



Folkhälsomyndigheten

Värmestress i urbana inomhusmiljöer

Förekomst och åtgärder i befintlig bebyggelse



Värmestress i urbana inomhusmiljöer

Förekomst och åtgärder i befintlig bebyggelse

Bindningar och jäv

För Folkhälsomyndighetens egna experter och sakkunniga som medverkat i rapporter bedöms eventuella intressekonflikter och jäv inom ramen för anställningsförhållandet.

När det gäller externa experter och sakkunniga som deltar i Folkhälsomyndighetens arbete med rapporter kräver myndigheten att de lämnar skriftliga jävsdeklarationer för potentiella intressekonflikter eller jäv. Sådana omständigheter kan föreligga om en expert t.ex. fått eller får ekonomisk ersättning från en aktör med intressen i utgången av den fråga som myndigheten behandlar eller om det finns ett tidigare eller pågående ställningstagande eller engagemang i den aktuella frågan på ett sådant sätt att det uppkommer misstanke om att opartiskheten inte kan upprätthållas.

Folkhälsomyndigheten tar därefter ställning till om det finns några omständigheter som skulle försvåra en objektiv värdering av det framtagna materialet och därmed inverka på myndighetens möjligheter att agera sakligt och opartiskt. Bedömningen kan mynna ut i att experten kan anlitas för uppdraget alternativt att myndigheten föreslår vissa åtgärder beträffande expertens engagemang eller att experten inte bedöms kunna delta i det aktuella arbetet.

De externa experter som medverkat i framtagandet av denna rapport har inför arbetet i enlighet med Folkhälsomyndighetens krav lämnat en deklARATION av eventuella intressekonflikter och jäv. Folkhälsomyndigheten har därefter bedömt att det inte föreligger några omständigheter som skulle kunna äventyra myndighetens trovärdighet. Jävsdeklarationerna och eventuella kompletterande dokument utgör allmänna handlingar som normalt är offentliga. Handlingarna finns tillgängliga på Folkhälsomyndigheten.

Denna titel kan laddas ner från: www.folkhalsomyndigheten.se/publicerat-material

Citera gärna Folkhälsomyndighetens texter, men glöm inte att uppge källan. Bilder, fotografier och illustrationer är skyddade av upphovsrätten. Det innebär att du måste ha upphovsmannens tillstånd att använda dem.

© Folkhälsomyndigheten, 2018.

Artikelnummer: 18060
Bild omslag: Scandinav/Sofia Byström

Förord

Folkhälsomyndigheten driver ett projekt som syftar till att öka samhällets förmåga att identifiera, förebygga och hantera hälsoskadlig värme i befintlig bebyggelse. Projektet pågår under åren 2017-2019 och är finansierat via krisberedskapsmedel från Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB).

Förestående rapport är framtagen inom projektet och sammanfattar aktuell kunskap, åtgärdsalternativ och metoder för identifiering av hälsoskadlig värme i inomhusmiljön. Rapporten utgör underlag för kommande vägledning till kommuner och verksamhetsutövare såsom offentlig och privat fastighetsförvaltning.

Rapporten har tagits fram av Karin Lundgren Kownacki, Aneta Wierzbicka, Chuansi Gao och Kalev Kuklane vid Avdelningen för ergonomi och aerosolteknologi vid Lunds universitet, på uppdrag av Folkhälsomyndigheten. Från Folkhälsomyndigheten har enhetschefen Agneta Falk Filipsson och utredarna Elin Andersson, Ylva Eriksson och My Almqvist deltagit.

Folkhälsomyndigheten

Britta Björkholm

Avdelningschef

Avdelningen för smittskydd och hälsoskydd

Innehåll

Ordlista och förkortningar.....	8
Sammanfattning.....	10
Summary.....	11
Heat stress in urban indoor environments.....	11
Syfte.....	13
Metod.....	14
Uppkomst av hälsoskadlig värme i inomhusmiljöer.....	15
Relationen mellan utomhus- och inomhusklimat.....	15
Exponering för värme och dess hälsoeffekter.....	17
Riskgrupper.....	18
Kombinationseffekter av värme i inomhusmiljön.....	19
Värme och luftkvalitet.....	19
Värme och energieffektiva bostäder.....	19
Värme och socialt deltagande.....	20
Identifiering och bedömning av hälsoskadlig värme inomhus.....	21
Faktorer för identifiering av hälsoskadlig värme inomhus.....	21
Bedömning av värmestress i inomhusmiljön.....	22
The Wet Bulb Globe Temperature (WBGT).....	22
The Predicted Heat Strain (PHS).....	23
The Thermal Work Limit (TWL).....	23
Equivalent Temperature (ET).....	24
Utvärdering av termisk komfort.....	24
Behov av utveckling av ett värmeindex för inomhusmiljöer.....	26
Åtgärder för termisk komfort och hälsosam inomhusmiljö under värmeböljor.....	28
Mikroklimatiska lösningar: individuella åtgärder och anpassning.....	28
Exempel på individuellt beteende och tekniska åtgärder.....	28
Makroklimatiska lösningar: design och tekniska åtgärder.....	30
Klimatkänslig byggnadskonstruktion och design.....	30
Makroklimatiska tekniska åtgärder.....	31

Sammanfattning av åtgärder	33
Slutsats	34
Referenser	35

Ordlista och förkortningar

Acklimatisering	Ökning av värmeförmågan hos en individ genom värmeträning. Den sker genom både fysiologiska och psykologiska mekanismer.
American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers (ASHRAE)	Amerikanskt standardiseringsorgan för byggnader.
Artär-venösa anastomoser (AVA)	Små blodkärl som direkt förbinder en artär med en ven i händer och fötter och har termoregulatoriskt syfte.
Clothing Adjustment Values (CAV)	Justeringsvärden av kläder som används i värmeindexet WBGT för att bedöma risk för överbelastning av värme.
Djupkroppstemperatur	Temperaturen djupt inne i kroppen t.ex. i bröstet eller bukhålan. Kan mätas på olika sätt med varierande noggrannhet t.ex. genom rektalgivare eller sensor i matstrupen. Djupkroppstemperaturen är i vila hos en frisk person vanligen 36,5–37,5 °C.
Equivalent Temperature (ET)	Termiskt komfortindex baserat på värmen som överförs mellan individ och den omgivande miljön genom strålning, konduktion och konvektion (ej avdunstning).
European Committee for Standardization (CEN)	Den europeiska standardiseringsorganisationen.
Förväntat medelutlåtande (PMV)	Eng. Predicted Mean Vote. Klimatindex för bedömning av människans upplevelse av det termiska klimatet. Bedömningsmodellen är baserad på värmeutbytet mellan individ och omgivning genom värmebalanskvationen samt empiriska studier.
Globtemperatur	Integrerad luft- och medelstrålningstemperatur, mäts med en temperaturgivare placerad i centrum av ett svartmålat kopparklot på 15 cm. Används för att uppskatta värmestrålningens påverkan på människans termiska komfort.
Heat-related Health Effects Index (HEI)	Värmeindex som utvecklats utifrån en fysiologisk modell för att bedöma de viktigaste riskfaktorerna för hälsa som är relaterade till värmeböljor.
International Organization for Standardization (ISO)	Ursprungligen en förkortning av International Standards Organization. Internationellt standardiseringsorgan.
Konduktion	Ledning av värme från en varmare till en kallare yta genom kontakt (t.ex. från foten till ett kallt golv).
Konvektion	Överföring av värmeenergi med strömmande luft från en varm yta till en kallare omgivning. Sker i motsatt riktning om omgivningens lufttemperatur är högre än hudtemperaturen.
Latenta värmelagringsmaterial (PCM)	Eng. Phase Change Materials. Vid latent värmelagring genomgår värmelagringsmediet en fasomvandling. Mediet använder energin för att byta fas istället för att stiga i temperatur. Exempel på processen kan vara is som förvandlas till vatten.
Luftfuktighet	Mäts som mängden vattenånga i luften i g/kg torr luft eller som vattenångans partialtryck Pa.
Lufttemperatur	Mäts med en konventionell termometer, som är skyddad från direkt sol- och värmestrålning, och som är placerad så att luftrörelser runt termometern inte hindras.
Medelstrålningstemperatur	Ett mått på strålningsutbytet (kort och långvågig strålning) mellan en människa och dess omgivning. Består av medelvärdet mätt i olika riktningar.
Metabolisk värme	Värme bildad i kroppen vid energiomsättningen. En mindre del av den metaboliska värmen omvandlas till mekanisk effekt i form av kropps rörelser.

Predicted Heat Strain (PHS)	Rationellt värmeindex för bedömning av värmebelastning. Bygger på värmebalansberäkningar.
Relativ luftfuktighet	Den relativa fuktigheten definieras som det procentuella förhållandet mellan den uppmätta vattenånga i omgivningsluften och den största mängd vattenånga som kan finnas där vid den rådande lufttemperaturen.
Termiskt klimat	Generell benämning av de faktorer som påverkar människans värmeutbyte med omgivningen.
Termisk komfort	De klimatförhållanden som gör att kroppen varken upplevs som för kall eller för varm. Beror på lufttemperatur, luftfuktighet, lufthastighet, strålningstemperatur, klädsel, aktivitet etc.
Thermal Work Limit (TWL)	Rationellt värmeindex baserat på värmeutbytet mellan individ och omgivning genom värmebalanskvationen. TWL bestämmer maximal värmeproduktion i kroppen/arbetsstyngd som tillåter individen att behålla djupkroppstemperaturen och svettningstakten inom säkra gränser, < 38,2 °C respektive < 1,2 kg/h.
Universal Thermal Climate Index (UTCI)	Rationellt klimatindex baserat på en fysiologisk modell av värmebalansen för en viss kombination av vind, strålning, luftfuktighet och lufttemperatur som ger samma värmebelastning som referensbetingelser.
Urban värmeö	Fenomenet att urbana områden generellt är varmare än sin omgivning, främst ett nattligt fenomen. Anges vanligtvis som skillnad i lufttemperatur, men kan också anges som skillnader i yttemperatur, strålningstemperatur etc.
Våttemperatur	Den temperatur som mäts med en termometer som har givaren täckt av en våt "bomullsstrumpa". Naturlig våttemperatur (används i WBGT) mäts med givare som saknar strålningskydd och tillåter luften att strömma fritt kring den.
Värme, Ventilation och Sanitet (VVS)	Omfattar associerade tekniska system i byggnader, till exempel kontroll av inomhusklimatet.
Värmebalans	Tillstånd då den metaboliskt producerade värmeeffekten, minskad med mekanisk effekt, samt värmeeffekt tillförd utifrån uppvägs av avgiven värme.
Värmebelastning	Upplagring av värme i kroppen på grund av otillräcklig avgivning av överskottsvärme, vilket kan leda till skadlig påfrestning på kroppen. Med "hälsoskadlig värme" avses här vanligen sådan värme som kan resultera i belastning som påverkar hälsan.
Värmebölja	En längre sammanhängande period med hög lufttemperatur. Enligt SMHI definieras en värmebölja som "en sammanhängande period då dygnets högsta temperatur överstiger 25 °C minst fem dagar i sträck".
Värmeindex	Metod för bedömning av värmebelastning.
Värmeslag	Livshotande tillstånd, framkallat av värmebelastning. Det kännetecknas av förvirring, nedsatt eller upphörd svettning och cirkulationskollaps.
Värmestress	Uppkommer då kroppen inte längre kan reglera sin temperatur genom utsöndring av svett och ökat blodflöde. Kroppstemperaturen stiger och det påfrestar bland annat andning, hjärta och blodcirkulation.
Värmestrålning	Innebär vanligen ett flöde av värme från eller till kroppen från en källa i omgivningen genom strålning i de synliga och infraröda frekvensområdena. Människans hud tar upp praktiskt taget all infallande strålningsvärme.
Wet Bulb Globe Temperature (WBGT)	Empiriskt värmeindex för bedömning av värmestress baserat på direkta mätningar av klimatvariablerna lufttemperatur, luftfuktighet och värmestrålning.

Sammanfattning

Denna kunskapssammanställning beskriver hur hälsoskadlig värme kan uppstå inomhus, hur den kan identifieras och vilka åtgärder som kan vidtas med fokus på fastighetsägarens ansvar. Sammanställningen är begränsad till befintliga byggnader i Sverige och inkluderar skolor, äldreboenden, lägenheter, förskolor och kontor som är icke-industriella (utan industriella processer som producerar värme).

