

1 Beskrivning av inomhusklimat

Människans välbefinnande i en viss situation påverkas av en mängd sinsemellan samverkande faktorer som inordnas under det sammanfattande begreppet inneklimat. Det ankommer på de tekniska installationerna för värme, ventilation och luftbehandling samt belysning att skapa det inneklimat som krävs av människan och den verksamhet som hon bedriver.

Inneklimat är ett allmänt begrepp som används med något olika innebörd i olika sammanhang. Här definieras det som människans omgivningssituation med avseende på de faktorer som påverkas av tekniska installationerna. Olika människor upplever dock ett klimat olika. Variationerna beror bland annat på klädsel, aktivitet, ålder, kön etc. Klimatfaktorer som påverkar människans klimatmässiga välbefinnande är

- termiska
- hygieniska
- ljusförhållande
- ljudförhållande

1.1 Termisk komfort

En förutsättning för liv och hälsa är att kroppstemperaturen kan hållas nära 37°C. För detta fordras att kroppens värmeavgivning till omgivningen kan hållas i balans med värmealstringen i kroppen. Människokroppen alstrar värme under förbränning av födan. Temperaturen hos de inre organen - lungor, bukorgan, hjärta och hjärna hålls konstant av värmeregleringsmekanismerna. Normalt är hudens temperatur ca 33°C men den kan variera avsevärt eftersom den ingår i kroppens värmeregleringsmekanism. Vid avkylning kan den sjunka till 30°C innan köldskakningar sätter in. Om avkylningen fortsätter börjar också den djupa temperaturen att sjunka, då denna når ner till 33° nedsätts hjärnans funktioner och vid ca 25°C inträder medvetlöshet. Vid hög omgivningstemperatur kommer kroppens värmeavgivning att minska varigenom kroppens djupa temperatur ökar. När den överstiger 42°C blir situationen kritisk och värmeregleringsmekanismen bryter samman.

Upplevelsen av det termiska klimatet beror dels på hur individen är klädd och hennes aktivitet dels beror den på faktorer som är omgivningsberoende nämligen *lufttemperatur, luftfuktighet, omgivande ytors temperatur och luftfuktighet*. Förutom dessa klassiska inneklimatparametrar påverkas komforten också av *golvet temperatur och den vertikala temperaturgradienten*.

Termisk komfort definieras ofta som det tillstånd då människor är tillfreds med den termiska omgivningen. Det vill säga, personen känner sig i termisk neutralitet utan att önska varken varmare eller kallare omgivning. Beroende på individuella skillnader är det omöjligt att specificera en termisk omgivning som till-

fredsställer alla samtidigt, även om de har likartad klädsel och aktivitetsnivå. En viss del av dem som vistas i en lokal kan alltid förväntas vara otillfredsställda, se vidare PPD- och PMV-index längre fram i texten.

1.1.1 Klädsel

Då termiska inneklimat ska värderas är det viktigt att känna till beklädnaden på personer som uppehåller sig i rummet. Primärt är det klädernas värmeisolerande förmåga som är viktig. Denna förmåga brukar anges i enheten clo där 1 clo motsvarar $0.155^{\circ}\text{Cm}^2/\text{W}$. I Tabell 1.1 ges exempel på olika klädsel med motsvarande clo-värde. En naken person är klädd i 0 clo och normal inomhusklädsel vintertid isolerar med 1 clo.

Tabell 1.1 Isoleringsvärden vid olika klädsel.

