



Mikroklimatické podmínky vnitřního prostředí pracovišť

Mikroklimatické podmínky označované též jako tepelně vlhkostní podmínky jsou určeny teplotou, relativní vlhkostí a rychlostí proudění vzduchu. Jsou navzájem závislé; změna jedné z nich má za následek i změnu dalších dvou. Tyto fyzikální veličiny vymezují subjektivního pocit pohody či nepohody, v extrémních případech je lze posuzovat jako škodliviny s negativním vlivem na zdraví člověka. Rozhodující pro tepelný stav člověka je jeho tepelná bilance, tj. vztah mezi množstvím tepla jím produkovaného a množstvím tepla odváděného z organismu do okolního prostředí.

Teplota vzduchu

Vypovídá o tepelné zátěži nebo subjektivním pocitu tepelné pohody člověka; tepelná pohoda je jedním z faktorů zajišťujících optimální prostředí pro pobyt člověka. Lze ji charakterizovat jako stav rovnováhy mezi subjektem a okolím bez zatěžování termoregulačního systému. Při pocitu tepelné pohody je zachována rovnováha metabolického tepelného toku (celková tepelná produkce člověka) a toku tepla odváděného z těla při optimálních hodnotách fyziologických parametrů. Mechanická úprava toku tepla z povrchu těla spočívá ve změně tepelného odporu oděvu a změně činnosti člověka.

Tepelné podmínky mají mnohem větší vliv na subjektivní pocit pohody člověka, míru odpočinku i skutečnou produktivitu práce než nežádoucí škodliviny či obtěžující hluk.

Existují doporučené hodnoty teplot vzduchu pro pracovní prostředí v závislosti na třídách práce, tj. energetickém výdeji vzhledem k druhu činnosti a oděvu, které by měly zajistit vhodné tepelné podmínky pro většinu osob. Vždy však musíme počítat s určitým počtem nespokojených s těmito tepelně vlhkostními podmínkami (při nejvýše 10 % nespokojených z celkového počtu pracovníků je prostředí považováno za optimální).

Je možné odlišit dlouhodobě a krátkodobě únosnou pracovní tepelnou zátěž. Dlouhodobá zátěž je limitována množstvím vody ztracené potem a dýcháním, krátkodobá je dána množstvím akumulovaného tepla v organismu, které nesmí pro všechny osoby překročit 50 Whm^{-2} . Této hodnotě odpovídá vzestup teploty tělesného jádra o $0,8 \text{ }^\circ\text{K}$, vzestup průměrné teploty kůže o $3,5 \text{ }^\circ\text{K}$ a vzestup srdeční frekvence maximálně na 150 min^{-1} . S přihlédnutím k energetickým náročnostem prací a mikroklimatickým podmínkám jsou pro aklimatizované a neaklimatizované osoby zpracovány dlouhodobě i krátkodobě únosné doby práce v tabulkách; obdobně jsou k dispozici podklady pro chladné prostředí. Ze znalosti energetické náročnosti práce a tepelného odporu oděvu lze výpočtem stanovit odezvu organismu na uvažované tepelně vlhkostní podmínky a také optimální režim práce a odpočinku (nesmí dojít k překročení limitních hodnot ani krátkodobé, ani dlouhodobé tepelné zátěže v průběhu pracovní směny).

Člověk snese teplotu kolem $50 \text{ }^\circ\text{C}$ po dobu asi 4 hodin, avšak při vzrůstající vlhkosti vzduchu doba snesitelnosti značně klesá. Vysoké teploty způsobují nadměrnou únavu a nesoustředěnost vedoucí až k nebezpečným úrazům. Při déletrvajících vysokých teplotách se mohou projevit příznaky akutních poruch zdraví z horka jako nevolnost až zvracení, průjemy, krvácení z nosu a úst, náhlé a vůlí nekontrolovatelné zrychlení a prohloubení dechu, prudké snížení pocení nebo diastolického krevního tlaku, změny barvy obličeje, mravenčení a brnění, bolesti hlavy, ve svalech, u srdce, křeče a často neadekvátní, víceméně



nekontrolovatelné chování. Při práci v chladu vede celkové působení chladu k omezení průtoku krve kůží, vzestupu krevního tlaku a zrychlení srdeční frekvence, rovněž ke zvýšení spotřeby kyslíku. Lze očekávat pokles teploty tělesného jádra, oslabené dýchání, zpomalování srdeční frekvence. Snížením aktivity ústředního nervstva dochází k ospalosti, při dalším snížení teploty nastává smrt selháním krevního oběhu.

Zvláštním případem je časově či prostorově nerovnoměrná tepelná zátěž a jednostranná kontaktní (dotyková) tepelná zátěž - vystavení teplu či chladu při dotyku s předměty.

