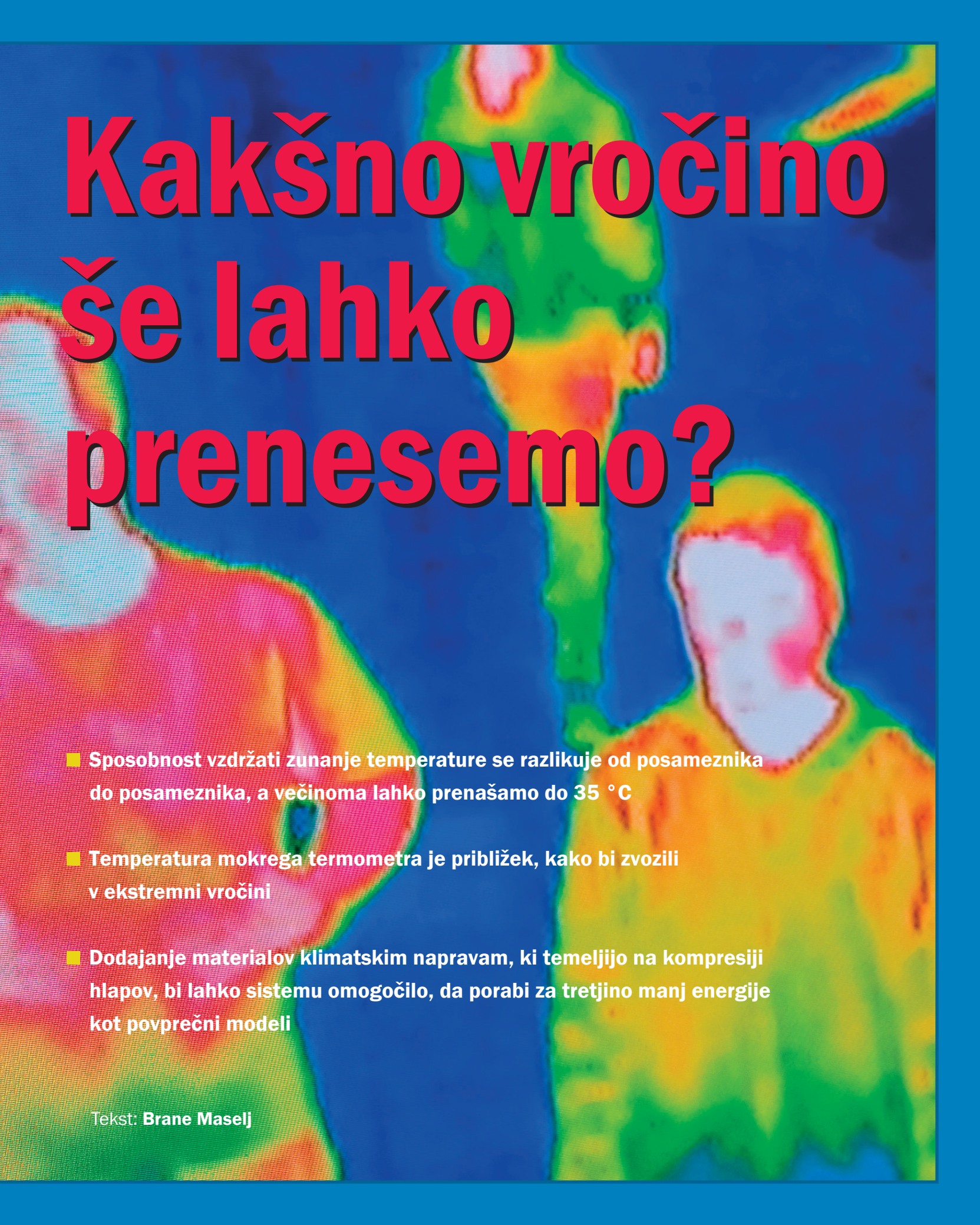




A thermal image showing three people. The person on the left is wearing a red shirt and has their arm raised. The person in the center is wearing a green shirt and has their arm raised. The person on the right is wearing a yellow shirt. The background is dark blue.

