba, ili su upravo kašljanjem i kihanjem ubačeni u zrak ili lebde u zraku vezani uz čestice uzvitalne prašine.

Ne znamo sigurno, da li je kod prijenosa respiratornih bolesti važniji faktor izlaganje direktnoj infekciji ili prašini, koja sadržava mikrobe (t. zv. »jezgre«), Možda bi se moglo reći, da je kod stajanja u dupkom punom zraku veća opasnost od direktne zaraze, no nije sigurno kojim načinu zaraze, da li direktnoj infekciji ili prašini, treba dati veću važnost u običnim priilikama u tvornici, uredu ili školi.

Da se smanji opasnost infekcije preko zraka, mnogo je truda uloženo posljednjih godina u proučavanje raznih metoda, spomoću kojih se može smanjiti sadržaj bakterija u zraku nastanjenih prostorija. Kod mnogih istraživanja upotrebljavane su ultraviolethne zrake, dok su kod drugih upotrebljena kemijska sredstva.

Laboratorijska istraživanja i istraživanja na terenu pokazala su, da se spomoću tih germicidnih metoda može znatno smanjiti koncentracija zrakom prenošenih mikroorganizama i to zračnim filtrima i mjerama za suzbijanje prašine, kao na pr. čišćenjem podova i tkanina. Neka od tih istraživanja imala su izvanredne rezultate.

Patogeni mikroorganizmi (i virusi) mogu se naći u zraku nastanjenih prostorija i mogu se prenijeti zrakom iz jednog dijela zgrade u drugi. Epidemiooška su proučavanja upozorila na ud'sanje infektivnih čestica kao na najvjerojatniji način zaraze u mnogim bolnicama. Osim toga su i pokusi sa životinjama pokazali, da lasice mogu prenijeti jedna na drugu infuencu i streptokokne zaraze preko čestica, koje se prenose zrakom (*Bourdillon i Clover, 1948*).

U posljednjih nekoliko godina izvršena su istraživanja, da se utvrdi utjecaj sterilizacije zraka na oboljenja. *Bigg, Jennings i Olson (1945)* čistili su zrak soba u kasarnama trietilenglikolom i konstatahali, da se broj zrakom prenijetih infekcija smanjuje za 12%. *Wells i Wilder (1942)* namjestili su ultraviolethne svjetiljke u dvije grupe škola u Novoj Engleskoj. U jednoj je grupi brzina uklanjanja organizama bila ravna rezultatu dobivenom ventilacijom, koja mijenja zrak 50 puta u satu, a u drugoj grupi rezultatu dobivenom ventilacijom, koja mijenja zrak 100 puta u satu. Širenje morbila smanjeno je djelovanjem ultraviolethnih zraka, no učestalost prehlada ostala je ista. U jednoj velikoj školi za dječake u SAD (*National Training School*) spavaonice su izložene djelovanju ultraviolethnih zraka šest godina, a posljednje dvije godine intenzitet zračenja bio je pet puta veći od intenziteta, što ga je firma propisala (*Du Buy i drugi, 1948*). Broj bakterija u spavaonicama izvrnutim ultraviolethnom zračenju bio je katkada veći, a katkada manji nego u kontrolnim spavaoni-

cama, no uglavnom bio je ponešto manji. Oboljenja su bila češća katkada u jednoj, a katkada u drugoj grupi, i nije bilo dokaza, da ultravioleto svjetlo sistematski smanjuje broj oboljenja. Zaključeno je, da ultravioleto svjetlo i mjere za suzbijanje prašine obično smanjuju respiratorne bolesti za 20—25%, ali da je taj utjecaj nesiguran. Iako je zračenje u tom slučaju imalo neki utjecaj, trebalo bi dokazati, da se broj oboljenja jače smanjuje, prije nego se ta metoda preporuča za opću upotrebu.

U posljednje tri godine vršen je pokus o utjecaju ultravioletnih zraka kao sredstva za sterilizaciju zraka u nekim školama u Engleskoj. Postignuta su osjetna smanjenja u broju zrakom prenošenih mikroorganizama. Statistike o oboljenjima nisu još potpuno obrađene, no iako su utvrđene zanimjive epidemiološke činjenice, ne čini se, da je utjecaj ultravioletnih zraka na ukupan broj oboljenja bio naročito velik.