Klädsel	clo-värde
Naken	0
Shorts	0.1
Lätt sommarklädsel	0.5
Normal inomhusklädsel	1.0
Kraftig inomhusklädsel	1.5
Polarklädsel	4

1.1.2 Aktivitet

Energiomsättningen, eller värmeproduktionen i kroppen (först och främst i musklerna), pågår kontinuerligt vid förbränning av näringsämne. Värmeproduktionen i kroppen varierar kraftigt med fysiska aktivitet. Vid vila är den för en vuxen person ca 60 W/m^2 kroppsytan och kan vid stor kroppsansträngning uppgå till 300 W/m^2 . Kroppsytan hos en vuxen person är cirka 1.8 m^2 . Värmeöverföring från och till en människa styrs av följande fyra mekanismer

- konvektion, dvs värme transporteras bort av den rumsluft som förs förbi kroppen
- strålning från eller till kroppen beroende på kroppens, klädernas eller omgivande ytors temperatur
- avdunstning genom andning och svettning
- ledning från kroppen till kallare ytor eller till kroppen från varmare ytor.

Vid normal rumstemperatur avgår ungefär 40% av värmen genom strålning och konvektion.

Aktivitet kan också anges i enheten met där 1 met motsvarar värmealstringen 80 W motsvarande 60 W/m^2 hudyta, alltså basmetabolismen. För lätt stillasittande arbete är värmeproduktionen 1.2 met men kan stiga till över 10 met vid idrottsutövning. Vid vissa aktiviteter omsätts en del av energin till yttre mekaniskt arbete, dock högst 25%, resten av energin omsätts till värme. I Tabell 1.2 anges några olika aktiviteters värmealstring.

Tabell 1.2 Värmealstring hos en vuxen person vid olika aktiviteter, baserat på kroppsytan 1.8 m².

Aktivitet	Värmealstring i W	Värmealstring i met
Sömn	85	1
Vila, sittande	100	1.2
Skrivbordsarbete	120	1.4
På- och avklädning	150	1.8
Bilkörning	170	2
Golvsopning	200	2.3
Dansa vals	360	4.2
Gång nedför trappa	470	5.5
Löpning (8.5km/tim)	740	8.7
Gång uppför trappa	1400	16.5

1.1.3 Temperaturbegrepp

Lufttemperatur, t_a

Lufttemperaturen är temperaturen omkring, men utanför det gränsskikt av uppvärmd luft närmast en person. För människans konvektiva värmeavgivning har medellufttemperatur betydelse. Som ett mått på komfort i ett rum är lufttemperaturen vanlig men i regel ett mycket missvisande mått, bl a för att det är svårare att mäta än vad man först tror. En "vanlig" termometer påverkas okontrollerat av strålningstemperaturen. Detta innebär att lufttemperaturen inte är något lyckat mått på hur människan upplever det termiska klimatet.

Godtagna lufttemperaturgränser i bostäder och offentliga lokaler är 18-24°C. Vintertid ligger de idealiskt mellan 18 och 22°C och sommartid mellan 22 och 24°C. Vid tungt arbete ökar värmealstringen och därför ska lufttemperaturen vara 15-18°C i lokaler där sådant utförs. Äldre personer och personer med funktionsnedsättningar som sitter stilla mycket behöver en högre temperatur än yngre och friska personer. Temperaturen får aldrig överstiga 30°C, då människor (nordbor) med hjärtbesvär kan få en känsla av obehag. För låg temperatur vid lätt arbete leder till fumlighet med ökad skaderisk som följd.