Kakšno vročino še lahko prenesemo?

- Sposobnost vzdržati zunanje temperature se razlikuje od posameznika do posameznika, a večinoma lahko prenašamo do 35 °C
- Temperatura mokrega termometra je približek, kako bi zvozili v ekstremni vročini
- Dodajanje materialov klimatskim napravam, ki temeljijo na kompresiji hlapov, bi lahko sistemu omogočilo, da porabi za tretjino manj energije kot povprečni modeli

Tekst: Brane Maselj

Letošnje poletje je svet znova zajela rekordna vročina, in to že osmo poletje zapovrstjo. Vročinski valovi so postali vsakdanjost, čezmerna vročina pa bržkone najpogostejši vremenski vzrok nenadnih smrti. Visoke temperature postajajo tveganje za vsakogar, opozarjajo strokovnjaki za javno zdravje, še posebej za starejše, otroke in ljudi z boleznimi srca, ožilja ali pljuč. Sposobnost vzdržati zunanje temperature se sicer razlikuje od človeka do človeka, odvisno od starosti, splošnega zdravja in osebne ravni tolerance, vendar se počasi približujemo mejam preživetja v ekstremni vročini, ki jih določa naravni mehanizem telesa za uravnavanje notranje temperature s potenjem in odvajanjem toplote. Več od tega pač ne gre.

Žal pa se utegne zgoditi in se verjetno že dogaja prav ta več. Kopičenje ogromne količine toplogrednih plinov v ozračju je po analizi World Weather Attribution povečalo verjetnost ekstremnih vremenskih dogodkov kar za 150-krat. Znanstveniki menijo, da bi bili ekstremni vročinski valovi skoraj nemogoči brez podnebnih sprememb, ki so že segrele planet za približno 1,2 stopinje. Čedalje več satelitskih podatkovnih zapisov, povečana računalniška moč in podnebne simulacije z večjo ločljivostjo raziskovalce navajajo k sklepu, da je globalno segrevanje znatno povečalo verjetnost vremenskih ujm. Tem sledi število nenadnih in nepričakovanih smrti, ki se je denimo v ZDA v zadnjih dveh letih v obdobju vročinskih valov povečalo več kot dvakrat. Skrb vzbujajoča je možnost, da so izpusti toplogrednih plinov podnebni sistem potisnili čez mejo, ko se ekstremne temperature dvigujejo hitreje, kot je bilo pričakovano. Za oceno te teorije

Privajanje na vročino poteka postopoma, lahko traja šest tednov ali dlje. Ljudje, ki so bolj prilagojeni na segrevanje, se močneje znojijo, njihov znoj pa je bolj razredčen, kar pomeni, da s potenjem izgubljajo manj elektrolitov.



Tipična klimatska naprava hladi notranje prostore s kroženjem hladilnega sredstva skozi toplotne izmenjevalnike, ki absorbirajo toploto iz prostora in jo sproščajo zunaj, kar je sto let star pristop. Industrija zato že preizkuša nove materiale, imenovane sušilna sredstva, s katerimi bi hladili učinkoviteje tudi pri ekstremni vročini in vlagi, kar bi zmanjšalo obremenitev omrežja.

bodo potrebne nadaljnje raziskave, a možno je, da bodo hudi vročinski valovi presegli ravni, ki jih napovedujejo trenutni podnebni modeli, pravijo raziskovalci znanstvenega omrežja World Weather Attribution. »Vročine ne bi smele tako rekordno naraščati za štiri ali pet stopinj,« meni **Friederike Otto**, sicer direktorica inštituta za okoljske spremembe na univerzi Oxford. »To je tako izjemen dogodek, da ne moremo izključiti možnosti, da danes doživljamo ekstremne vročine, za katere smo pričakovali, da bodo prišle šele ob višjih stopnjah globalnega segrevanja.«

Med drugo svetovno vojno

Že v času druge svetovne vojne sta Angleža James Lovelock in Owen Liddel raziskovala, koliko vročine prenese človeško telo. S poskusi na lastni koži sta ugotovila, da pri temperaturah pod 50 °C na njej ni znakov opeklin, se pa te kot opekline prve stopnje pojavijo pri izpostavljenosti kože temperaturi 50 °C za pet minut. Naprej gre zelo hitro: že pri temperaturi 60 °C je dovolj le sekunda za opeklino.