Den pågående klimatförändringen innebär en ökad risk för värmeböljor och efterföljande värmestress, särskilt i tätorter där värmeöar kan uppstå. Höga temperaturer kan påverka människors hälsa negativt, framför allt om exponeringen pågår under längre tid. Särskilt känsliga grupper under värmeböljor är kroniskt sjuka, personer som tar vissa mediciner eller har en funktionsnedsättning, små barn, gravida, individer med tungt fysiskt arbete samt blåljuspersonal i skyddsutrustning.

Det finns ett samband mellan utomhusklimat och inomhusklimat i byggnader utan luftkonditionering, men uppkomsten av hälsoskadlig värme inomhus under värmeböljor är komplex. Den beror till exempel på byggnadstyp, fönsterplacering, bostadsområdets termiska utomhusmiljö samt den boendes påverkan och beteende.

Kunskapssammanställningen visar att få studier fokuserat på den termiska miljön inomhus under värmeböljor. Detta trots att svenskar tillbringar majoriteten av sin tid inomhus och sannolikt kommer att uppleva ökad värmestress inomhus i framtiden. Då dagens värmevarningssystem baseras på utomhusförhållanden kan det leda till en missvisande bild av hälsoeffekterna och utgöra ett hinder för utvecklingen av mer effektiva åtgärder.

För att kunna identifiera hälsoskadlig värme behöver hänsyn tas till sex faktorer: lufttemperatur, värmestrålning, luftfuktighet, luftcirkulation samt individens fysiska aktivitet och kläder. Hälsoskadlig värme kan definieras med hjälp av ett värmeindex som inkluderar de sex faktorerna. Dock bör det uppmärksammas att individens hälsotillstånd inte finns med i beräkningarna i befintliga index. Rapporten redogör för några exempel på värmeindex som är relevanta för inomhusmiljöer, samt modeller som kan appliceras på stadsnivå. Den belyser också behovet av att utveckla ett värmeindex som är specifikt riktat mot identifiering av hälsoskadlig värme i inomhusmiljöer.

Det finns ett antal åtgärder som kan vidtas i befintlig bebyggelse för att minska värmestressen inomhus och förbättra hälsan och välbefinnandet hos befolkningen i tätorter. Rapporten redogör för en rad effektiva åtgärder som är relevanta för både fastighetsägare och de boende. Exempel på åtgärder för att minska värmestressen inomhus är att använda solavskärmning som markiser och vegetation, men också personliga avkylningstekniker såsom fläktar och kylvästar samt att integrera innovativa passiva material i fasader, tak, golv och fönster.

Summary

Heat stress in urban indoor environments

This literature review describes how heat stress can develop indoors, how it can be identified, and what actions can be taken, with a focus on property owner's responsibilities. The review is limited to existing buildings in Sweden and includes schools, retirement homes, apartments, preschools, and non-industrial offices (those without industrial processes that produce heat).

The expected climate changes increase the risks of heat stress, especially in urban areas where urban heat islands can develop. Strong heat can have several negative health outcomes, and this report has identified the risk groups as the chronically ill, people who take certain medications or have a disability, infants, pregnant women, individuals with heavy physical work, and emergency workers.

There is a connection between the outdoor and the indoor climate in buildings without air conditioning, but the pathways leading to the development of severe heat levels indoors during heat waves are complex. These depend, for example, on the type of building, window placement, the residential area's thermal outdoor conditions, and the residents' influence and behaviour.

This review shows that few studies have focused on the thermal environment indoors during heat waves despite the fact that in Sweden people spend most of their time indoors and are likely to experience increased heat stress indoors in the future. Further, current Heat-Health Warning Systems (HHWS) are based on the outdoor climate, which can lead to a misleading interpretation of the health effects and hinder the development of more effective interventions.

In order to identify severe heat, six factors need to be taken into account, including air temperature, heat radiation, humidity, and air movement as well as the physical activity and the clothes worn by the individual. Severe heat can be identified using a heat index that includes these six factors. However, it is noted that existing indexes do not take into account a person's health status. This report presents some examples of heat indices that are relevant for indoor environments, as well as models that can be applied at the city level. It also highlights the need for the development of a heat index that specifically targets the identification of severe heat in indoor environments.

There are a number of measures that can be taken in existing buildings to reduce heat indoors and thus improve the health and well-being of the population in urban areas. This report also describes a number of effective measures that are relevant to both property owners and its residents. Examples of effective measures to reduce heat stress indoors are the use of shading devices such as blinds and vegetation, but also personal cooling techniques such as the use of fans and cooling vests, as well as the integration of innovative Phase Change Materials (PCM) into facades, roofs, floors, and windows.

N.B. The title of the publication is translated from Swedish, however no full version of the publication has been produced in English.

Syfte

Syftet med denna kunskapssammanställning är att redogöra för hur hälsoskadlig värme kan uppstå och identifieras i inomhusmiljöer i befintlig bebyggelse. Vidare är syftet att beskriva nationella och internationella åtgärder som har vetenskapligt stöd och är relevanta för att minska värmestress inomhus i Sverige.

Metod

En begränsad systematisk sammanställning av litteratur genomfördes i två omfattande databaser: *PubMed* och *Google Scholar*. Forskningsfrågan som vi utgick ifrån löd: Hur kan hälsoskadlig värme uppstå, identifieras och åtgärdas i befintliga inomhusmiljöer? Följaktligen användes söktermerna *indoor climate/temperature/thermal comfort/heat stress/exposure/heat wave/climate change/health/solutions/prevention/reduction, personalized cooling, personal cooling/protection, indoor environment quality, indoor environmental quality, housing, energy savings, homes*.

Resultatet av litteratursökningen innehåller både nationell och internationell litteratur som är relevant för Sverige och svenska förhållanden samt författarnas egna samlingar av relevant litteratur. Större delen av litteraturen kom dock från Nordamerika eller Tyskland eftersom den svenska litteraturen främst bestod av studier på termisk komfort, luftkvalitet, energieffektivitet, passivhus, ventilation och uppvärmning.

Det finns begränsat med forskning som kopplar direkt till uppkomst av hälsoskadlig värme i inomhusmiljöer. I allmänhet resulterade litteratursökningen i artiklar som studerade luftkvalitet, värmestress i arbetsmiljön, termisk komfort och produktivitetsstudier i kontorsmiljöer, eller studier av värmeböljor i inomhusmiljöer relaterat till mänsklig ohälsa och dödlighet. Dessutom har majoriteten av forskningen inom termisk komfort fokuserat på hälsoeffekter av låga temperaturer, och studier av luftkvalitet har koncentrerat sig på exponering av föroreningar och specifika sjukdomsprocesser. De senaste åren har dock ansträngningar gjorts för att mer noggrant beskriva de komplexa interaktionerna mellan hälsa och inomhusmiljö, inklusive värme (1).

Uppkomst av hälsoskadlig värme i inomhusmiljöer

Relationen mellan utomhus- och inomhusklimat

I detta avsnitt diskuteras om utomhusklimatet påverkar inomhusklimatet, om de två kan kopplas ihop och i så fall på vilket sätt. Det är viktigt med kunskap om ett eventuellt samband mellan utomhus- och inomhusklimat för att kunna förutse uppkomst av hälsoskadlig värme inomhus.

Klimatförändring (2) och den urbana värmeö-effekten (3) bidrar till ökad värme i tätorter, vilket påverkar bostäder och deras inomhusmiljö på ett komplext sätt. Påverkan på inomhusmiljön består av interaktioner mellan naturliga processer, teknik, individuella beteenden och sociala system (4). År 2009 belyste Världshälsoorganisationen bristen på kunskap om uppkomst av hälsoskadlig värme inomhus (5). Studier har hittills framför allt fokuserat på utomhusmiljön. Det finns ett särskilt kunskapsbehov i länder på nordliga breddgrader, inklusive Sverige, eftersom majoriteten av befolkningen i dessa länder tillbringar den största delen av sin tid, ca 90 %, inomhus (6, 7, 8, 9, 10, 11, 12).

I den nordliga delen av världen är det vanligare att värmerelaterade dödsfall sker i hemmet, men lite är känt om kopplingarna mellan utomhustemperatur, inomhustemperatur och luftfuktighet (8). För byggnader utan luftkonditionering kan klimatparametrar i utomhusmiljön, såsom temperatur och luftfuktighet, vara relaterade till inomhusförhållandena, men dessa relationer är plats- och säsongsspecifika. I byggnader med luftkonditionering är förhållandet mellan utomhustemperatur och inomhustemperatur mindre starkt (13).

I allmänhet har studier visat att hög utomhustemperatur generellt ökar inomhustemperaturen (8, 9, 10, 14, 15). Till exempel dokumenterade Hawkins-Bell och Rankin (1994) att inomhustemperaturen kan vara upp till 18,8 °C högre jämfört med utomhustemperaturen i samband med värmeböljan i Philadelphia 1994 (15). Känsligheten mellan utom- och inomhustemperaturen varierade beroende på typ av byggnad (t.ex. typ av byggnadsmaterial, storlek och orientering av fönster), utomhustemperatur och stadsdel (11), samt följde dygnsrytmens förhållanden (7). Studier på individnivå där man använder sig av personliga dataloggar för temperatur och luftfuktighet visar också att individer utsätts för ett brett spann av temperaturer under sommaren (16, 17).

I en studie av Quinn et al. (2014) studerades inomhusmiljöer i New York City under värmeböljor. Forskarna fann att många hem översteg deras definition av farlig värme. Farlig värme definierades i studien med hjälp av värmeindexet ”The Heat Index” som består av temperatur och luftfuktighet, samt genom en regressionsmodell för att förutse 95:e och 99:e percentiler med data från somrarna 2001–2011. Farlig inomhusvärme definierades vid ett värmeindex på 35 °C i över två dagar. Vidare hade inomhustemperaturerna och värmeindexnivåerna båda

starka positiva linjära samband med utomhusförhållandena. Dock fanns en stor variation av inomhusförhållanden för samma utomhusmiljöer, vilket kan förklaras av att inomhusmiljöerna påverkas av byggnadstyp och socioekonomisk status samt beteendefaktorer som matlagning, badning och användning av luftkonditionering (8).

I en annan studie av Roberts och Lay (2013) studerades en uppsättning av 60 nordamerikanska hem med äldre vuxna i tre olika klimat (Florida, Oregon, New York och Washington State). Forskarna fann att äldre vuxna och patienter i grannskap med fler afroamerikaner upplevde en varmare och fuktigare inomhusmiljö än i de andra grannskapen, vilket ger ett visst stöd för en koppling mellan demografiska faktorer som fattigdom och boendemiljö med exponering för hälsoskadlig värme inomhus (18). Denna koppling är dock specifik för amerikanska förhållanden och mindre tydlig i ett europeiskt sammanhang (19) och är därför inte direkt överförbar till svenska förhållanden. Roberts och Lay (2013) fann också att byggnader i bostadsområden med en högre andel ensamstående personer tenderade att vara något svalare och torrare än kvarter med fler flerhushåll. Detta kan i denna studie bero på värme som härrör från trängsel, alternativt på en ökad användning av luftkonditionering på arbetsplatser och välbärgade stadsbostäder. Vidare konstaterades att vardagsrummen generellt var svalare än sovrummen (18).

Franck et al. (2013) fann också att inomhustemperaturerna berodde på utomhustemperaturerna, men att förhållandet är komplext och varierar med typ av struktur på stadsdel, bostadsområde och invånarnas beteende. Även inom ett bostadsområde eller en byggnad kan människor påverkas olika, t.ex. på grund av skuggning, orientering av lägenheten och i vilken del av byggnaden den är placerad. Temperaturerna har också en tendens att öka med våningsnummer och med närhet till tätortens centrum (mindre gröna utrymmen). Författarna fann också att den subjektiva upplevelsen av värme inte tydligt återspeglade de uppmätta temperaturskillnaderna utan varierade med individens anpassningsförmåga (9).

Uejio et al. (2016) undersökte inomhusklimatet (temperatur och luftfuktighet) i personers hem som behövde akutsjukvård i New York City sommaren 2013. Studien fann att varmare och soligare utomhusförhållanden snabbt ökade temperaturen och luftfuktigheten inomhus. Vidare tenderade äldre människor att bo i varmare byggnader (10, 11), vilket delvis kan vara en effekt av att äldre personer bor kvar i äldre byggnader som har sämre ventilation eller saknar luftkonditionering. Äldre kan också ha svårare att reglera inomhustemperaturen på grund av försämrad fysisk förmåga samt kan ha svårare att ändra sina beteenden och vanor.