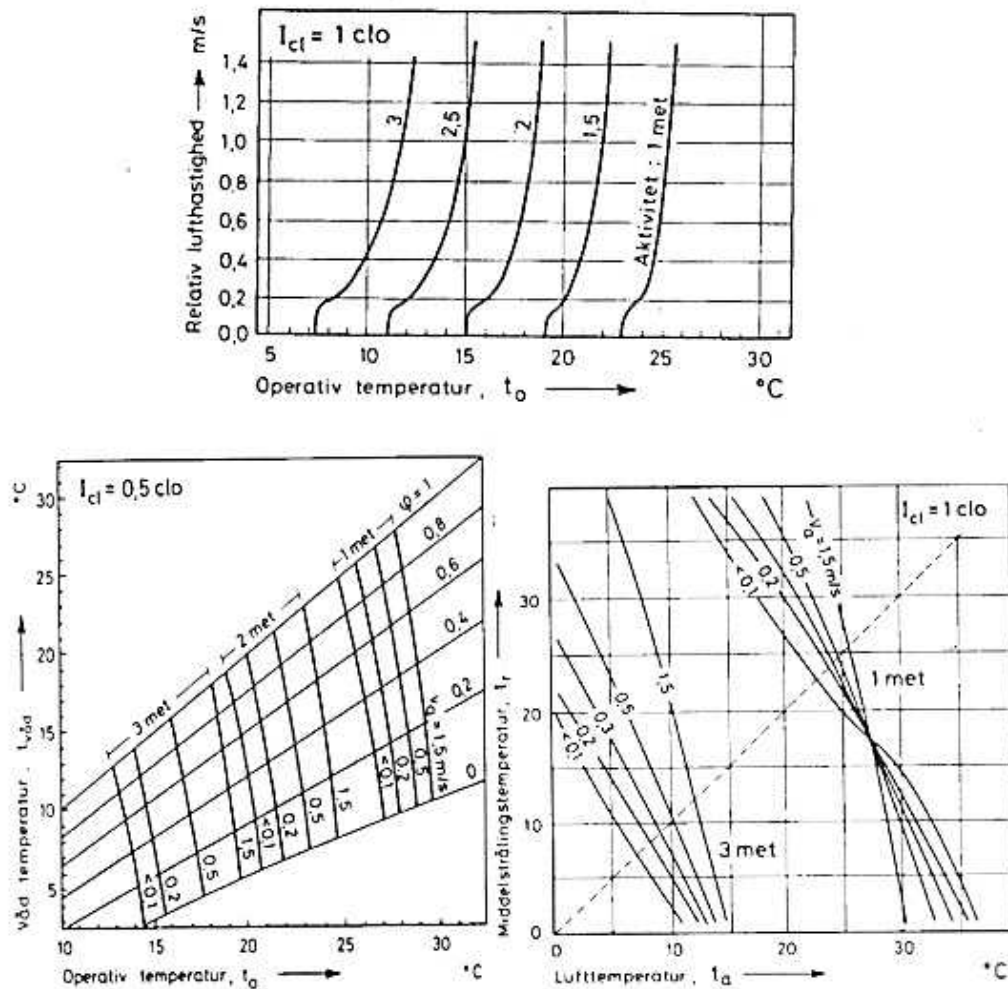
Medelstrålningstemperatur, \bar{t}_r

Vanligen är det luftens temperatur i samverkan med temperaturen på omgivande ytor som har störst betydelse för klimatupplevelsen. Även om lufttemperaturen är behaglig kan det kännas kallt om man omges av kalla ytor, eftersom värmen strålar kraftigt från den del av kroppen som är vänd mot den kalla ytan.

Medelstrålningstemperaturen definieras som viktad medeltemperatur hos omgivande ytor den beräknas som:

$$\bar{t}_r = F_1 \cdot t_1 + F_2 \cdot t_2 + \dots + F_n \cdot t_n \quad (^\circ\text{C}) \quad (1.1)$$

där F_n är vinkelförhållande mellan aktuell beräkningspunkt till yta n i rummet och t_n är ytttemperatur. Vinkelförhållandet finns att hitta i handböcker inom området, i appendix finns diagram för beräkning av vinkelfaktorer för en sittande person.



Figur 1.6 Fangers komfortekvation i uttryckt på tre sätt i grafisk form. RF är 50% i det övre diagrammet och i det nedre till höger.

1.2 Hygieniska krav på inomhusmiljön

Kvaliteten hos inomhusluften är av stor vikt för komforten och prestationsförmågan. Luften i rummet måste uppfylla vissa fordringar med avseende på bland annat syrenehåll, koldioxidinnehåll, lukt, fukt och andra föroreningar. Dessa faktorer är dimensionerande för ventilationsbehoven. I rum där man normalt vistas råder alltid en viss luftväxling. En del av luften ersätts successivt med uteluft. Därmed tillförs syre och alstrade föroreningar förs bort.