Vlhkost vzduchu

Vlhkost vzduchu vnitřního prostředí závisí na venkovní vlhkosti, technologických nebo jiných zdrojích a množství lidí.

Doporučené hodnoty jsou v rozmezí 30-70 % relativní vlhkosti. Vlhkost je sice člověkem mnohem méně pocítována než teplota, ale i tak může být nepříznivě ovlivněn stav jedince.

V zimním období dochází při vytápění k **poklesu relativní vlhkosti** na 20 % i méně. Tehdy i u zdravých jedinců dochází k intenzivnějšímu vysoušení sliznice horních cest dýchacích, poklesu jejich ochranné funkce a zvyšování možnosti průniku některých škodlivých látek až do dolních cest dýchacích. V těchto případech je v zimě vhodné uměle vlhkost zvyšovat zvlhčovači vzduchu, ale nejvýše na hodnoty kolem cca 40 %.

Rychlost proudění vzduchu

Tepelné pohoda je ovlivněna rovněž rychlostí proudění vzduchu. Člověk vnímá každé proudění vzduchu; to však může být zdrojem pocitu nepohody (diskomfortu). Vyšší rychlosti proudění zpravidla zlepšují tepelnou pohodu při vyšších teplotách, zároveň však již mohou vést až ke zdravotním potížím. Pokud se povrch těla vlivem proudícího vzduchu nadměrně ochlazuje rychlým odpařováním potu, dochází k prochlazení organismu (příklady: nadměrné ochlazování zpocené pokožky při používání stolního ventilátoru v letním období, vzduchová sprcha v provozech se zdroji tepla). Kůže se rovněž významně ochlazuje tím, jak "pulzace" proudícího vzduchu dráždí nervové kožní buňky citlivé na teplotu. Pocit chladu se zvětšuje. Tenká mezní vrstva ohřátého vzduchu na povrchu těla nebrání pronikání vířících částic chladného vzduchu až na kůži, zvyšuje se přestup tepla konvekcí a dochází k dalšímu ochlazení.

Rychlosti proudění vzduchu doporučené pro pracovní prostředí jsou celoročně v rozmezí od 0,1-0,3 ms^{-1} v závislosti na druhu činnosti a použitém oděvu (pro administrativní budovy, drobné provozovny aj. je pro zimní období doporučená hodnota nejvýše 0,15 ms^{-1} , pro letní období nejvýše 0,25 ms^{-1}). Velmi nepříjemně bývá pocítován proud chladného vzduchu (průvan) i jen na některou část těla. K takové situaci dochází nejen při otevřeném okně či dveřích, ale i v klimatizovaných prostorech (přívod vzduchu zesponu podlahou způsobuje pocit chladu na nohy, stejný důsledek má proud vzduchu v blízkosti oblasti hlavy nebo jiné části těla). Není-li možné odstranit nerovnoměrnost proudění, je třeba zajistit možnost odpočinku v denní



místnosti s jiným způsobem větrání, případně změnu pracovního místa .

Působení mikroklimatu na člověka

V organismu je nutné udržovat teplotu jádra v úzkém tepelném rozmezí - s tím souvisí nepříznivé účinky působení tepla či chladu na organismus. Buňka je poškozována při teplotě menší než $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ a vyšší než $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ a teplotu nad $41\text{ }^{\circ}\text{C}$ snáší jen poměrně krátkou dobu. Pokud teplota, jíž je organismus člověka vystaven překročí hranice, ve kterých působí termoregulační mechanismy organismu, dochází k jeho poškození, které může být dočasné i trvalé.

Lokální působení chladu má za následek omrzliny především na nechráněných a méně prokrvených částech těla jako nos a ušní boltce; kombinace působení nízké teploty a vlhkosti vede k ochrnutí krevních kapilár v kůži a podkoží, městnání krve a otokům končetin (tzv. zákopová noha). Při přenosu vibrací na horní končetiny (ruce) se významně uplatňuje působení chladu a vlhka (onemocnění cév z vibrací).

Celkové působení chladu omezuje průtok krve kůží, zvyšuje její izolační schopnosti, zejména na prstech končetin; krevní tlak i srdeční frekvence stoupají a zvyšuje se spotřeba kyslíku ve tkáni. Po vyčerpání termoregulačních možností při delším působení nadměrného chladu dochází k poklesu teploty tělesného jádra, k oslabení dýchání a ke zpomalení srdeční frekvence. Snížením aktivity centrální nervové soustavy dochází k ospalosti a následně ke smrti selháním krevního oběhu.