Ko vročina torej preseže 50 °C, je življenje človeka in večine živali, podobnih nam, že zelo ogroženo. NASA ugotavlja, da je človeško telo prilagojeno na življenje med približno 4 °C in 35 °C, kar je v resnici zelo, zelo ozka preživetvena niša, ki jo rekordne poletne temperature že zelo ogrožajo. Preživetje pa postane še težje, če se visokim temperaturam pridruži še visoka vsebnost vlage v zraku, ker nam ta onemogoča potenje in s tem znižanje telesne temperature. V razmerah 50-odstotne vlažnosti pri 50 °C ljudje ne bi zdržali več kot približno en dan, pravijo pri Nasi.

V Avstraliji, znani po največjih vročinah, so se zavarovalničarji že pred časom vprašali, katera je najvišja temperatura, ki jo še lahko preživimo, in preračunali tveganje smrti glede na vročino in vlago. Ugotovili so, da večina ljudi in njim podobnih živali umre že po



Nekateri podnebni modeli napovedujejo, da bomo do sredine 21. stoletja že začeli dosegati temperature mokrega termometra nad 35 °C, medtem ko nekateri raziskovalci pravijo, da smo že tam.

nekaj minutah pri temperaturah okrog 60 °C in veliki vlažnosti. Pri temperaturah pod 60 °C in nad 50 °C je sicer mogoče živeti, a izjemno težko.

Na tej točki je vredno spomniti, koliko podobnosti si delimo z živalmi in da smo odvisni od mnogih istih sistemov za vzdrževanje življenja, saj so zemeljske ekosisteme zgradile živali (sestavni del naše sedanje prehranske verige), ki so v marsičem slabše opremljene za preživetje v visokih temperaturah kot človek.

Rojeni za samoohlajevanje

Že prednik človeka je z dvonožno hojo – bipedalnostjo – pridobil dober način za preprečevanje pregrevanja; pokončna hoja in stanje namreč znatno zmanjšata količino telesne površine, maksimalno izpostavljene neposrednemu sončnemu sevanju, s tem pa se pregrevanje telesa zmanjša. Sonce po večini praži le našo glavo in ramena, štirinožcem pa še ves hrbet in vrat, razmišljajo antropologi. Če je imela bipedalnost pri naših daljnih prednikih celo vrsto slabosti, glede na opičje sorodnike predvsem to, da so bili izrazito počasni,

ko so splezali z dreves, in so bili mala malica za mesojede predatorje, pa so razvili potenje, ki jim je omogočalo potikanje po savani sredi poletne vročine, ko so njihovi plenilci morali počivati v senci. Naslednja koristna prilagoditev na vročino, ki se je začela že pri vrsti *Homo erectus*, je višje telo z daljšimi okončinami, kot je bilo to pri avstralopiteku. Višje telo omogoča učinkovitejše hlajenje s potenjem,

V DELOVNIH PROSTORIH JE DOPUSTNIH 28 °C

Če delavci delajo na prostem, mora delodajalec delovna mesta urediti tako, da so delavci med drugim zavarovani tudi pred neugodnimi vremenskimi vplivi. Posamezne vidike glede zagotavljanja varnosti in zdravja pri delu lahko posebej urejajo tudi kolektivne pogodbe, po katerih delodajalec lahko izvede na primer prerazporeditev delovnega časa, krajši delovni čas in podobno. Visokim temperaturam so najpogostejše izpostavljeni delavci, ki delajo na prostem in v vročih proizvodnih prostorih. Kolektivna pogodba gradbenih dejavnosti predvideva, da se lahko na prostem dela normalno od minus osem do plus 45 stopinj. Za nekatere delavce v pisarnah je taka vročina nepredstavljiva – temperatura zraka v delovnih prostorih sicer ne sme presegati 28 °C – delavci v gradbeništvu pa morajo potrpeti.