Chan et al. (2001) analyserade inomhus-utomhusförhållandet med hjälp av en fiktiv byggd miljö och en mänsklig fysiologisk modell för att förstå viktiga riskfaktorer förknippade med negativa hälsoeffekter från värmeböljor. Metoden bestod av integrerade moduler, inklusive miljöförhållanden och beteendemässiga reaktioner, kopplade till en fysiologisk modell som förutspådde invånarens

djupkroppstemperatur (20). Metoden applicerades på de förhållanden som rådde vid Chicagos värmebölja 1995 (21) och resultaten jämfördes med publicerade studier. Författarna fann ett samband mellan värmeexponering och risk för dödlighet hos enskilda personer men när man aggregerade för populationer var förhållandet emellertid betydligt svagare. Detta resultat tyder på att dödlighet inte är en bra indikator för värmestress. Författarna fann också att boende i hem utan mekanisk ventilation var 2–3,8 gånger mer benägna att uppleva hög värmeexponering (20).

Slutligen, för byggnader utan luftkonditionering, vilket är det vanligaste i Sverige, har flera studier funnit starka samband mellan utomhus- och inomhustemperatur (7, 8, 9, 10, 11, 12). Det finns dock ingen generell ekvation som kan kvantifiera sambandet då det är komplext. Vidare tenderar luftfuktighets sambandet i förhållandet inomhus-utomhus att vara starkare än temperatursambandet (14, 18, 22).

Exponering för värme och dess hälsoeffekter

Det här avsnittet introducerar mänskliga fysiologiska reaktioner och förmågor i varma miljöer, inklusive termofysiologiska effekter samt påverkan på termisk komfort och prestanda. Avsnittet identifierar även riskgrupper.

Kopplingen mellan hög värmeexponering och negativa effekter på människors hälsa är väl etablerad genom fysiologisk, medicinsk och epidemiologisk forskning där det har klargjorts att hög och långvarig exponering för värme kan öka dödligheten (23). När människans djupkroppstemperatur börjar stiga över ett normalläge på 36,5–37,5 °C, ger det väldokumenterade akuta fysiologiska effekter på människokroppen vilket utgör risker för hälsan. Efter en ökning av djupkroppstemperaturen på ca 0,2–0,3 grader ökar blodflödet i huden och svettning påbörjas (24). Vid djupkroppstemperaturer på 38–39 °C finns det en ökad risk för utmattning, och över 39 °C kan värmeslag uppstå vilket kan resultera i att kroppens värmereglering slutar fungera. Vid djupkroppstemperaturer över 42 °C finns en hög risk för dödsfall (25). Överhettning påverkar andningsorganen och det kardiovaskulära systemet, vilka kan övergå i systemfel i värmeregleringen och slutligen orsaka dödsfall (26). Hög värmeexponering kan också resultera i att flera organ slutar fungera, t.ex. njurarna. Värmeslag har hög dödlighet och händelseförloppet kan gå mycket snabbt (timmar). Överlevande kan få permanenta skador på organsystem vilket orsakar svår funktionsnedsättning och ökad risk för tidig dödlighet (19).

Människans värmeterans är resultatet av en serie fysiologiska anpassningar som är genetiskt kodade. Människor är födda med ett högspecialiserat värmereglerande system som inkluderar blodcirkulationen, svettkörtlar och värmereceptorer. Å andra sidan kan faktorer som sjukdomar, mediciner, kläder, ålder, kön, graviditet, infektioner, acklimatisering, fysisk kondition, kroppsstorlek och kroppssammansättning påverka detta system och förvärra eller förbättra påverkan på hälsan (26, 27). Människan kan acklimatisera sig till värme genom

värmeträning. Acklimatisering resulterar bland annat i ökad svettmängd som innehåller mindre salt, vilket leder till en lägre djupkroppstemperatur och hjärtfrekvens vid samma arbets- och klimatbelastning. Dock finns en risk för uttorkning samt en viss skillnad mellan kvinnor och män, där män tenderar att kunna svettas mer (28). En acklimatisering infinner sig vanligtvis efter 7–14 dagar med minst två timmar värmeexponering dagligen (29). Kardiovaskulära anpassningar i form av reducerad hjärtfrekvens förekommer emellertid relativt snabbt, ofta redan under de första dagarna (31, 31, 32).

Den geografiska klimatzonen en region befinner sig i påverkar vid vilket klimat (temperatur och luftfuktighet) som det finns ökad risk för hälsopåverkan av värme (33). I Storbritannien fann Anderson et al. (2013) att tröskelvärdet där dödligheten ökade låg på 26 °C för inomhusmiljöer (34). Men de tidigare nämnda interaktionerna såsom avstånd till tätortens centrum måste övervägas, eftersom de oftare påverkas av urbana värmeöar. Flera studier av utomhusförhållandena under värmeböljor visar att dödligheten är högre i tätorter jämfört med omgivande landsbygd. En orsak till detta kan vara att den urbana värmeöns bibehåller en hög nattemperatur (19, 35).

Riskgrupper

Uppkomst av hälsoskadlig värme inomhus är av särskild betydelse för hälsan hos de mest sårbara, som de allra yngsta och äldre människor (36). Till exempel har dödligheten från värmeböljor relaterats till hjärt- och kärlsjukdomar samt lungsjukdomar vilka är vanligare hos äldre (35). Den europeiska värmeböljan 2003 hade en allvarlig inverkan på äldre personer på sjukhus och i bostadshus. Dödligheten fördubblades i åldersgruppen 75+ på äldreboenden i Frankrike (37). En studie i Storbritannien fann också en mycket högre risk för värmeslag hos vårdpatienter, med lägst risk för personer som vårdades hemma (38).

Förutom de naturliga åldringsmönstren ökar flera medicinska tillstånd sårbarheten för värmestress (27), och även en rad läkemedel påverkar värmeregleringen (19). Epidemiologiska studier visar att personer med depression, hjärt- och kärlsjukdomar samt diabetes måste vara extra försiktiga vid varmt väder. Människor med sjukdomar som påverkar rörlighet, medvetenhet och beteende utgör också en riskgrupp, såsom demens och Parkinsons sjukdom (19). Det är troligt att vissa identifierade riskgrupper, som äldre människor och dementa, i högre grad stannar inomhus under värmeböljor. Van Loenhout et al. (2016) undersökte sambandet mellan inomhustemperatur och värmerelaterade hälsoproblem hos äldre personer och konstaterade att förhållandet är starkare inomhus än utomhus (39).

Förutom äldre, kroniskt sjuka och personer som tar vissa mediciner eller har en funktionsnedsättning, är andra identifierade riskgrupper barn under 12 månader (på grund av deras outvecklade värmeregleringssystem), gravida kvinnor (på grund av att en förhöjd djupkroppstemperatur under graviditeten kan medföra risker för både kvinnans och barnets hälsa (40, 41,42)), individer med tungt fysiskt arbete (28) och blåljuspersonal som bär skyddskläder, till exempel brandmän (43, 44).

Kombinationseffekter av värme i inomhusmiljön

Värme och luftkvalitet

Ökad värme i tätorter kan komma att påverka andra aspekter av inomhusmiljön i kombination med värme. Exempelvis kan koncentrationerna av luftföroreningar stiga under värmeböljor (35) och orsaka högre luftföroreningar i byggnader utan luftkonditionering på grund av infiltration (genom ventilation, otätheter i byggnaden, fönsteröppning) (45). Med varmare inomhustemperaturer avdunstar det även mer kemiska ämnen från material inomhus, vilket bidrar till högre koncentrationer av föroreningar i gasfas. Dessa föroreningar blir tillgängliga för en efterföljande kedja av oxidationsreaktioner med både partiklar och gaser i inomhusluften (bildande av sekundära föroreningar). Exponering för föroreningar i inomhusmiljöer har negativa hälsoeffekter och är starkt påverkad av luftkemin inomhus, en aspekt som fått ökad uppmärksamhet (46, 47).

Problemet kommer att förvärras ytterligare av minskad luftomsättning i naturligt ventilerade bostäder på grund av minskad temperaturskillnad mellan inomhus och utomhus och när fönster och dörrar hålls stängda eller i lågenergibygnader. Den minskade luftomsättningen ger inte tillräckligt med utspädning och avlägsnande av föroreningar, utan de ackumuleras inomhus och reaktioner mellan dem kan äga rum. Ökad luftfuktighet i kombination med värme kan också orsaka problem med kondens- och mögeltillväxt (48).

Värme och energieffektiva bostäder

Klimatförändring kan komma att förvärra befintliga miljöproblem inomhus och medföra nya problem. Idag står byggnader i de flesta länder för cirka 30–40 % av koldioxidutsläppen (49, 50). Åtgärder för att minska energianvändningen i byggnader är nödvändiga, men om de leder till lägre ventilationsflöde i byggnaderna kan det medföra att föroreningar från inomhuskällor ökar i koncentration vilket medför ökad exponering (4). Lågt ventilationsflöde ökar exponeringen för till exempel emissioner från matlagning, tobaksrök, radon och kemiska utsläpp från byggmaterial (48) och deras fortsatta reaktioner som beskrivs ovan. Det finns också farhågor om att energieffektiva bostäder lätt överhettas på grund av lufttäthet, vilket minskar möjligheten att bli av med värme utan luftkonditionering (4).

Det finns en risk för att luftkonditionering kommer att bli den främsta åtgärden för att skydda befolkningens hälsa och välbefinnande, och att det leder till en dramatisk ökning av energibehov och därmed växthusgasutsläpp. Det finns också det framväxande problemet att alla delar av samhället inte har råd med luftkonditionering för att bibehålla svala inomhustemperaturer (34). Vidare är förekomsten av byggnadsrelaterad ohälsa högre i luftkonditionerade byggnader än i naturligt ventilerade byggnader (51). Dessutom kan ökad användning av luftkonditionering i kombination med reducerat ventilationsflöde öka koncentrationerna av föroreningar från inomhuskällor. Å andra sidan kan klimatförändringarna resultera i ett mindre behov av uppvärmning under

vinterhalvåret vilket innebär mindre utsläpp av föroreningar från till exempel förbränning (4).

Värme och socialt deltagande

Inomhusklimatet har också indirekta effekter på socialt deltagande. Till exempel genomförde Lindemann et al. (2017) en studie i Tyskland om effekten av inomhustemperaturer på deltagande i sociala aktiviteter samt beteendemönster som dryckesvanor hos äldre vuxna under värmeböljor. Studien visade på betydande effekter av inomhustemperaturen på beteende och socialt deltagande. Det negativa sambandet mellan inomhustemperatur och socialt deltagande var starkare om individen hade en funktionsnedsättning eller bodde i en stad (52).

Identifiering och bedömning av hälsoskadlig värme inomhus

Faktorer för identifiering av hälsoskadlig värme inomhus

För att identifiera och bedöma hälsoskadlig värme måste en kombination av faktorer beaktas. Detta avsnitt beskriver källor till värmeexponering vilket inkluderar klimatfaktorer, samt kläder och den värme som uppstår av individens fysiska aktivitet. Klimatfaktorerna består av fyra termiska klimatparametrar: lufttemperatur, värmestrålning, luftfuktighet samt luftcirkulation (26).

Termiska bedömningstekniker är vanligtvis baserade på värmebalanskvationen, genom vilken balansen mellan kroppens värmeproduktion och värmeutbytet med den omgivande miljön kan beräknas. Människokroppen är i värmebalans när värmeproduktionen och värmeförlusten till omgivningen är lika och inte leder till någon förändring i kroppens värmeinnehåll ($S = 0$). Om värmelagringen är positiv ökar djupkroppstemperaturen och vice versa.

Värmebalanskvationen (26) är som följer:

$$S = (M - W) - (H_{res} + E + R + C + K)$$

S = lagring av kroppsvärme

M = arbetstyngd (värmeproduktion)

W = externt mekaniskt arbete

H_{res} = avdunstning och konvektion från andning

E = avdunstning

R = strålning

C = konvektion

K = konduktion

Värme överförs mellan kroppen och den omgivande miljön genom strålning, konduktion, konvektion och avdunstning (26). Människor kan bibehålla normal kroppstemperatur (djupkropp- och hudtemperatur) inom ett stort antal klimathållanden, förutsatt att värmeöverföringen inte försämras.

Värmeavledning sker genom torr värmeförlust (strålning, konduktion och konvektion) och förångningsvärmeförlust (svettning) (26). Kläder påverkar överföringen av värme från och till kroppen genom motstånd mot luftcirkulation, torr värmeväxling och svettavdunstning (53). Andra faktorer som påverkar denna balans är bland annat aklimatisering, vätskestatus och kroppsställning (54).