Lokální působení tepla poškozuje povrchové tkáně a vede ke vzniku popálenin.

Celkové působení tepla vede k rozšíření cév v kůži, ke zvýšení průtoku krve kůží a k vytváření potu (pocení) nejprve na dolních končetinách, pak na hrudníku a nejpозději na hlavě a pažích. Existují velké individuální rozdíly v množství produkovaného potu, při práci v horkém prostředí dochází ke ztrátě tekutin pocením kolem 6 litrů za směnu (snížování obsahu iontů sodíku a chlóru v organismu). Při nadměrné vlhkosti prostředí se pot hůře odpařuje, stéká po těle a přebytečné teplo se z těla odstraňuje nedostatečně - v poměrně krátké může dojít k selhání oběhu.

Stanovení teploty okolního prostředí, při níž dochází k patologickým změnám organismu, prakticky nelze (kromě působení klimatických faktorů jako je teplota, vlhkost, proudění a sálání, existuje přímá závislost na typu, velikosti i trvání pracovního výkonu; také individuální rozdíly u jednotlivých osob v závislosti na věku, zdravotním stavu, pohlaví a aklimatizaci jsou nezanedbatelné).

Možné nepříznivé vlivy **objektů s umělým ovzduším** - klimatizovaných objektů (v případě, že dojde ke špatnému návrhu, dimenzování, používání nebo provozu klimatizačních zařízení) jsou:

- místní diskomfort z nevhodných mikroklimatických podmínek (technologické podmínky mohou být značně odlišné od hygienického optima),



- změny elektroiontového mikroklimatu oproti venkovnímu prostředí, šíření kontaminovaného vzduchu ve větraném prostoru (zanášení škodlivin na pracoviště, kde se s danými látkami nepracuje, šíření prachů, mikrobiální znečištění vzduchu při nedostatečné údržbě klimatizačního zařízení),
- stísnující pocit uzavřeného prostředí (nemožnost "vyvětrat" otevřeným oknem).

Na umělé ovzduší je člověk schopen se adaptovat; u části osob se však objevují potíže, jejichž charakter je nápadně podobný - od roku 1983 se pro ně užívá název "syndrom nemocných budov" (sick-building syndrom - SBS). Jedná se o dráždění očí a krku, výrazný pocit suchosti sliznic, bolesti hlavy, psychické příznaky jako roztěkanost, snížení pracovní kapacity, nesoustředěnost, poruchy paměti, vznětlivost, nervozita, denní ospalost a naopak noční nespavost. Pro uvedené příznaky je charakteristická jejich vazba na pracoviště, po jehož opuštění ustupují nebo úplně mizí. Nebyla zjištěna příčinná souvislost s technickým vybavením pracoviště ani typem práce. Příčina SBS není dosud jednoznačně objasněna.

Měření parametrů mikroklimatických podmínek

Z fyzikálních veličin charakterizujících mikroklima se měří teplota a výsledná teplota vzduchu, radiační teploty, povrchové teploty těles a stavebních konstrukcí, rozdíl teplot v úrovni hlavy a kotníků pracovníka, dále relativní vlhkost vzduchu a rychlost proudění vzduchu.

Teplota vzduchu se zjišťuje teploměry, při měření teploty vzduchu nesmí být naměřená hodnota ovlivněna sálavou složkou z okolních ploch.

Výsledná teplota se měří kulovým teploměrem a výsledná hodnota zahrnuje i vliv rychlosti proudění vzduchu i sálavých zdrojů na teplotu vzduchu.

Radiační teploty (prostorová, rovinná) v provozech se zdroji sálavého tepla se měří radiometry, při nízké rychlosti proudění vzduchu (do $0,2 \text{ ms}^{-1}$) se radiační teplota může přímo nahradit výslednou teplotou kulového teploměru, jinak ji lze stanovit výpočtem.

Povrchové teploty se měří kontaktními teploměry nebo bezkontaktními přístroji. Povrchové teploty se měří hlavně pokud jde o zjištění teplot povrchů, kterých se pracovník přímo dotýká nebo při existenci horkých nebo chladných povrchů na pracovištích.

Teplotní veličiny se udávají ve stupních Celsia ($^{\circ}\text{C}$), při stanovení teplotního rozdílu, se hodnota udává buď ve stupních Kelvina ($^{\circ}\text{K}$), nebo $^{\circ}\text{C}$.

Relativní vlhkost vzduchu měří vlhkoměry, je to veličina sloužící i ke stanovení **teploty rosného bodu** (při této teplotě dochází ke kondenzaci vodní páry ze vzduchu). Relativní vlhkost se udává v %.

Rychlost proudění vzduchu se měří anemometry, udává se v ms^{-1} .