pri katerem izločamo vodo skozi površino kože. Ko znoj izhlapeva, se koža hladi, s tem pa tudi kri, ki teče pod njo. Zato se je pri ljudeh, ki so se razvili v vročih predelih, izoblikovalo telo z večjo površino kože glede na telesno maso, tako da so ti ljudje višji, imajo dolge okončine in so vitkejši od populacij, ki so prilagojene hladnejšim habitatom. Takšni so še danes pripadniki ljudstva Dinka v delu južnega Sudana, ki ga imenujejo tudi dežela velikanov, saj so v povprečju visoki več kot 182 centimetrov.

Zadnja posebno očarljiva prilagoditev, ki smo jo za hlajenje med hojo podedovali od zgodnejših pripadnikov rodu *Homo*, pa je štrleč nos. Avstralopiteki so imeli še ploske nosove, podobne opičjim, *Homo erectus* pa je že razvil rilček, podoben človeškemu nosu, ki je štrlel iz obraza in imel pomembno vlogo pri termoregulaciji, saj ustvarja turbulenco zraka, ki ga vdihnemo skozi notranji nos. Kadar skozi nos vdihne opica ali pes, gre zrak naravnost skozi nosnice v notranji nos, pri človeku pa potuje najprej navzgor, nato naredi 90-stopinjski ovinek in nadaljuje pot skozi nosne školjke do notranjega nosu.

Vlaga ovira znojenje

Čprav ljudje kot tekači nismo hitri, smo se lahko razvili v lovce, ker smo vzdržljivi. In ena najpomembnejših človekovih prilagoditev za takšen tek je naša edinstvena sposobnost, da se – ker imamo milijone znojnic in nič kožuha – hladimo s potenjem namesto s sopenjem, kot denimo naši štirinožni prijatelji. Večina sesalcev ima znojnice le v dlaneh, človeku podobne opice pa tudi drugod po telesu, in ko se to segreje, žleze znojnice na površino telesa izločijo znoj, ki izhlapeva in ohlaja kožo in kri pod njo ter s tem vse telo. Ljudje lahko izznajimo več kot liter vode na uro, kar tudi športniku zadošča za ohlajanje. Zmagovalka maratona v Atenah je leta 2004 pri 35 °C tekla več kot dve uri s povprečno hitrostjo 17,3 km/h in se ob tem ni pregrela. Tega ne zmore noben drug sesalec, saj jim kožuh preprečuje kroženje zraka ob koži, s tem pa onemogoča izhlapevanje znoja.

Ko je človeško telo torej izpostavljeno visokim temperaturam, poskuša vzdrževati normalno telesno temperaturo, to je okoli 37 °C, z znojenjem in povečanjem pretoka krvi na površino kože, da sprosti toploto. V normalnih razmerah lahko večina ljudi precej udobno prenaša zunanje temperature med 25 in 35 stopinjami. Ko pa se temperatura dvigne, postane sposobnost telesa, da odvaja toploto, izziv, še posebej, če je zrak nasičen z vlago. Vlažnost preprečuje izhlapevanje znoja, ovira hladilni učinek na telo in naredi vroče vreme bolj neznosno. Ko temperature presežejo 40 stopinj, se tveganje za toplotno izčrpanost in toplotni udar znatno poveča.

Naše telo je pač zasnovano tako, da deluje dobro le pri telesni temperaturi okrog 37 °C, zato stalno vzpostavlja ravnovesje med izgubo in pridobivanjem toplote. Težave se začnejo, ko naše telo ne more dovolj hitro izgubljati toplote in ko postane temperatura telesa previsoka. Takrat lahko preneha delovati vse od organov do tvorjenja encimov.