1.2.1 Ventilationsbehov med avseende på syrebehov

Människan förbrukar syre från den omgivande luften. I vila andas en människa $0.5 \text{ m}^3/\text{h}$ eller 0.14 l/s . Vid hårt arbete ökar syrebehovet beroende på att ämnesomsättningen ökar. Syrehalten i inandningsluften är omkring 20% och i utandningsluften 16%. Vid en första anblick skulle det räcka att tillföra 0.03 l/s för att täcka syrebehovet. För en person som befinner sig i ett stängt rum är det dock inte risken för syrebrist som är den kritiska faktorn utan ökningen av koldioxidhalten.

1.2.2 Ventilationsbehov med avseende på koldioxidhalt

Människans utandningsluft innehåller förutom syre också koldioxid. Koldioxidhalten mäts vanligen i enheten ppm som anger miljondelar. Koldioxidhalten ökar från 300-400 ppm (0.03-0.04%) i uteluften till 40 000 ppm (4%) i utandningsluften. Vid för hög koldioxidhalt hindras blodet att ta syre ur luften. Prestationsförmågan minskar redan då inandningsluften innehåller några få procentenheter koldioxid.

Koldioxiden i sig är luktlös men kan ändå användas som en indikator på föroreningshalten från personer, dvs en luktindikator. Redan vid mitten av 1800-talet lanserade Pettenkofer idén att koldioxidhalt skulle kunna användas för att bedöma luftkvaliteten. Under senare tid har man åter börjat intressera sig för att använda koldioxidhalten som en indikator på föroreningshalten från personer eftersom den i förhållande till andra föroreningar är relativt lätt att mäta. Det är då inte i första hand koldioxidhalten som är intressant utan den mängd gaser och ämnen som förekommer tillsammans med denna, t ex kroppsemissioner. Arbetshygieniska gränsvärdet är 5000 ppm koldioxid, baserat på ämnets egna skadeverkningar. Vid 20 000 ppm koldioxid uppstår huvudvärk, ökad andningsfrekvens etc. Normalt anses luften vara dålig då CO₂ halten överstiger 1000 ppm, ett värde som diskuteras mycket i inomhusklimatbranschen eftersom det anses vara ett för högt krav.

1.2.3 Ventilationsbehov med hänsyn till lukt

Människan avsköndrar luktämnen från andningsorgan, matsmältningsorgan och hud. Även vid mycket dålig luft förekommer luktämnen i så små koncentrationer att de inte har någon giftverkan. Sekundärt har de dock stor betydelse då det känns obehagligt att andas in dålig luft. Andningsfrekvensen minskar vilket leder till en försämring av blodets syresättning varvid ämnesomsättningen minskar. Dålig lukt påverkar på så sätt allmäntillståndet hos en person.

Luktintensiteten kan mätas med hjälp av panelmätningar, dvs mätningar där en panel av bedömare får ange yttrande om luktintensiteten i en lokal. Resultatet av ett sådant försök får förhållandevis stor spridning eftersom människor bedömer lukt olika. Tillfälliga påverkningar försvinner om panelen är vana bedömare.

I allmänhet uppfattas inte lukten i ett rum som obehaglig av de som redan vistas där, varför upplevelsen hos en person som inträder i rummet används som bedömning.

Pettenkofer menade att luktintensiteten hänger samman med koldioxidhalten och att luktintensiteten når en obehaglig grad samtidigt med att koldioxidhalten stigit till 1000 ppm.