Avdunstning av svett är den mest effektiva vägen för värmeavledning och blir alltmer kritisk med ökande omgivningstemperatur. Med tanke på vikten av svettavdunstning är luftfuktighet och luftfuktighet kritiska klimatfaktorer i varma förhållanden. Om luftfuktigheten är hög produceras fortfarande svett, men samtidigt minskar förångningen till omgivande luft och då minskar kylningseffekten. Svett lämnar alltså kroppen men utan att ge en kylningseffekt på huden, och detta kan dessutom resultera i uttorkning (26).

Bedömning av värmestress i inomhusmiljön

Det här avsnittet beskriver olika sätt att bedöma uppkomst av hälsoskadlig värme inomhus, genom direkta mätningar, simulering eller uppskattning. Upprättandet av ett tröskelvärde för värmestress inomhus skulle kunna bidra till att utöka kapaciteten för förebyggande åtgärder.

I epidemiologiska studier där man har studerat värme utomhus har det visat sig att när temperaturen ökar över ett visst tröskelvärde, gör dödlighets- och sjuklighetstalen det också (t.ex. 55, 56, 57, 58). Emellertid har liknande trösklar för inomhustemperaturen ännu inte identifierats. Hittills har värmeströsklar inomhus kopplats till termisk komfort eller arbete i varma miljöer, men dessa identifierade tröskelvärden är inte jämförbara (34).

Ett värmestressindex består ofta av ett enda tal som integrerar effekterna av de grundläggande faktorerna i människans termiska miljö så att variationer i termiska förhållanden kommer att påverka dess värde (26). Med andra ord ger det en indikation på värmeexponeringen och kan till exempel användas för att fastställa trösklar för att skydda folkhälsan. Många värmestressindex har utvecklats under de senaste 80 åren (59) och de flesta index kan kategoriseras som rationella, empiriska eller direkta. Rationella index är centrerade på beräkningar som inbegriper värmebalansekvationen, empiriska index bygger på att man fastställer ekvationer från fysiologiska studier hos människor (t.ex. svettförlust) och direkta index bygger på mätningar av klimatvariabler (26).

I det här avsnittet introduceras fyra index som eventuellt kan tillämpas på inomhusmiljöer: the Wet Bulb Globe Temperature (WBGT), the Predicted Heat Strain, the Thermal Work Limit (TWL) och Equivalent Temperature (ET). För att fastställa tröskelvärden inomhus är det dock nödvändigt att utveckla ett index som specifikt avspeglar värmeeffekter på folkhälsan, eftersom WBGT, TWL och ET utvecklats för friska arbetande vuxna.

The Wet Bulb Globe Temperature (WBGT)

The Wet Bulb Globe Temperature (WBGT) (ISO 7243) är ett direkt värmestressindex som är lätt att använda och representerar den termiska miljö som en individ befinner sig i. Det betraktas som en screeningmetod för att fastställa närvaron eller frånvaron av värmestress. The Wet Bulb Globe Temperature (WBGT) är ett utbrett index för användning på arbetsplatser inomhus och utomhus och innehåller klimatfaktorerna temperatur, luftfuktighet, lufthastighet och värmestrålning (60). Den internationella standarden för WBGT (59) använder en formel baserad på mätningar av tre temperaturvariabler: T_a , lufttemperaturen mätt med en avskärmd termometer; T_g , globtemperaturen, vilken är temperaturen inuti en svart glob och representerar värmeinstrålningen; och T_{nw} , den naturliga våttemperaturen, som mäts med en våt strumpa över temperatursensorn som representerar inverkan av svettavdunstning på värmeförlusten (60).

WBGT-ekvationen för inomhusmiljöer (utan värmestrålning) är:

$$WBGT = 0,7 T_{mw} + 0,3 T_g$$

Indexet kan justeras för att ta hänsyn till kläder (CAV, Clothing Adjustment Values) och den metaboliska värmeproduktionen uppskattas från ett tidsvägt medelvärde baserat på en referenstabell (60). Tabellen nedan visar de justerade WBGT-tröskelvärdena för acklimatiserade och icke-acklimatiserade personer uppdelat i fem klassificeringar av metabolisk värmeproduktion.

Tabell 1. Rekommenderade WBGT_{eff} tröskelvärden för acklimatiserade samt icke-acklimatiserade personer uppdelat i fem klassificeringar av metabolisk värmeproduktion (60).

Metabolisk värmeproduktion (aktivitetsklass)	Metabolisk värmeproduktion (W)	WBGT referensvärde för en värmeacklimatiserad person (°C)	WBGT referensvärde för en person som inte är värmeacklimatiserad (°C)
Klass 0 Vila	115	33	32
Klass 1 Lätt	180	30	29
Klass 2 Måttligt	300	28	26
Klass 3 Tungt	415	26	23
Klass 4 Mycket tungt	520	25	20

The Predicted Heat Strain (PHS)

Modellen The Predicted Heat Strain (PHS) (ISO 7933) är ett av de vanligaste indexen för utvärdering av varma miljöer och relaterad fysisk belastning som bygger på värmebalans ekvationen, och är också en internationell standard (61, 62, 63). Modellen beräknar tiden då kroppens djupkroppstemperatur och vätskebrist når kritiska nivåer och inkluderar alla faktorer som påverkar människans värmebelastning (25). Modellen bygger på en analys av kroppens värmeutbyte samt svettshastighet för upprätthållandet av en stabil djupkroppstemperatur, vilket gör det möjligt att förutse svettfrekvens, djupkroppstemperatur och genomsnittlig hudtemperatur för en genomsnittlig person och beräkna gränser för exponering (63, 64).

The Thermal Work Limit (TWL)

The Thermal Work Limit (TWL) är ett rationellt värmestressindex som framför allt är relevant på arbetsplatser. TWL sätter gränser för den metaboliska värmeproduktionen (i W/m²) som en acklimatiserad individ i vätskebalans kan

bibehålla under en viss termisk miljö, inom en säker djupkroppstemperatur ($< 38,2\text{ °C}$) och svetthastighet ($< 1,2\text{ kg/h}$). Indexet inkluderar effekten av kläder och kan utökas till icke-acklimatiserade individer. Indexet baseras på ett antal ekvationer för att beräkna värmeflödet från "hud till miljö" genom konvektion, värmestrålning, hudens fuktighet, avdunstningshastighet och svettning, samt värmeflödet mellan "kärna till hud" på grund av andning och svettningshastighet. Det är den genomsnittliga hudtemperaturen samt den metaboliska värmeproduktionen som uppskattar värmebalansen, alltså den tidpunkt kroppen är i termisk jämvikt med miljön. Indexet är inte lika användarvänligt som WBGT, men tillåter inte bara utvärdering av klimatfaktorerna utan gör det även möjligt att kvantitativt bedöma effekten av olika strategier, såsom förbättrad ventilation eller nedkylning (59).

Equivalent Temperature (ET)

The Equivalent Temperature (ET) är ett direkt termiskt komfortindex. Det beaktar lufttemperatur, värmestrålningstemperatur, lufthastighet och relativ luftfuktighet (65). Indexet är användarvänligt och kan mätas direkt med ett "thermal comfort"-instrument vilket består av en uppvärmd, ellipsoidsensor som representerar människokroppen (motsvarande de totala värmeväxlingarna från konvektion och strålning). Grundläggande klimatfaktorer kan också användas för att beräkna indexet, dvs. luft och medelstrålningstemperatur samt lufthastighet. Indexet ger ett mått på avvikelse från termisk neutralitet (66). Indexet används sällan idag som ett komfortindex men har tillämpats för att utvärdera värmestress (26).

Utvärdering av termisk komfort

Denna del introducerar konceptet termisk komfort och hur den kan utvärderas i varma klimat. Dessa metoder kan också appliceras för att utvärdera uppkomst av hälsoskadlig värme inomhus.

Det är viktigt att bibehålla termisk komfort i inomhusmiljöer eftersom människan inte upplever det bekvämt i temperaturer utanför intervallet $17\text{--}31\text{ °C}$.

Toleransområdet för en individ är dock vanligtvis mindre än detta och tenderar att bli mindre med ålder eller funktionsnedsättning (67). När det gäller att bibehålla termisk komfort inomhus handlar det inte bara om att säkerställa produktivitet eller upprätthålla en känsla av tillfredsställelse med omgivande temperatur, utan termisk komfort är också starkt kopplat till hälsa och välbefinnande.

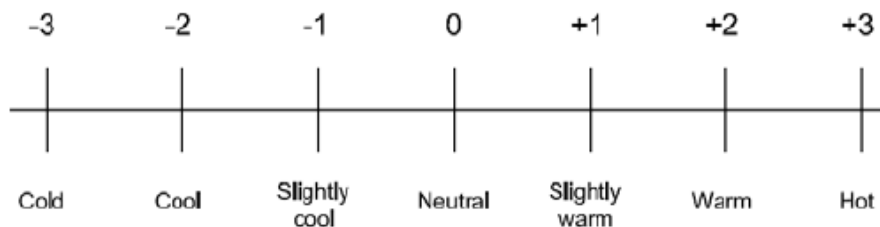
Världshälsoorganisationen har därför gjort det generella antagandet att det termiska komfortområdet är $18\text{--}24\text{ °C}$, vilket är ett intervall som anges i nuvarande komfortstandarder (36, 67). Inomhuskomforten påverkas av regionens klimat, säsong och individers acklimatisering, termisk historia men också ekonomiska och kulturella sammanhang samt förväntningar. Ett varmare klimat kan därför ha en högre gräns för komfort, till exempel 28 °C i Grekland och 25 °C i Frankrike (68).

Generellt finns det tre bedömningsmetoder av termisk komfort:

1. En psykologisk bedömning som ser termisk komfort som ett sinnestillstånd som uttrycker tillfredsställelse med den termiska miljön (6).
2. En termofysiologisk bedömning som fokuserar på de termiska receptorerna i huden och hypotalamus och bygger på värmebalansen i människokroppen (6).
3. En adaptiv bedömning som baseras på fältstudier som tittar på adaptiv komfort, psykologi och beteende. Bedömningen tar hänsyn till det lokala sammanhanget där till exempel inomhuskomfortens temperatur beräknas utifrån utetemperaturen med hjälp av en adaptiv algoritm (69).

På internationell nivå utvecklas standarder för termisk komfort av internationella standardiseringsorganisationen (ISO), Europeiska standardiseringsorganisationen (CEN) och American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers (ASHRAE). Standarderna har dock kritiserats eftersom de flesta standarder har utvecklats av experter från Europa, Nordamerika och Japan och gäller därför inte för varmare klimat (70). Den internationella standarden för termisk komfort, ISO 7730, använder en formel som kallas "the Predicted Mean Vote (PMV)". PMV förutspår ett numeriskt värde för det genomsnittliga subjektiva svaret på den upplevda termiska miljön utifrån kunskap om de sex termiska variablerna, dvs. värmeproduktion, kläder, temperatur, luftfuktighet, värmestrålning och lufthastighet (71). Skalor för uppskattning av den termiska komforten har också utvecklats för att utvärdera termisk komfort hos en individ, till exempel ASHRAE-skalan nedan och ISO 10551 (72).

Figur 1. ASHRAE:s 7-punktskala för termisk komfort.