Toplotna izčrpanost se lahko pojavi, ko je človek izpostavljen visokim temperaturam in postane zaradi čezmernega potenja dehidriran. Znaki izčrpanosti so lahko močno znojenje, omotica, utrujenost, slabost in glavobol. Še huje stanje je toplotni udar, ki zahteva takojšnjo zdravniško pomoč. Do njega lahko pride, ko temperatura telesnega jedra preseže 40 °C, kar povzroča nevrološke motnje in potencialno odpoved organov. Simptomi lahko vključujejo pomanjkanje znojenja, hiter srčni utrip, zmedenost, epileptične napade in celo izgubo zavesti. Učinke ekstremne vročine na telo pa lahko poslabšajo že obstoječe bolezni srca ali težave z dihanjem, debelost, uživanje alkohola ali drog in dolgotrajna izpostavljenost visokim temperaturam brez dostopa do sence ali ustrezne hidracije.

Tveganja, povezana z ekstremno vročino, lahko ublažimo, če smo dobro hidrirani, to pomeni, da pijemo zadosti tekočin, ter se pred segrevanjem branimo z nošenjem ohlapnih, svetlih oblačil, z uporabo kreme za sončenje, iskanjem sence ali klimatiziranih prostorov in omejevanjem dejavnosti na prostem med urami z največjo vročino.

Sposobnost vzdržati zunanje temperature in preživeti se sicer razlikuje od posameznika do posameznika, a večinoma lahko prenašamo temperature do 35 °C. Tveganje za bolezni, povezane s toploto, se znatno poveča, ko se temperature dvignejo nad 40 stopinj. Pomembno je razumeti znake in simptome bolezni, povezane s toploto, in sprejeti ustrezne previdnostne ukrepe, da ostanemo varni v izjemno vročem vremenu.

Naše telo je pač zasnovano tako, da deluje dobro le pri telesni temperaturi okrog 37 °C, zato stalno vzpostavlja ravnovesje med izgubo in pridobivanjem toplote. Težave se začnejo, ko naše telo ne more dovolj hitro izgubljati toplote – ali pa jo prehitro izgublja na mrazu – in ko postane temperatura telesa previsoka. Takrat lahko preneha delovati vse od organov do tvorjenja encimov.

Temperatura mokrega termometra

Ekstremna vročina lahko povzroči velike težave z ledvicami in srcem ter celo poškodbe možganov, pravi **Liz Hanna**, nekdanja raziskovalka javnega zdravja na avstralski nacionalni univerzi, ki preučuje ekstremno vročino. Avstralija je ena najbolj vročih držav na svetu, ponekod že premikajo meje človeške tolerance. »Svet se segreva,« pravi Hanna, »in to bo preseglo meje, s katerimi se fiziologija lahko spopade.«





Kopičenje ogromne količine toplogrednih plinov v ozračju je po analizi World Weather Attribution povečalo verjetnost ekstremnih vremenskih dogodkov kar za 150-krat.

Človeško telo ohranja svojo notranjo temperaturo v vročem okolju, kot rečeno, predvsem z enim mehanizmom – znojem, ki izhlapi v zrak, ob tem pa posrka toploto iz kože in človeka ohladi. Vlažnost ohromi to metodo hlajenja – če je tako vlažno, da je v zraku že veliko vodne pare, potem znoj ne more tako hitro izhlapati in potenje nas ne bo toliko ohladilo. Raziskovalci pogosto uporabljajo merila, kot sta toplotni indeks ali temperatura mokrega termometra, da razmislijo o medsebojnem delovanju čezmerne toplote in vlage. Na ta način se lahko osredotočijo na eno samo številko, da prepoznajo razmere, ki niso primerne za življenje.