1.2.4 Ventilationsbehov med hänsyn till fukt

Alltför låg fukthalt inomhus kan ge besvär genom uttorkning av slemhinnor och hud. Men normalt kan klagomål över torr luft ses som en indikator på annat, t ex damm eller kemiska ämnen eller bara för hög lufttemperatur. Vid låg relativ fuktighet blir människan liksom vissa material lättare statiskt laddad och dammalstringen blir större. En hög luftfuktighet medför risk för kondens på byggnadsdelar samt tillväxt av kvalster och alger. Även gasavgivningen från material och inredning underlättas vid hög fuktighet. Luftfuktigheten i rummet styrs av den fuktighet som råder utomhus. Inomhus fuktas luften av människor och processer. Människan avger 40 g vattenånga per timme. I normala fall krävs ett luftflöde på ca 2

l/s, person för att luftfuktigheten inte ska bli för hög. Den relativa fuktigheten bör ligga mellan 30 och 70% vid normal inomhustemperatur.

1.2.5 Ventilationsbehov med hänsyn till värme

Klimatet i Sverige kännetecknas sällan av extrem värme, men det finns ändå många omständigheter som åstadkommer oacceptabelt höga inomhustemperaturer om inte åtgärder vidtages. I välisolerade byggnader kan problem med övertemperaturer uppstå vid solinstrålning och vid stor inre värmealstring. För en rad lokaltyper kan också värmeförlusten från människor bli besvärande hög. Speciellt märks detta i samlingslokaler, biografteater, teatrar och hörsalar. I många av dessa lokaler förekommer också en kraftig belysning vilken också bidrar till värmeutvecklingen i lokalen. I kontor avger förutom personer och belysning också persondatorer eller terminaler m m mycket värme. Genom att blåsa in sval luft i rummet kan värmeöverskottet i dessa lokaler kylas bort. Detta får inte ske på ett sådant sätt att personer som vistas i lokalen utsätts för obehagligt drag. På grund av dragrisken accepteras sällan större undertemperatur på tilluften än 8°C. Med undertemperatur menas skillnaden mellan rummets temperatur och tilluftens temperatur.

Storleken på bortförel av värmeeffekt, P_{kyl} bestäms alltså dels av hur kall den inblåsta luften är och dels av hur stort luftflödet är. Detta kan skrivas

$$P_{kyl} = q \cdot C_{pluft} \cdot \rho (T_{rum} - T_{till}) \quad (1.6)$$

där q = luftflödet, m³/s
 C_{pluft} = specifika värmekapaciteten för luft, 1000 J/kg°C
 ρ = densiteten för luft, 1.2 kg/m³
 T_{rum} = rumsluftens temperatur, °C
 T_{till} = tilluftens temperatur, °C

Att uppskatta den dimensionerande kylande effekten, P_{kyl} i ekv (1.1) är svårt. Installationerna blir överdimensionerade om värmeavgivningen från människor, apparater, belysning m m adderas. En del av värmeöverskottet kommer nämligen att ackumuleras i byggnadens väggar och kommer att användas för värmning av rummet då den extra värmebelastningen upphört.

1.2.6 Ventilationsbehov med hänsyn till andra föroreningskällor

Joniserande strålning, radon, i byggnader kommer från radioaktiva ämnen i mark, byggnadsmaterial och i vissa fall i grundvatten i brunnar. Radon bildas då det radioaktiva ämnet radium sönderfaller. Sönderfallet pågår ständigt och av radonet bildas i sin tur radongas. Strålningen från denna bidrar till lungcancer. Luftväxling för bort radon och sänker därmed radongashalten inomhus.

En av de viktigaste källorna till luftförorening inomhus är tobaksrökning. Mängden av rök är direkt avgörande för ventilationsbehovet i fråga om lukt. Hälsoeffekter av exponering av tobaksrök i miljön, så kallad passiv rökning, har uppmärksamats under senare år. De vanligaste hälsoeffekterna är irritation i slemhinnor samt besvärande lukt. Man kan också notera att upplevelsen av tobakslukt står i proportion till koncentrationen i luften. Rökpartiklarna avger lukt, varför partiklar som fastnat i textilier under lång tid kan orsaka tobakslukt liksom partiklar som avskiljs i luftfilter.

Dammkvalster kan ge upphov till astma och andra allergiska besvär. Optimala förhållanden för ett dammkvalster är ca 25°C och 75-80% RF. Husdammkvalster