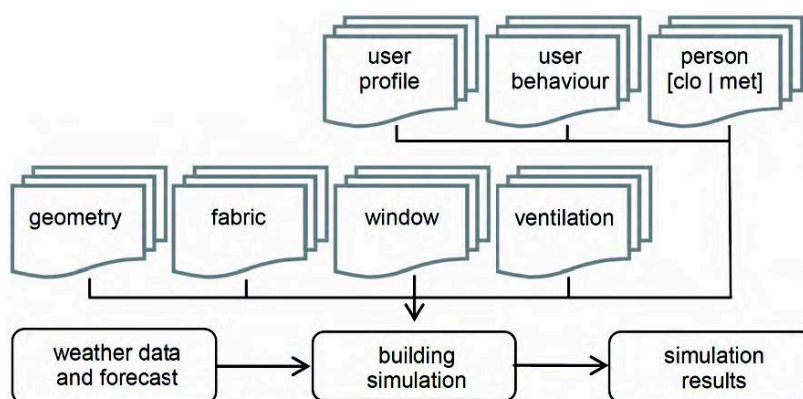
Flera forskare är dock kritiska till denna bedömningsmodell och argumenterar för att modellen utvecklades med ett mekaniserat system i åtanke. Som ett alternativ föreslår de en mer adaptiv modell (68, 69, 73, 74). I PMV-strategin har det antagits att luftkonditionering ökar komfort och produktivitet och att alla människor runt om i världen har liknande komfortbehov (75), men de traditionella byggnader som ansetts bekväma av tidigare generationer kan ofta inte uppfylla gällande normer (68). Adaptiva komfortstudier har visat på mångfalden av de miljöer som befolkningen tycker är bekväma, vilket inte kan förklaras av nuvarande fysiologiska modeller (68). Fältstudier av termisk komfort påvisar att personlig kontroll av inomhusklimatet, genom till exempel justerbara termostater, operativa fönster, individualiserad ventilation och andra kontroller, har en positiv inverkan på komfort och produktivitet, och förebygger byggnadsrelaterad ohälsa (76). På grund av denna kritik föreslog deDear och Brager (2002) en ny termisk komfortstandard för naturligt ventilerade byggnader, vilket innebär att ISO 7730

och dess PMV-formel endast borde användas på luftkonditionerade byggnader. Tillvägagångssättet i den nya termiska komfortstandarden hjälper framför allt arkitekter som vill använda lågenergilösningar (73).

Behov av utveckling av ett värmeindex för inomhusmiljöer

Ett värmeindex för inomhusmiljöer behöver omfatta många olika betingelser, såsom riskgrupper och olika användningsområden (t.ex. äldreboenden, förskolor och kontor). Det behöver också inkludera dagliga variationer samt temperaturförändringar mellan dagar, eftersom forskning visat att höga nattemperaturer kan påverka hälsan negativt på grund av utebliven återhämtning från värmebelastning och att det är en signifikant bidragande faktor till värmerelaterad dödlighet. Det finns också studier som stöder att risken för dödlighet ökar när temperatursänkningen under natten uteblir flera dagar i rad. Framför allt i tätortsområden är det högre risk att temperaturen bibehålls mellan dag och natt (9, 34). Ett exempel är Chan et al. (2001) som utvecklade en fysiologiskt baserad mekanism för att bedöma de viktigaste riskfaktorerna för hälsa som är relaterade till värmeböljor, kallat ”Heat-related Health Effects Index (HEI)”. HEI-indexet är flexibelt och innehåller platsbaserade bedömningar av hälsoeffekterna (20). Ett annat exempel är det tyska meteorologiska institutet (Deutscher Wetterdienst, DWD) som har utvidgat det befintliga värmevarningssystemet med en modell för termisk byggnadssimulering som uppskattar värmebelastning inomhus (77) och beräknar värmesstress utifrån ISO 7730:s PMV-modell (78). Nedan är en bild av modellens databasuppsättning.

Figur 2. Databasuppsättning av den tyska modellen som utvidgat värmevarningssystemet med en termisk byggnadssimuleringsmodell för att uppskatta värmebelastning inomhus (77).



En studie av Walikewitz et al. (2018) tillämpade klimatindexet ”the Universal Thermal Climate Index” (UTCI) i inomhusmiljöer i Berlin under somrarna 2013 och 2014. Författarna fann att alla rum uppnådde värmestress enligt UTCI-nivåer, särskilt under värmeböljor. UTCI-nivåerna visade stora variationer inom staden och inom en byggnad. Värmestress inträffade under 35 % av alla dagar under både

natt och dag. Genom att jämföra den termiska belastningen mellan natt och dag identifierades det maximala tröskelvärdet som ett UTCI på 32 °C för stark värmestress nattetid (12).

Smargiassi et al. (2008) tillämpade kartering genom ett geografiskt informationssystem (GIS) för att modellera tätorters mönster för inomhustemperatur i tid och rum, för alla bostadshus i Montreal. Den generella uppskattningsekvationsmodellen (GEE) som utvecklats för att förutsäga inomhustemperaturen, integrerade tillfällig variation av utetemperaturer med de georefererade bestämningsfaktorer som var tillgängliga för hela staden, såsom yttemperaturer på varje plats (från en satellitbild) och byggnadsegenskaper (från Montreal Property Assessments databas). Modellen fann att inomhustemperaturen kan öka med upp till 54 % jämfört med utetemperaturen (79).

Åtgärder för termisk komfort och hälsosam inomhusmiljö under värmeböljor

Detta avsnitt avgränsas till åtgärder på individ- eller verksamhetsnivå samt för fastighetsägare. Eftersom litteratursökningen är begränsad är listan på åtgärder inte omfattande. Åtgärder behövs dock på alla samhällsnivåer, till exempel hälsofrämjande åtgärder och implementering av värmevarningssystem.

Mikroklimatiska lösningar: individuella åtgärder och anpassning

På individuell nivå finns det flera sätt att anpassa sig till varma miljöer, genom beteendemässiga, fysiologiska och psykologiska anpassningar. Nedan finns förklaringar på de tre nivåerna:

1. Beteendeanpassning – inkluderar ändring av beteende genom att justera kläder och anpassa kroppsrörelse såsom hållning och aktivitet, och genom att justera betingelser inklusive att öppna eller stänga fönster, skapa drag, ta en kall dusch, applicera vatten på ansikte/nacke, ta hand- och fotbad, använda våta handdukar, justera termostaten, installera tak- och bordsfläktar, ta en siesta under dagens hetaste timmar, anpassa matlagning efter dygnet och till exempel inte använda ugn, byta persienner för att blockera oönskad solstrålning samt röra sig mellan rum (dvs. från kök till svalare utrymmen som till exempel en källare) (80, 81).
2. Fysiologisk anpassning – kroppens egen anpassning till termiskt belastande miljöer, till exempel vid regelbunden fysisk träning eller hög värmeexponering, vilket resulterar i ökad svettmängd och så småningom acklimatisering (26).
3. Psykologisk anpassning – de psykologiska anpassningarna som är förknippade med vår medvetenhet om den termiska miljön. Här kan uppfattningar påverkas av individens tidigare termiska erfarenheter och således förväntningar på den byggnad som personen vistas i (82).

Exempel på individuellt beteende och tekniska åtgärder

Först och främst är det viktigt under en värmebölja att människor är medvetna och uppmärksamma på symptom av värmestress samt följer råd när man upplever dessa. Värmestress kan även fångas upp med hjälp av en infraröd termisk kamera. En sådan kamera avger de distribuerade hudtemperaturerna (83). Vid termisk balans är den mänskliga medelhudtemperaturen runt 33–34 °C, vilken kan fångas och därför exempelvis vara ett enkelt verktyg som hälso- och sjukvårdspersonal kan använda för att konstatera eller utesluta värmestress (om inte orsakad av feber) under värmeböljor. En termisk kamera kan framför allt användas för att identifiera värmestress i mer känsliga grupper där kommunikationen är försvårad (vid till exempel funktionshinder och demens) eller omöjlig (spädbarn).

När det gäller tekniska åtgärder på individnivå har personliga kylsystem fått stor uppmärksamhet i forskningspublikationer under de senaste åren. Det är vedertaget att personlig avkylning kan förbättra den termiska komforten och spara energi. Personliga kylsystem inkluderar skuggkonstruktioner, vattenbaserad kylning, fläktar, smarta textilier, ventilerade kläder, personlig ventilation, personliga luftfuktare, fläktar, luftkonditionering samt nedkylande kläder (framför allt västar) bestående av luft eller vätska (28, 84, 85, 86). Det mest effektiva personliga kylsystemet täcker stora kroppsområden för att maximera värmeöverföring eller placeras på de områden där blodkärl utvidgas som mest eller nära specifika områden som behöver kylas (kontaktkylning) till exempel genom nacke, handleder och underarmar, men bör samtidigt inte begränsa värmeregleringen. Vid utvärdering av personliga kylsystem har de flesta studier hittills fokuserat på laboratorieundersökningar och kontorsmiljöer. Till exempel jämförde He et al. (2017) olika personliga kylsystem i en kontorsmiljö och fann att skrivbordsfläktar var mycket energieffektiva, samt att kombinationen med ett genom reflektion nedkylande skrivbord förlängde de anställdas termiska komfortintervall (87). Dock passar fläktar bäst i torra varma miljöer och för att ha en betydande effekt måste cirkulerande luftflöden vara runt 100 l/min. Vid luftflöden under 30 l/min är effekten knappt märkbar men beror också på konkreta omgivningsförhållandena och fläktens egenskaper (88).

Ett personligt passivt kylsystem som har fått stor uppmärksamhet är användningen av Phase Change Materials (PCM) i västar och kläder. PCM är värmelagringsmaterial, till exempel is, frusen gel, salt eller vax, som har den inneboende egenskapen att absorbera eller avge värme när de byter fas, t.ex. från fast till flytande (smältande) och tillbaka till fast (kristallisering). Därför har ett PCM-material två typer av termiska effekter: en kylningseffekt när den smälter och en värmeeffekt när den stelnar. Gao et al. (2012) fann att försökspersoner upplevde en förbättring när de använde en väst med PCM i ett varmt klimat. Resultaten tyder på att personlig avkylning med PCM kan användas som ett alternativ för att förbättra termisk komfort utan användning av luftkonditionering och kan även vara tillämpligt för utsatta grupper, t.ex. äldre människor under värmeböljor (89). Personlig avkylning integrerad med PCM har fördelen att kyla människokroppens mikromiljö, till skillnad från stationär personlig avkylning eller avkylning av hela byggnader.

Personlig avkylning bidrar även till ökad rörlighet samt energibesparingar eftersom energin bara används där den verkligen behövs (85, 89). Vesely et al. (2014) visade att energibesparingar på upp till 60 % kan uppnås med personlig luftkonditionering (85). Dock passar de bäst i miljöer där svettavdunstning är begränsad, t.ex. i varma och fuktiga miljöer (90). Personlig avkylning genom luftfuktare mot kroppen kan i vissa fall ge effektiv avkylning med hjälp av avdunstning. Systemen har emellertid nackdelen att skapa hälsoproblem eftersom de bildar en gynnsam miljö för mögel och bakterier. Detta gör att man noggrant måste tänka över deras användning. Dessa system är mer effektiva i torra klimat som i Sverige samt i ökenklimat. Fördelar med systemen är att de inte kräver några miljöskadliga kylmedel och

använder relativt små mängder elektricitet för att driva fläkten (84). Chakroun et al. (2011) rapporterade att användandet av personliga luftfuktare mot kroppens övre kroppssegment, särskilt ansiktet, var tillräckligt för att uppnå komfort (84). I Libanon fann El Hourani et al. (2014) att personliga luftfuktare som avkyler genom avdunstning var ett rimligt system för implementering i libanesiska kontorslokaler (91).

Forskning har visat att när extremiteter kyls ned med till exempel vatten, minskar hela kroppens värmebelastning (92). Avkylning av händer eller fötter, så kallad artär-venösa anastomosers avkylning har visat sig vara en effektiv åtgärd för personer som utsätts för höga värmebelastningar, till exempel under militära aktiviteter samt brandbekämpning. Artär-venösa anastomoser (AVA) är direkta samband mellan små artärer och små vener. Det finns många AVA i händer och fötter (93) och de spelar en viktig roll vid temperaturreglering hos människor (93). I varma miljöer minskar värmestress betydligt om man kyler ner händer och fötter (94, 95) och metoden är därför framför allt applicerbar i akuta situationer för snabb nedkylning av kroppen.

Personliga luftkonditioneringsystem är en annan mikrolösning där systemet i jämförelse med traditionella VVS-tekniker har installerats i ett relativt litet utrymme. Till exempel utvärderade Pan et al. (2005) prestandan hos ett personligt luftkonditioneringsystem, jämfört med ett centralt system. Det visade sig att det termiska komfortindexet (ISO 7730:s PMV-modell) alltid var lägre och därmed mer avkylande för det personliga systemet i jämförelse med det centrala systemet. Man fann också att det personliga systemet kan spara upp till 45 % energi jämfört med den som konsumeras av det centrala systemet (96).

Makroklimatiska lösningar: design och tekniska åtgärder

Det finns olika sätt att anpassa en byggnad till ett varmare klimat, framför allt genom klimatkänslig bostadsplanering, konstruktion och design samt olika tekniska åtgärder.