Toplotni indeks je ocena, ki ste jo verjetno videli v vremenskih poročilih; sestavljena je tako iz toplote kot vlažnosti zraka, da lahko z njo izrazimo vremenske občutke. Temperatura mokrega termometra pa je dobesedno tisto, kar meri termometer, če je okoli njega ovita mokra krpa. Ob tem povejmo, da so temperature v vremenskih napovedih merjene s suhim termometrom. S temperaturo mokrega termometra lahko ocenimo, kakšna bi bila temperatura kože, če bi se neprestano potili, zato se pogosto uporablja za približek, kako bi zvozili v ekstremni vročini.

Če kaže temperatura mokrega termometra 35 °C, smo že skoraj na absolutni meji človeške tolerance, pravi **Zach Schlader**, fiziolog z univerze Indiana Bloomington. Poleg tega vaše telo ne bo moglo

dovolj učinkovito izgubljati toplote v okolje, da bi ohranilo svojo notranjo temperaturo. To ne pomeni, da vas bo vročina takoj ubila, a če se ne boste mogli hitro ohladiti, se bodo začele poškodbe možganov in organov. Razmere, ki vodijo do temperature mokrega termometra 35 °C, se lahko zelo razlikujejo. Če ni vetrovno, bo območje s 50-odstotno vlažnostjo doseglo temperaturo mokrega

Število nenadnih in nepričakovanih smrti se je denimo v ZDA v zadnjih dveh letih v obdobju vročinskih valov povečalo več kot dvakrat.





Ljudje lahko izznajimo več kot liter vode na uro, kar tudi športniku zadošča za ohlajanje. Tega ne zmore noben drug sesalec, saj jim kožuh preprečuje kroženje zraka ob koži, s tem pa onemogoča izhlapevanje znoja.

termometra, ki ni primerna za življenje, pri približno 43 °C suhega termometra, medtem ko bi morale temperature v večinoma suhem zraku preseči 54 °C, da bi dosegli to mejo.

Nekateri podnebni modeli napovedujejo, da bomo do sredine 21. stoletja že začeli dosegati temperature mokrega termometra nad 35 °C, medtem ko nekateri raziskovalci pravijo, da smo že tam. V študiji, objavljeni leta 2020, so raziskovalci pokazali, da so nekateri kraji v subtropskih predelih že imeli takšne razmere – in te postajajo vse pogostejše. Medtem ko se večina raziskovalcev strinja, da temperatura mokrega termometra 35 °C za večino ljudi ni primerna za življenje, je v resnici lahko smrtonosna tudi manj ekstremna situacija. Takšne temperature mokrega termometra smo na Zemlji dosegli le nekajkrat, vendar vročina vsako leto ubija ljudi po vsem svetu.

»Vsi so dovzetni – nekateri bolj kot drugi,« pravi Hanna, avstralska raziskovalka javnega zdravja. Otroci in starejši ljudje običajno ne morejo tako dobro uravnati svoje temperature kot mladi odrasli, ljudje, ki jemljejo določena zdravila, pa imajo zmanjšano sposobnost znojenja. Tudi toleranca ljudi na vročino se lahko sčasoma spremeni – telo se lahko z dolgotrajnejšo izpostavljenostjo bolj navadi na vročino, podobno kot se lahko navadi na nižje ravni kisika na visokih nadmorskih višinah.

Tudi aklimatizacija ima svoje meje

Privajanje na vročino poteka postopoma; lahko se začne že v nekaj dneh, celoten proces pa lahko traja šest tednov ali dlje, pravi Hanna. Ljudje, ki so bolj prilagojeni na segrevanje, se močneje znojijo, njihov znoj pa je bolj razredčen, kar pomeni, da s potenjem izgubljajo manj elektrolitov. S tem lahko zaščitijo telo pred dehidracijo ter težavami s srcem in ledvicami, pravi Hanna. Prav zaradi te zmožnosti aklimatizacije niso vsi vročinski valovi enako nevarni; v hladnejših krajih ali zgodaj poleti, ko ljudje na vročino še niso navajeni, so bolj verjetno smrtonosni kot v vročih krajih ali poznem poletju.