Iako ta istraživanja nisu pokazala neki naročiti učinak raznih metoda sterilizacije zraka, to ne znači, da povećanje čistoće zraka u nastavnim sobama nije opravdano. *Bourdillon* (1948) je istaknuo važnost odnosa između doze i efekta. Pokusi kod kojih su životinje udisale fine čestice virusa, pokazali su, da jakost infekcije i pomor zavise o udahnujoj dozi. Možda u pokusima, o kojima sam govorio, koncentracija infektivnog materijala nije bila vrlo visoka, i veća je opasnost bila od neposredne zaraze. *Bourdillon* ističe, kako nije neopravdano vjerovati, da će boja higijena zraka biti uzrok smanjenom broju oboljenja od respiratornih bolesti, u njihovoj težini i, kad se radi o velikim brojevima, u njihovu letalitetu. *Bourdillon*, *Lidwell*, *Lovelock* i *Raymond* (1948) predložili su, kao gornju dopustivu granicu za obične nastanjene prostorije, standardni broj od 50 čestica zagađenih bakterijama na 10 litara zraka. Oni se slažu, da se uz sadašnje stanje našeg znanja ne može postaviti granica, no preporučuju, da kad pri brojenju nađemo preko 50 čestica na 10 litara zraka, treba razmotriti, ne bi li trebalo primijeniti metode za smanjenje onečišćenja.

Dobra ventilacija mnogo znači za očuvanje čiste atmosfere. Radi toga dovod svježeg zraka ne smije biti manji od 4 izmjene na sat. Veliku vrijednost filtracije pokazali su *Bourdillon* i njegovi kolege, i ustanovljeno je, da je, kad se dovod svježeg zraka morao smanjiti zbog štednje gorivom postignuto veliko smanjenje broja bakterija ponovo cirkulacijom filtriranog zraka. *Bourdillon* zaključuje, da u velikim radnim prostorijama dobra ventilacija, dobro osvijetljenje i borba protiv prašine vrijede kao trajne mjere, a da je vrijedno dodati desinfekciju zraka kemijskim sredstvima ili ultravioletnim zrakama, kad se pojavi epidemija.

*Istraživačka jedinica za higijenu okoline,
Savjet za medicinska istraživanja,
London, Engleska*

LITERATURA

- Bedford, T. (1936), The warmth factor in comfort at work. Rep. Industr. Hlth. Res. Bd., Lond., No. 76.
- Bedford, T. (1946), Environmental warmth and its measurement. Med. Res. Coun., Lond., War Memorandum No. 17.
- Bedford, T. and Warner, C. G. (1933), The influence of radiant heat and air movement on the cooling of the Katathermometer. J. Hyg., Camb., vol. 33, p. 330.
- Bedford, T. and Warner, C. G. (1934), The globe thermometer in studies of heating and ventilation. *Ibid.*, vol. 34, p. 458.
- Bedford, T. and Warner, C. G. (1936), Subjective impressions of freshness in relation to environmental conditions, *Ibid.*, vol. 39, p. 498.
- Bigg, E., Jennigs, B. H. and Olson, F. C. W. (1945), Epidemiological observations on the use of glycol vapours in air sterilization. Amer. J. Publ. Hlth., vol. 35, p. 788.
- Bourdillon, R. B. and Glover, R. E. (1946), Animal tests with infective aerosols. Sp. Rep. Ser. Med. Res. Coun., Lond., No. 262, Pt. IX.
- Bourdillon, R. B., Lidwell, O. M., Lovelock, J. E., and Raymond, W. F. (1948), Airborne bacteria found in factories and other places: Suggested limits of bacterial contamination. Sp. Rep. Ser. Coun., Lond., No. 262, Pt. VII (39).
- Du Buy, H. G., Dunn, J. E., Brackett, F. S., Dreessen, W. C., Neal, P. A. and Posner, I. (1948), An evaluation of ultra-violet radiation of sleeping quarters as supplement of accepted methods of disease control. Amer. J. Hyg., vol. 48, p. 207.
- Dufton, A. F. (1936), The equivalent temperature of a room and its measurement. Bldg. Res. Bd. Tech. Pap., No. 13.
- Dufton, A. F. (1936), The equivalent temperature of a warmed room. J. Instn. Heat. & Vent. Engrs., Lond., vol. 4, p. 227.
- Eichna, L. W., Ashe, W. F., Bean, W. B. and Shelley, W. B. (1945), The upper limits of environmental heat and humidity tolerated by acclimatized men working in hot environments. J. Industr. Hyg. & Toxicol., vol. 27, p. 59.
- Farmer, E., Brooke, R. St. C., and Chambers, E. G., (1923), A comparison of different shift systems in the glass trade. Rep. Industr. Fatigue Res. Bd., Lond., No. 24.
- General Board of Health (1857), Report by the Commissioners Appointed to inquire into the warming and ventilation of dwellings.
- Haldane, J. S. (1905), The influence of high air temperatures. J. Hyg., Camb., vol. 5, p. 494.
- Haldane, J. S. (1907), Work under pressure and in great heat. Science Progress, N. S., vol. 2, p. 378.
- Hardy, J. D., and Opper, T. W. (1937-8), Studies in temperature sensation. J. Clin. Investigation, v. 16, pp. 517, 525, 533, vol. 17, p. 771.
- Health of Munitions Workers Committee (1916), Ventilation and lighting of munition factories and workshops. Memo. No. 9, Cd. 8215.
- Hill, A. Bradford (1927), Artificial humidification in the cotton weaving industry: Its effect upon the sickness rates of weaving operatives. Rep. Industr. Fatigue Res. Bd., Lond., No. 48.
- Hill, Leonard (1919), The science of ventilation and open-air treatment. Sp. Rep. Ser., Med. Res. Coun., Lond., No. 32.