Klimatkänslig byggnadskonstruktion och design

Ett ogynnsamt inomhusklimat kan förebyggas eller mildras genom tillämpning av de principer för klimatkänslig byggnadskonstruktion som är anpassade till bostadsområdet, tätorten, regionen och klimatet (97). Klimatkänslig byggnadskonstruktion består av strategier för att maximera ventilationen samt minimera värmen från solstrålning, såsom orientering av byggnaden, antal, storlek och plats för fönster eller glasväggar, byggmaterialets egenskaper, färger på ytor, användning av anordningar för solavskärmning samt reflekterande material och målarfärg (13, 36, 98). Stommen i en byggnad har betydelse i och med att en tung stomme har hög värmekapacitet och kan utjämna temperaturvariationerna och hålla nere temperaturen inomhus. Orienteringen av gator och byggnader i förhållande till de rådande vindriktningarna har också stor inverkan på både utomhus- och inomhusventilationen (7, 99). Överhängande skuggning, antingen genom

vegetation eller solavskärmning, är avgörande för att skapa ett behagligt klimat inomhus (100, 101).

Roaf et al. (2009) visade att de främsta orsakerna till dödsfall inomhus under värmeböljan i Paris sommaren 2003 var byggnadens brist på isolering och att bo på övervåningen. Risken var mindre där bostäderna hade fler rum (och möjligheter att skapa drag) och större där det fanns fler fönster (värmebildning från solstrålning). Orientering av byggnad, fönstervädning, ytemperaturer och vegetation var andra faktorer som påverkade inomhusklimatet (33).

Länder med kallt klimat, som i Skandinavien, har byggnader som är isolerade mot kyla, vilket också är fördelaktigt för skyddet mot värme utomhus. Dock tenderar modern arkitektur att utforma byggnader med stora fönster i söderläge och använda sig av lätta byggnadsmaterial eller glas, vilket är problematiskt under varmt väder (102). Studier har visat att lägenheter på övre våningen som har icke-öppningsbara fönster är förknippade med ökad risk för dödlighet (11, 103, 104). White-Newsome et al. (2012) fann att inomhustemperaturen för enfamiljshus konstruerade av vinylpaneler eller trä var mer känsliga än tegelhus för förändringar i klimatet utomhus. Resultaten tyder på att tegelbyggnader bidrar till att skydda från värme utomhus (11).

Traditionella metoder för att skapa ett behagligt klimat inomhus inkluderar åtgärder som använder sig av skillnader mellan dag- och nattförhållanden (77), hög termisk massa i byggnadsmaterialet och nedkylning med hjälp av avdunstning av vatten. En metod när utomhustemperaturen är hög ($>30\text{ °C}$) är att hålla fönstren stängda dagtid och endast öppna fönster och skapa tvärdrag på natten och därmed kyla ner byggnadens inre massa. I extremfall kan även den mekaniska ventilationen stängas av men då i korta tidperioder eftersom det har andra negativa konsekvenser på inomhusmiljön (se avsnittet Värmens påverkan på andra faktorer i inomhusmiljön). När en byggnad är korsventilerad dagtid, följer inomhusluftens temperatur den för uteklimatet. För en välisolerad och naturligt ventilerad byggnad i skugga, som har fönster stängda under dagen och endast korsventilerad under natten, kan inomhustemperaturen reduceras till cirka 45–55 % av utomhustemperaturen (7).

Makroklimatiska tekniska åtgärder

Solstrålning genom en byggnads fönster är en av de faktorer som påverkar kylbehovet mest. Det är därför viktigt att minska solinstrålningen genom att använda till exempel solreflekterande fönsterglas (105) och installera solavskärmning, såsom utvändiga markiser eller invändiga persienner. Utvändiga solavskärmning har visat sig mer effektiv än invändig solavskärmning (106). Invändiga persienner är dock vanligtvis gjorda av aluminiumlameller vilket inte är det mest termiskt effektiva materialet. Alawadi et al. (2012) undersökte solvärmeökningen i byggnader med fönster med inbyggt PCM-material i persienner. Resultatet indikerar att PCM-material med hög smälttemperatur har den bästa termiska prestandan och att värmeökningen genom fönster potentiellt kan minskas med en tredjedel (107).

För närvarande pågår det forskning och utveckling av innovativ kylteknik och strategier som potentiellt också kan minska energiförbrukningen (108, 109, 110, 111). Fjärrkyla och luftkonditionering driven av förnyelsebar energi är potentiella alternativ till konventionell luftkonditionering (112). Exempel på fjärrkylning finns till exempel i Singapore, men är inte så vanligt runt om i världen (113). Trygg och Amiri (2007) konstaterade att förutsättningarna i Sverige är gynnsamma för att omvandla fjärrvärme till fjärrkylning, dock är användningen hittills begränsad (114). Passiva och aktiva solenergilösningar för luftkonditionering har stor potential att ersätta konventionell kylteknik (115, 116). Nedkylning med hjälp av solenergi har fått stor uppmärksamhet, eftersom kylbehovet ofta sammanfaller med stark solstrålning. Allouhi et al. (2015) ger en bra översikt över vilka typer av tillgänglig teknik som använder både passiva och aktiva alternativ och som visar på betydande energibesparingar för europeiska förutsättningar. Vidare har dessa system fördelen att bidra med uppvärmning och varmvattenproduktion under perioder då kylning inte behövs (111).

Passiva kyltekniker är också lovande alternativ till luftkonditionering. Av de olika passiva kylstrategierna är användning av PCM-material ett effektivt sätt att, med dess inneboende värmeenergilagring, öka värmemotståndet hos byggnadsfasaden. Det minskar också temperaturfluktuationer. Integreringen av PCM i byggnadsmaterial såsom väggar, golv och tak (117) har undersökts som en potentiell teknik för att minska kylbehovet av byggnader.

PCM-material kan klassificeras i tre huvudgrupper: organiska, oorganiska och eutektiska (kombination av olika föreningar). Akeiber et al. (2016) fann att den organiska typen fått mest uppmärksamhet på grund av rimligt pris, stabilitet, icke-korrosivitet och hög fusion. Akeiber et al. (2016) ger en uppdaterad sammanställning av PCM-alternativ och dess integration i byggnader (50). Vidare visar resultat från Silva et al. (2016) potentialen för PCM-material för att förbättra byggnadens termiska prestanda, särskilt genom dess integrering i glas- och solavskärmning.

PCM-teknik som tillämpas på byggnadens fasad kan också avsevärt förbättra den termiska prestandan (118). Medina et al. (2008) fann att väggpaneler integrerade med en koncentration på 10 % PCM minskade värmeflödet med i genomsnitt 37 % under sommaren. En PCM-koncentration på 20 % minskade värmeflödet med i genomsnitt 62 %. Författarna bekräftade också att ju större temperaturskillnaden är mellan dag och natt, desto bättre prestanda har PCM-materialet (119). Under dagen absorberar PCM en del av värmeökningen genom smältprocessen, och på natten stelnar och frigör PCM den lagrade värmen. Nettoeffekten är en minskning av värmeflödet mellan utomhus och inomhus under dagtid. Eventuellt kan man även blanda PCM-material av olika smälttemperaturer så att de skulle agera vid olika temperaturintervaller och stegvis. Detta betyder att länder med stor skillnad mellan dag- och nattetemperaturer, såsom Sverige, i stor utsträckning kan dra nytta av integrering av PCM i byggnadsmaterial.

Slutligen fann Aranda-Usón et al. (2014) att användningen av PCM förutom energibesparingar också minskar miljöpåverkan hos en byggnad. Denna minskning varierar dock starkt med klimatförhållandena och med vilken typ av PCM som används (120). Detta resultat har förstärkts av livscykelanalyser av PCM-material, där det visat sig att miljöpåverkan är betydligt mindre än vid användning av konventionella material (121). Användning av PCM-material är lovande, dock är det viktigt att materialets miljö och hälsopåverkan bedöms innan det introduceras i inomhusmiljön.

Sammanfattning av åtgärder

Åtgärder för individer och verksamhetsutövare
<ul style="list-style-type: none"> • Installera fläktar. • Korsventilera och skapa drag nattetid. När luften utomhus är under 30 °C är det även ett effektivt sätt att ventilera inomhusmiljön även dagtid (7). • Skapa ett lämpligt antal nedkylda utrymmen att vistas i. • Använd lokala nedkylningstekniker som utnyttjar vatten, is, fläktar, samt strukturer för att skapa skugga. • Investera i personliga avkylningssystem baserade på t.ex. skugga, vatten, luft, smarta textilier, ventilation, fläktar, luftkonditionering och kylvästar i PCM-material. • Använd termiskt infraröd kamera för att enkelt konstatera eller utesluta värmestress hos en individ. • Justera beteende: <ul style="list-style-type: none"> - Justera kläder och kropps rörelse såsom hållning och aktivitet. - Justera betingelser genom att öppna eller stänga fönster, skapa drag, ta en kall dusch, kyla ner extremiteter genom att applicera vatten på ansikte eller nacke, ta hand- och fotbad, använd våta handdukar, justera termostaten, ta en siesta under dagens hetaste timmar, använd fläktar, byt persienner för att blockera oönskad solstrålning, flytta till svalare rum (dvs. från kök till kallare eller andra nedkylda utrymmen), planera matlagning efter dygnet och undvika att använda ugn. - Träna fysiskt i preventivt syfte.
Åtgärder för offentliga och privata fastighetsägare
<ul style="list-style-type: none"> • Installera solavskärmning, såsom persienner och markiser. • Använd reflekterande ytmaterial och målarfärg. • Förbättra tak- och väggisolering. • Skapa gröna tak och väggar, och plantera träd som skapar skugga. • Installera luftkonditionering baserad på förnybar energi, såsom passiv eller aktiv solenergi. • Integrera PCM-material i t.ex. fönster, fasad, väggar, tak och golv. Gör helst en livscykelanalys innan. • Skapa ett lämpligt antal nedkylda utrymmen att vistas i.

Slutsats

Ökad värme i tätorter påverkar byggnader och deras inomhusmiljö. Dock har få studier fokuserat på den termiska miljön inomhus under värmeböljor, trots att människor i Sverige tillbringar merparten av sin tid (90 %) inomhus. Dagens värmevarningssystem baseras också på utomhusförhållanden, trots att människor sannolikt kommer att uppleva ökad värme inomhus, särskilt i tätorter, på grund av klimatförändring och urbanisering.

Värmen inomhus skiljer sig markant från den utomhus, där rapporten fann att inomhustemperaturen kan öka med upp till 50 % jämfört med utomhustemperaturen. De studier som litteratursökningen tog fram visar på ett samband mellan utomhus- och inomhusklimatet i byggnader som inte är luftkonditionerade, men sambandet är komplext och består av interaktioner mellan naturliga processer med teknik, typ av byggnad, individuella beteenden och sociala system.

Exponering för stark värme kan ha negativa hälsoutfall. Ett exempel är värmeslag som kan resultera i att kroppens värmereglering slutar fungera och därmed orsaka dödsfall. För att kunna identifiera hälsoskadlig värme behöver sex faktorer beaktas: lufttemperatur, värmestrålning, luftfuktighet, luftförelse samt individens fysiska aktivitet och kläder. Hälsoskadlig värme kan definieras med hjälp av ett värmeindex som inkluderar de sex faktorerna. Kunskapssammanställningen lyfter några exempel på värmeindex som är relevanta för inomhusmiljöer eftersom de idag används på varma arbetsplatser: Wet Bulb Globe Temperature (WBGT), Predicted Heat Strain (PHS), Thermal Work Limit (TWL) och Equivalent Temperature (ET). Men användbarheten begränsas av att WBGT, TWL och ET utvecklats för friska arbetande vuxna. För att fastställa hälsoskadlig värme inomhus är det nödvändigt att utveckla ett värmeindex samt tröskelvärden som specifikt avspeglar värmeeffekter på folkhälsan och som inkluderar sårbara grupper. Ett sådant tröskelvärde för värmestress inomhus skulle också kunna bidra till att utöka kapaciteten för förebyggande åtgärder.

Det finns ett rad effektiva åtgärder som kan vidtas i befintlig bebyggelse för att minska värmestressen inomhus och förbättra hälsan och välbefinnandet hos den urbana befolkningen. Dessa inkluderar solavskärmning, personliga avkylningstekniker såsom kylande skrivbord, kylvästar och fläktar, ventilation och integrering av innovativa passiva material (PCM) i fasader, tak, golv och fönster. Luftkonditionering baserad på förnybar energi, såsom passiv och aktiv solenergi, är en lovande lösning.