Ker so prebivalci hladnejših krajev slabše navajeni na vročino, so lahko zanje smrtonosne tudi temperature mokrega termometra pod 35 °C. Pri aklimatizaciji pa so seveda določene meje, poudarja Hanna. Ne bomo je mogli razviti do stopnje, ki jo bodo podnebne spremembe verjetno terjale že v prihodnjih desetletjih. Poleg fizioloških omejitev je treba upoštevati tudi druge dejavnike, kot sta vedenje in infrastruktura. Če se giblujete ali delate na prostem, so lahko smrtonosne že nižje temperature od napovedanih.

Od skupne energije, ki jo porabite za opravljanje naloge, ne glede na to, ali je to tek na dirki ali pomivanje posode, je gre ena petina za dejansko premikanje mišic, ostalih 80 odstotkov pa se spremeni v toploto. Več gibanja torej pomeni več toplote, ki se je mora telo znebiti, kar pomeni, da ob naprežanju človek ne more prenesti temperatur, ki bi jih lahko prenesel, če bi samo ležal.

In navsezadnje je tudi infrastruktura še en pomemben dejavnik pri tem, kako smrtonosni so in bodo vročinski valovi. V kakšnih kanadskih in severnoameriških mestih s hladnejšim podnebjem je opremljenost s klimatskimi napravami gotovo manjša kot na jugu.

Naše telo je zasnovano tako, da deluje dobro le pri telesni temperaturi okrog 37 °C, zato stalno vzpostavlja ravnovesje med izgubo in pridobivanjem toplote.

Vse naprednejše klimatske naprave

Povpraševanje po električni energiji za klimatske naprave se bo zaradi globalnega segrevanja v naslednjih nekaj desetletjih potrojilo in industrija že preizkuša nove materiale, imenovane sušilna sredstva, s katerimi bi hladili učinkoviteje tudi pri ekstremni vročini in vlagi, kar bi zmanjšalo obremenitev omrežja. Tipična klimatska naprava hladi notranje prostore s kroženjem hladilnega sredstva skozi toplotne izmenjevalnike, ki absorbirajo toploto iz notranjega zraka in jo sproščajo zunaj. Ta pristop je star več kot sto let, osnovna zasnova pa se od njegove iznajdbe ni veliko spremenila. Črpanje hladilnega sredstva naokoli in njegovo učinkovito stiskanje za prenos toplote navzven zahteva veliko energije, zlasti pri zelo visokih temperaturah. Vzdrževanje udobja v stavbi je torej povezano z vzdrževanjem okolja z majhno vlažnostjo, vendar morajo klimatske naprave najprej ohladiti zrak, da iz njega izveličejo vlago.

Rešitev so sistemi, ki se ločeno ukvarjajo z razvlaževanjem in hlajenjem in bi lahko ohranjali ugodne temperature v zgradbi z manj energije in omogočili večjo prilagodljivost v različnih okoljih. In vse več startupov išče sušilna sredstva, da bi dosegli prav to. Kroglice silicijevega dioksida, kakršne so denimo v majhnih zavojčkih, ki spremljajo nove torbice in čevlje, so vrsta sušilnega sredstva, namenjenega ohranjanju suhih izdelkov med pošiljanjem kupcem. Obstojim zasnovam klimatskih naprav bi lahko dodali takšne vrste sušilnih sredstev, ki absorbirajo vodo iz zraka in zmanjšajo porabo energije, ki je potrebna za zagotavljanje udobja v prostorih.

Dodajanje materialov klimatskim napravam, ki temeljijo na kompresiji hlapov, bi lahko sistemu omogočilo, da porabi za tretjino manj energije kot povprečni modeli. Ključna sestavina je drugačna od kroglic silicijevega dioksida v embalaži za čevlje, temelji na majhnih kremenčevih kroglicah na raztopini soli, ki je tako koncentrirana, da lahko potegne vlago iz zraka. ■



Ekstremna vročina lahko povzroči velike težave z ledvicami in srcem ter celo poškodbe možganov.