- Home Office (1914), Report of the Departmental Committee on humidity and ventilation in flax mills and linen factories. Cd. 7433, Appendix XII.
- Houghten, F. C. and Yaglou, C. P. (1923), Determining lines of equal comfort. *Trans. Amer. Soc. Heat. Vent. Engrs.*, Vol. 29, p. 163.
- Lovelock, J. E. and Wasilewska, E. M. (1949), An ionization anemometer. *J. Sc. Instr.*, vol. 26, p. 367.
- Mackworth, N. H. (1946), Effects of heat on wireless operators. *Brit. J. Industr. Med.*, vol. 3, p. 143.
- McConnell, W. J., Fellows, H. H., and Stephens, M. G. (1937), Some observations on the health aspects of air conditioning. 14th Ann. Conference, Life Office Management Assoc., Chicago.
- Missenard, A. (1933), *Étude physiologique et technique de la ventilation*. Paris, Librairie de l'Enseignement Technique.
- Munro, A. F. and Chrenko, F. A. (1948), The effects of air temperature and velocity and of various flooring materials on the thermal sensations and skin temperature of the feet. *J. Hyg., Camb.*, vol. 46, p. 451.
- Munro, A. F. and Chrenko, F. A. (1949), The effect of radiation from the surroundings on subjective impressions of freshness. *Ibid.*, vol. 47, p. 238.
- Osborne, E. E., Vernon, H. M. and Muscio, B. (1922), Two contributions to the study of accident causation. *Rep. Industr. Fatigue Res. Bd., Lond.*, No. 19.
- Vernon, H. M. (1918), An investigation of the factors concerned in the causation of industrial accidents. *Health of Munition Workers Committee Memo.*, No. 21, Cd. 9046.
- Vernon, H. M. (1919), The influence of hours of work and of ventilation on output in tinplate manufacture. *Rep. Industr. Fatigue Res. Bd., Lond.*, No. 1.
- Vernon, H. M. (1920), Fatigue and efficiency in the iron and steel industry. *Ibid.*, No. 5.
- Vernon, H. M., Bedford, T. and Warner, C. G. (1926), A physiological study of the ventilation and heating in certain factories. *Ibid.*, No. 35.
- Vernon, H. M., Bedford, T. and Warner, C. G. (1927), The relation of atmospheric conditions to the working capacity and the accident rate of miners. *Ibid.*, No. 39.
- Vernon, H. M., Bedford, T. and Warner, C. G. (1930), A study of heating and ventilation in schools. *Rep. Industr. Hlth. Res. Bd., Lond.*, No. 58.
- Vernon, H. M., Bedford, T. and Warner, C. G. (1931), Two studies of absenteeism in coal mines. *Ibid.*, No. 62.
- Vernon, H. M. and Rusher, E. A. (1920), Fatigue and efficiency in the iron and steel industry. *The health of the workers. Rep. Industr. Fatigue Res. Bd., Lond.*, No. 5.
- Wells, W. F., Wells, M. W., and Wilder, T. S. (1942), The environmental control of epidemic contagion. I. An epidemiological study of radiant disinfection of air in day schools. *Amer. J. Hyg.*, vol. 35, p. 97.
- Weston, H. C. (1922), A study of efficiency in fine linen weaving. *Rep. Industr. Fatigue Res. Bd., Lond.*, No. 20.
- Wyatt, S., Fraser, J. A. and Stock, F. G. L. (1926), Fan ventilation in a humid weaving shed. *Ibid.*, No. 37.
- Yaglou, C. P. (1937), Abnormal air conditions in industry; their effects on workers, and methods of control. *J. Industr. Hyg.*, vol. 19, p. 12.

SUMMARY

ENVIRONMENTAL WARMTH AND VENTILATION, AND THEIR EFFECTS ON THE INDUSTRIAL WORKER

The author reviews recent work on environmental warmth and ventilation in industry. The following topics are discussed: measurement of environmental warmth (measurement of thermal variables, scales of warmth); warmth and comfort (reliability of scales of warmth, the winter and summer comfort zones, the influence of individual thermal factors on comfort, sources of discomfort); pleasant environments (effects of atmospheric conditions, effects of radiant heat, local sensations of warmth and cold, temperature gradients, atmospheric electricity, physical requirements for satisfactory heating and ventilation); warmth, work and safety (working efficiency and atmospheric conditions, effects of heat on mental efficiency, limiting conditions of physical work, atmospheric conditions and accident liability); atmospheric conditions and sickness (effects of air conditioning, effects of adverse temperatures, effects of inadequate ventilation, effects of atmospheric pollution, air treatment and the spread of respiratory infections).

Environmental Hygiene Research Unit,
Medical Research Council,
London, England