Referenser

1. Mitchell CS, Zhang J, Sigsgaard T, Jantunen M, Liou PJ, Samaon R, et al. Current state of the science: health effects and indoor environmental quality. *Environ health perspect.* 2007;115(6):958-64.
2. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). IPCC Fifth Assessment Report: Climate Change, 2013: The Physical Science Basis. Cambridge: Cambridge University Press; 2013.
3. Oke TR. The energetic basis of the urban heat island. *Q J R Meteorol Soc.* 1982;108(455):1–24. DOI:10.1002/qj.49710845502
4. Nazaroff WW. Exploring the consequences of climate change for indoor air quality. *Environ Res Lett.* 2013;8(1):015022.
5. WHO (World Health Organization). Improving Public Health Responses to Extreme Weather/Heat-Waves—EuroHEAT: Technical Summary. Copenhagen, Denmark: WHO Regional Office for Europe; 2009. [online] Available: <http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/107935/E92474.pdf;jsessionid=837E9E472218EAC8D179B0C4E04774D5?sequence=1> [accessed 12 February 2018]
6. Höppe P. Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort. *Energy Build.* 2002;34:661-5.
7. Givoni B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. *Energy Build.* 1992;18:11-23.
8. Quinn A, Tamerius JD, Perzanowski M, Jacobson JS, Goldstein I, Acosta L, et al. Predicting indoor heat exposure risk during extreme heat events. *Sci Total Environ.* 2014;490:686-93. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2014.05.039
9. Franck U, Kruger M, Schwarz N, Grossmann K, Röder S, Schlink U. Heat stress in urban areas: indoor and outdoor temperatures in different urban structure types and subjectively reported well-being during a heat wave in the city of Leipzig. *Meteorologische Zeitschrift.* 2013;22(2):167-77. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0384
10. Uejio CK, Tamerius JD, Vredenburg J, Asaeda G, Isaacs DA, Braun J, et al. Summer indoor heat exposure and respiratory and cardiovascular distress calls in New York City, NY, U.S. *Indoor Air.* 2016;26:594-604. DOI: 10.1111/ina.12227
11. White-Newsome JL, Sanchez BN, Jolliet O, Zhang Z, Parker EA, Dvonch JT, et al. Climate change and health: indoor heat exposure in vulnerable populations. *Environ Res.* 2012;112:20–7.
12. Walikewitz N, Jänicke B, langner M, Endlicher W. Assessment of indoor heat stress variability in summer and during heat warnings: a case study using the UTCI in Berlin, Germany. *Int J Biometeorol.* 2018;62(1):29-42. DOI: 10.1007/s00484-015-1066-y
13. WHO (World Health Organization). Heat-waves: risks and responses. Copenhagen, Denmark: WHO Regional Office for Europe; 2004. Health and Global Environmental Change Series; No. 2. [online] Available: http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0008/96965/E82629.pdf [accessed 10 March 2018]
14. Tamerius JD, Perzanowski MS, Acosta LM, Jacobson JS, Goldstein IF, Quinn JW, et al. Socioeconomic and outdoor meteorological determinants of indoor temperature and humidity in New York City dwellings. *Weather Clim Soc.* 2013;5:168–79.
15. Hawkins-Bell L, Rankin JT. Heat-related deaths – Philadelphia and United States, 1993–1994. *Morb Mortal Wkly Rep.* 1994;43:453–5.
16. Bernhard MC, Kent ST, Sloan ME, Evans MB, McClure LA, Gohlke JM. Measuring personal heat exposure in an urban and rural environment. *Environ Res.* 2015;137:410–18.
17. Kuras E, Hondula D, Brown-Saracino J. Heterogeneity in individually experienced temperatures (IETs) within an urban neighborhood: insights from a new approach to measuring heat exposure. *Int J Biometeorol.* 2015;59(10):1363-72. DOI: 10.1007/s00484-014-0946-x

18. Roberts D, Lay K. Variability in Measured Space Temperatures in 60 Homes. National Renewable Energy Laboratory Technical Report, NREL/TP-5500-58059. 2013;1–47.
19. Kovats R, Hajat S. Heat Stress and Public Health: a Critical Review. *Annu Rev Public Health*. 2008;29:41-55.
20. Chan NY, Stacey MT, Smith AE, Ebi KL, Wilson TF. An empirical mechanistic framework for heat-related illness. *Clim Res*. 2001;16:133–43.
21. Klinenberg E. *Heat wave: a social autopsy of disaster in Chicago*. Chicago: University of Chicago Press; 2002.
22. Nguyen JL, Schwartz J, Dockery DW. The relationship between indoor and outdoor temperature, apparent temperature, relative humidity, and absolute humidity. *Indoor Air*. 2014;24:103–12.
23. Dell M, Jones BF, Olken BA. What do we learn from the weather? The new climate-economy literature. *J Econ Lit*. 2014;52(3):740-98.
24. Gagge AP, Gonzales RR. Mechanisms of heat exchange. *Handbook of physiology. Environmental physiology*. Bethesda, MD: Am. Physiological Society. 1996;45–84.
25. Jay O, Kenny GP. Heat exposure in the Canadian workplace. *Am J Ind Med*. 2010;53(8):842-53.
26. Parsons K. *Human thermal environments: the effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort, and performance*. Third Edition. Boca Raton: CRC Press; 2014. DOI:10.1201/b16750-2
27. Kjellström K, Lemke B. Health Impacts of Workplace Heat on Persons with Existing Ill Health. *Arbete och Hälsa*. 2017;51(8). Kunskapsöversikt 11.
28. Lundgren K, Kuklane K, Gao C, Holmér I. Effects of heat stress on working populations when facing climate change. *Ind Health*. 2013;51:3-15.
29. NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health). NIOSH criteria for a recommended standard: occupational exposure to heat and hot environments. 2016; Publication 106 [online]. Available: <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2016-106/pdfs/2016-106.pdf> [accessed 16 November 2017]
30. Aoyagi Y, McLellan T, Shephard R. Interactions of physical training and heat acclimation: The thermophysiology of exercising in a hot climate. *Sports Med*. 1997;23:173-201.
31. Garrett AT, Goosens NG, Rehrer NG, Patterson MJ, Cotter JD. Induction and decay of short-term heat acclimation. *Eur J Appl Physiol*. 2009;107:659-70.
32. Pandolf KB. Time course of heat acclimation and its decay. *Int J Sports Med*. 1998;19:S157-60.
33. Roaf S, Crichton D, Nicol F. *Adapting buildings and cities for climate change – a 21st century survival guide*. 2nd Edition. Amsterdam: Architectural Press; 2009.
34. Anderson M, Carmichael C, Murray V, Dengel A, Swainson M. Defining indoor heat thresholds for health in the UK. *Perspect Public Health*. 2013;133(3):158-64. DOI: 10.1177/1757913912453411
35. Haines A, Kovats RS, Campbell-Lendrum D, Corvalan C. Climate change and human health: impacts, vulnerability and public health. *Public Health*. 2006;120:585-96. DOI: 10.1016/j.puhe.2006.01.002
36. Ormandy D, Ezratty V. Health and thermal comfort: from WHO guidance to housing strategies. *Energy Policy*. 2012;49:116-21. DOI: 10.1016/j.enpol.2011.09.003
37. Fouillet A, Rey G, Laurent F, Pavillon G, Bellec S, et al. Excess mortality related to the August 2003 heat wave in France. *Int Arch Occup Environ Health*. 2006;80:16–24.
38. Hajat S, Kovats RS, Lachowycz K. Heat-related and cold-related deaths in England and Wales: Who is at risk? *Occup Environ Med*. 2007;64:93–100.

39. Van Loenhout JAF, le Grand A, Dujim F, Greven F, Vink NM, Hoek G, et al. The effect of high indoor temperatures on self-perceived health of elderly persons. *Environ res.* 2016;146:27-34. DOI: 10.1016/j.envres.2015.12.012
40. Rahman J, Fakhruddin SH, Rahman AK, Halim MA. Environmental heat stress among young working women: a pilot study. *Ann Glob Health.* 2016;82(5):760-7. DOI: 10.1016/j.aogh.2016.07.007
41. Asamoah B, Kjellström T, Östergren P-O. Is ambient heat exposure levels associated with miscarriage or stillbirths in hot regions? A cross-sectional study using survey data from the Ghana Maternal Health Survey 2007. *Int J Biometeorol.* 2018;62(3):319-30. DOI: 10.1007/s00484-017-1402-5
42. Cox B, Vicedo-Cabrera AM, Gasparrini A, Roels HA, Martens E, Vangronsveld J, Forsberg B, Nawrot TS. Ambient temperature as a trigger of preterm delivery in a temperate climate. *J Epidemiol Community Health* 2016. 70:1191-1199.
43. Hanna EG, Kjellström T, Bennett C, Dear K. Climate change and rising heat: population health implications for working people in Australia. *Asia Pac J Public Health.* 2011;23(2 Suppl):14S-26S. DOI:10.1177/1010539510391457
44. Bassil KL, Cole DC. Effectiveness of public health interventions in reducing morbidity and mortality during heat episodes: a structured review. *Int J Environ Res Public Health.* 2010;7:991-1001.
45. Bell ML, Dominici F. Effect modification by community characteristics on the short-term effects of ozone exposure and mortality in 98 US communities. *Am J Epidemiol.* 2008;167:986–7.
46. Wells JR, Schoemaeker C, Carslaw N, Waring MS, Ham J, Nelissen I, et al. Reactive Indoor Air Chemistry and Health—A Workshop Summary. *Int J Hyg Environ Health.* 2017;220(8):1222-9.
47. Salthammer T, Zhang Y, Mo J, Koch HM, Weschler CJ. Assessing human exposure to organic pollutants in the indoor environment. *Angew Chem Int Ed Engl.* 2018; DOI: 10.1002/anie.201711023
48. Potera C. Climate Change Impacts Indoor Environment. *Environ Health Perspect.* 2011;119(9).
49. IIASA (International Institute for Applied Systems Analysis). Global Energy Assessment. Ch.10 - Energy End-Use: Buildings; 2012 [online]. Available: http://www.iiasa.ac.at/web/home/research/Flagship-Projects/Global-Energy-Assessment/GEA_Chapter10_buildings_lowres.pdf [accessed 20 March 2018]
50. Akeiber H, Nejat P, Majid MZA, Wahid MA, Jomehzadeh F, Famileh IZ, et al. A review on phase change material (PCM) for sustainable passive cooling in building envelopes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 2016;60:1470-97. DOI: 10.1016/j.rser.2016.03.036
51. Seppänen OA, Fisk WJ. Summary of human responses to ventilation. *Indoor Air.* 2004;14(7):102-18.
52. Lindemann U, Skelton DA, Oksa J, Beyer N, Rapp K, Becker C, et al. Social participation and heat-related behaviour in older adults during heat waves and on other days. *Z Gerontol Geriatr.* 2017; DOI: 10.1007/s00391-017-1338-8
53. Holmér I. Protective clothing in hot environments. *Ind Health.* 2006;44(3):404-13.
54. Kampmann B, Bröde P, Fiala D. Physiological responses to temperature and humidity compared to the assessment by UTCI, WBGT and PHS. *Int J Biometeorol.* 2011;56(3):505-13.
55. Anderson BG, Bell ML. Weather-related mortality: how heat, cold, and heat waves affect mortality in the United States. *Epidemiology.* 2009;20(2):205–13. DOI:10.1097/EDE.0b013e318190ee08
56. Forzieri G, Cescatti A, Batista e Silva F, Feyen L. Increasing risk over time of weather-related hazards to the European population: a data-driven prognostic study. *Lancet Planet Health.* 2017;1(5):e200-8.

57. Gasparrini A, Guo Y, Hashizume M, Lavigne E, Zanobetti A, Schwartz J, et al. Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study. *Lancet*. 2015; DOI:10.1016/S0140-6736(14)62114-0
58. Åström DO, Schifano P, Asta F, Lallo A, Michelozzi P, Rocklöv J, et al. The effect of heat waves on mortality in susceptible groups: a cohort study of a Mediterranean and a northern European City. *Environ Health*. 2015;14(1):30.
59. Brake DJ, Bates GP. Limiting metabolic rate (Thermal Work Limit) as an index of thermal stress. *Appl Occup Environ Hyg*. 2002;17(3):176-86. DOI:10.1080/104732202753438261
60. ISO (International Standardization Organization). Ergonomics of the thermal environment – Assessment of heat stress using the WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) index. ISO 7243. Geneva, Switzerland: ISO; 2017.
61. ISO (International Standardization Organization). Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of heat stress using calculation of the predicted heat strain. ISO 7933. Geneva, Switzerland: ISO; 2004.
62. Malchaire J. Occupational heat stress assessment by the Predicted Heat Strain model. *Ind Health*. 2006;44:380-7.
63. Malchaire J, Piette A, Kampmann B, Mehnert P, Gebhardt H, Havenith G, et al. Development and Validation of the Predicted Heat Strain Model (PHS). *Ann Occup Hyg*. 2001;45:123-35.
64. Malchaire J, Kampmann B, Havenith G, Mehnert P, Gebhardt H. Criteria for estimating acceptance exposure times in hot working environments: a review. *Int Arch Occup Environ Health*. 2000;73:215-20.
65. Gameiro da Silva MC. Measurements of comfort in vehicles. *Meas Sci Technol*. 2002;13:R41-60.
66. Nilsson H, Holmér I, Bohm M, Norén O. Definition and theoretical background of the Equivalent Temperature. CABCLI Consortium. Swedish Institute of Agricultural and Environmental Engineering; 1999.
67. WHO (World Health Organization). Health impact of low indoor temperatures: Report on a WHO Meeting. Copenhagen, Denmark: WHO Regional Office for Europe; 1987.
68. Nicol JF, Roaf S. Adaptive thermal comfort and passive architecture, in Santamouris, M. (ed) *Advances in Passive Cooling*. London: Routledge; 2012.
69. Nicol JF, Humphreys MA. Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. *Energy Build*. 2002;34:563-72.
70. Olesen BW. International standards for the indoor environment. *Indoor Air*. 2004;14(7):18-26.
71. Fanger PO. *Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering*. Copenhagen, Denmark: Danish Technical Press; 1970.
72. ISO (International Standards Organization). Ergonomics of the thermal environment - Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales. ISO 10551. Geneva, Switzerland: ISO; 1995.
73. deDear RJ, Brager GS. Thermal Comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE standard 55. *Energy Build*. 2002;34(6):549–61.
74. Nicol JF. Adaptive thermal comfort standards in the hot-humid tropics. *Energy Build*. 2004;36:628-37.
75. Chappells H, Shove E. Debating the future of comfort: environmental sustainability, energy consumption and the indoor environment. *Building Research and Information*. 2005;33(1):32–40.
76. Boerstra AC, te Kulve M, Toftum J, Loomans MGLC, Olesen BW, Hensen JLM. Comfort and performance impact of personal control over thermal environment in summer: results from a laboratory study. *Build Environ*. 2015;87:315-26. DOI: 10.1016/j.buildenv.2014.12.022

77. Rosenfelder M, Koppe C, Pfafferoth J, Matzarakis A. Effects of ventilation behaviour on indoor heat load based on test reference years. *Int J Biometeorol.* 2016;60(2):277-87. DOI: 10.1007/s00484-015-1024-8
78. Pfafferoth J, Koppe C, Reetz C. Extension of the Heat health Warning System by indoor heat prediction. *Climate and Constructions International Conference.* October 24-15, 2011; Karlsruhe, Germany.
79. Smargiassi A, Fournier M, Griot C, Baudouin Y, Kosatsky T. Prediction of the indoor temperatures of an urban area with an in-time regression mapping approach. *J Expo Sci Environ Epidemiol.* 2008;18:282-8. DOI: 10.1038/sj.jes.7500588
80. Fountain M, Brager G, de Dear R. Expectations of indoor climate control. *Energy Build.* 1996;24:179-82.
81. Lundgren-Kownacki K, Dalholm Hornyanszky E, Tuan AC, Alkan Olsson J, Becker P. Challenges with using air-conditioning in an increasingly hot climate. *Int J Biometeorol.* 2017;62(3):401-12. DOI: 10.1007/s00484-017-1493-z
82. Kwok AG, Rajkovich NB. Addressing climate change in comfort standards. *Build Environ.* 2010;45:18-22. DOI: 10.1016/j.buildenv.2009.02.005
83. Ring EFJ, Ammer K. Infrared thermal imaging in medicine. *Physiol meas.* 2012;33:R33-46. DOI: 10.1088/0967-3334/33/3/R33
84. Chakroun W, Ghaddar N, Ghali K. Chilled ceiling and displacement ventilation aided with personalized evaporative cooler. *Energy Build.* 2011;43:3250-7.
85. Vesely M, Zeiler W. Personalized conditioning and its impact on thermal comfort and energy performance – a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 2014;34:401-8.
86. Zhao M, Gao C, Wang F, Kuklane K, Holmér I, Li J. A study on local cooling of garments with ventilation fans and openings placed at different torso sites. *Int J Ind Ergon.* 2013;43(3):232-7.
87. He Y, Li N, Wang X, He M, He D. Comfort, energy efficiency and adoption of personal cooling systems in warm environments: a field experimental study. *Int J Environ Res Public Health.* 2017;14(1408). DOI: 10.3390/ijerph14111408
88. Kuklane K, Gao C, Holmér I. Ventilation solutions in clothing. *The 10th Joint International Scientific Conference CLOTECH: innovations in textile materials and protective clothing.* 20-21 of September 2012; Warszawa, Poland: Technical University of Lodz Press. pp. 205–12.
89. Gao C, Kuklane K, Wang F, Holmér I. Personal cooling with phase change materials to improve thermal comfort from a heat wave perspective. *Indoor Air.* 2012;22:523-30. DOI: 10.1111/j.1600-0668.2012.00778.x
90. Kuklane K. An approach with 2 phase changes (PCM+) improves and prolongs the cooling effect. *7th European Conference on Protective Clothing.* 23-25th of May 2016; Izmir, Turkey.
91. El Hourani M, Ghali K, Ghaddar N. Effective desiccant dehumidification system with two-stage evaporative cooling for hot and humid climates. *Energy Build.* 2014;68:329-38. DOI: 10.1016/j.enbuild.2013.09.040
92. Zhang H, Arens E, Huizenga C, Han T. Thermal sensation and comfort models for non-uniform and transient environments, part II: Local comfort of individual body parts. *Build Environ.* 2010;45:389–98.
93. Walløe L. Arterio-venous anastomoses in the human skin and their role in temperature control. *Temperature (Austin).* 2015;3(1):92-103. DOI:10.1080/23328940.2015.1088502
94. Taylor NAS, Machado-Moreira CA, van den Heuvel AMJ, Caldwell JN. Hands and feet: Physiological insulators, radiators and evaporators. *Eur J Appl Physiol.* 2014;114:2037-60. DOI: 10.1007/s00421-014-2940-8
95. deGroot DW, Gallimore RP, Thompson SM, Kenefick RW. Extremity cooling for heat stress mitigation in military and occupational settings. *US Army research;* 2013. 193.

96. Pan CS, Chiang HC, Yen MC, Wang CC. Thermal comfort and energy saving of a personalized PFCU air-conditioning system. *Energy Build.* 2005;37:443-9.
97. Keitsch M. Sustainable architecture, design and housing. *Sustainable Development.* 2012;20:141-5.
98. Givoni B. *Climate Considerations in Building and Urban Design.* New York: John Wiley and Sons; 1998.
99. Ng E. Policies and technical guidelines for urban planning of high-density cities – air ventilation assessment (AVA) of Hong Kong. *Build Environ.* 2009;44:1478-88.
100. Johansson E, Spangenberg J, Lino Gouvêa M, Freitas ED. Scale-integrated atmospheric simulations to assess thermal comfort in six different urban tissues in the warm humid summer of São Paulo, Brazil. *Urban Clim.* 2013;6:24-43.
101. Yahia MW, Johansson E. Landscape interventions in improving thermal comfort in the hot dry city of Damascus, Syria – The example of residential spaces with detached buildings. *Landsc Urban Plan.* 2014;125:1-16.
102. Wilhite H. The conditioning of comfort. *Building Research and Information.* 2009;37(1):84-8.
103. Mirchandani HG, McDonald G, Hood IC, Fonseca C. Heat-related deaths in Philadelphia—1993. *Am J Forensic Med Pathol.* 1996;17:106–8.
104. Vandentorren S, Bretin P, Zeghnoun A, Mandereau-Bruno L, Croisier A, et al. August 2003 heat wave in France: risk factors for death of elderly people living at home. *Eur J Public Health.* 2006;16:583–91.
105. Chen F, Wittkopf SK, Ng PK, Du H. Solar heat gain coefficient measurement of semi-transparent photovoltaic modules with indoor calorimetric hot box and solar simulator. *Energy Build.* 2012;53:74-84. DOI: 0.1016/j.enbuild.2012.06.005
106. Hilliaho K, Nordquist B, Wallentén P, Hamid AA, Lahdensivu J. Energy saving and indoor climate effects of an added glazed façade to a brick wall building: case study. *Journal of Building Engineering.* 2016;7:246-62. DOI: 10.1016/j.job.2016.07.004
107. Alawadi EM. Using phase change materials in window shutter to reduce the solar heat gain. *Energy Build.* 2012;47:421-9. DOI: 10.1016/j.enbuild.2011.12.009
108. Chua KJ, Chou SK, Yang WM, Yan J. Achieving better energy-efficient air conditioning – A review of technologies and strategies. *Appl Energy.* 2013;104:87-104.
109. Desideri U, Proietti S, Sdringola P. Solar-powered cooling systems: Technical and economic analysis on industrial refrigeration and air-conditioning applications. *Appl Energy.* 2009;86(9):1376-86.
110. Ghazali AM, Malek A, Rahman A. The Performance of Three Different Solar Panels for Solar Electricity Applying Solar Tracking Device under the Malaysian Climate Condition. *Energy and Environment Research.* 2012;2(1):235-43.
111. Allouhi A, Kousksou T, Jamil A, Bruel P, Mourad Y, Zeraouli Y. Solar driven cooling systems: an updated review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 2015;44:159-81. DOI: 10.1016/j.rser.2014.12.014
112. Gang W, Weng S, Xiao F. District cooling systems and individual cooling systems: Comparative analysis and impacts of key factors. *Sci Technol Built Environ.* 2017;23(2):241-50. DOI: 10.1080/23744731.2016.1214474
113. Jusuf KS, Wong NH, Hagen E, Anggoro R, Hong Y. The influence of land use on the urban heat island in Singapore. *Habitat Int.* 2007;31:232-42.
114. Trygg L, Amiri S. European perspective on absorption cooling in a combined heat and power system – a case study of energy utility and industries in Sweden. *Appl Energy.* 2007;84:1319-37.

115. ESTIF (European Solar Thermal Industry Federation). Solar Cooling - State of the art. Key Issues for Renewable Heat in Europe (K4RES-H). 2010. [online] Available: <http://www.estif.org/fileadmin/estif/content/policies/downloads/D23-solar-assisted-cooling.pdf> [accessed 20 March 2018].
116. Lundgren K, Kjellstrom T. Sustainability challenges from climate change and air conditioning use in urban areas. *Sustainability*. 2013;5:3116-28.
117. Zhang Y, Zhou G, Lin K, Zhang Q, Di H. Application of latent heat thermal energy storage in buildings: state-of-the-art and outlook. *Build Environ*. 2007;42:2197-209. DOI: 10.1016/j.buildenv.2006.07.023
118. Silva T, Vicente R, Rodrigues F. Literature review on the use of phase change materials in glazing and shading solutions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016;53:515-35. DOI: 10.1016/j.rser.2015.07.201
119. Medina MA, King JB, Zhang M. On the heat transfer rate reduction of structural insulated panels (SIPs) outfitted with phase change materials (PCMs). *Energy*. 2008;33:667-78. DOI: 10.1016/j.energy.2007.11.003
120. Aranda-Usón A, Ferreira G, López-Sabirón AM, Mainar-Toledo MD, Zabalza Bribián I. Phase change material applications in buildings: An environmental assessment for some Spanish climate severities. *Sci Total Environ*. 2013;444:16-25. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2012.11.012.
121. Kyllili A, Fokaides PA. Life Cycle Assessment (LCA) of Phase Change Materials (PCMs) for building applications: A review. *Journal of Building Engineering*. 2016;6:133-43.

Folkhälsomyndigheten är en nationell kunskapsmyndighet som arbetar för en bättre folkhälsa. Det gör myndigheten genom att utveckla och stödja samhällets arbete med att främja hälsa, förebygga ohälsa och skydda mot hälsot.

Vår vision är en folkhälsa som stärker samhällets utveckling.



Folkhälsomyndigheten

Solna Nobels väg 18, SE-171 82 Solna **Östersund** Forskarens väg 3, SE-831 40 Östersund.

www.folkhalsomyndigheten.se