Mikroklimatické veličiny se objektivizují měřením vždy na pracovních místech a současně ve venkovním prostoru (měřené místo ve venkovním prostoru nesmí být ovlivněno žádným tepelným zdrojem a musí být ve stínu). Na pracovních místech se měří obvykle ve výši hlavy (standardně 105 cm pro sedící osoby a 165 cm pro stojící) a ve výši kotníků (15 cm).



Hodnocení mikroklimatických podmínek

Jednoznačné hodnocení mikroklimatických podmínek je značně složité, zjednodušeně lze metody hodnocení mikroklimatu rozdělit na dvě skupiny - na metody subjektivní a objektivní. Metody subjektivní jsou založeny na zjišťování subjektivních názorů uživatelů na stav prostředí, ve kterém pobývají. Metody objektivní vycházejí z výsledků měření fyzikálních faktorů určujících stav prostředí.

Subjektivní metody hodnocení mikroklimatických podmínek umožňují rozhodnout:

- a) zda je nutné provádět další - objektivní šetření
- b) která místa pobytu lidí jsou z hlediska diskomfortu a dalších faktorů nejzávažnější.

Při posuzování stavu prostředí je navržena řada stupnic popisujících pocity vyšetřených osob, např. podle ČSN EN ISO 7730:

Pohoda (0), resp. tepelně neutrální pocity člověka nastávají tehdy, jestliže není pocíkováno ani teplo, ani chlad, není pocíkováno proudění vzduchu, oděv není nepříjemně pocíkováno, vzduch v místnosti připadá jako vyhovující, tj. ani suchý, ani vlhký.

Mírná nepohoda (1), resp. mírně chladno nebo teplo, jsou provázeny obvykle nevýrazným pocitem chladu nebo tepla, proudění vzduchu je pocíkováno, oděv je pocíkováno, avšak není snaha jej změnit, některé osoby udávají směrem k chladnu pocit vlhka, směrem k teplu pocit sucha.

Nepohoda (2), resp. chladno nebo teplo, je provázena obvykle výrazným pocitem chladu nebo tepla s mírným pocením, proudění vzduchu v chladnu je vnímáno jako průvan, v teple je naopak vnímáno velmi příjemně, oděv je pocíkováno buď jako příliš lehký (v chladnu), nebo příliš těžký (v teple) a je snaha ho změnit, podle relativní vlhkosti vzduchu dochází většinou k pocitům vlhka (v chladnu) či naopak sucha či dusna (v teple).

Značná nepohoda (3), resp. zima nebo horko, je provázena výrazným pocitem zimy (často s třesem) nebo horka s pocením, proudění vzduchu je pocíkováno jako závan zimy nebo v horku také nepříjemně, neboť způsobuje nadměrné ochlazování částí těla s propoceným oděvem. Oděv je většinou pocíkováno jako zcela nevhodný, podle relativní vlhkosti vzduchu dochází k pocitům vlhka v zimě nebo značného sucha či tíživého dusna v horku.

Při vyšetřování uvedených údajů je třeba dotazy upřesnit i další související faktory (charakter pracovní činnosti, skladba oděvu, možnost individuální regulace teploty, základní údaje o dotazované osobě, tj. věk, hmotnost, výška, pracovní zařazení, stav, údaje o pracovišti dotazovaného aj.).

Pro zhodnocení mikroklimatu může být subjektivní metoda vyšetření postačující. Pro rozhodnutí o nutnosti objektivního vyšetření je důležité, kolik % pracovníků z celkového počtu je nespokojeno se stávajícími mikroklimatickými podmínkami, zda počet nespokojených (uvádějících pocit nepohody) je větší než 20 % (u osob v lehkém oděvu), popřípadě 10 % (u osob v těžším oděvu).



Důležité je prověřením, zda někteří z nespokojených nejsou na mimořádně nepříznivých místech (studené tahy od oken, negativní sálání od chladné stěny, podlahy či naopak místní přehřátí od zdrojů sálavého tepla apod.) - na nich je pak nezbytné provést objektivní zjištění.

Subjektivní zjišťování je použitelné pouze tehdy, je-li počet dotazovaných dostatečný ke statistickému hodnocení (minimálně 20 osob). V úvahu je třeba brát další vlivy, které vnímání kvality mikroklimatu ovlivňují (k mikroklimatickým podmínkám jsou tolerantnější lidé se zajímavou pracovní náplní, odpovědnější prací, lépe odměňovaní a pod.). V subjektivních názorech na mikroklima se projeví také úroveň mezilidských vztahů na pracovišti.

Objektivní metody hodnocení mikroklimatických podmínek spočívají v měření fyzikálních veličin určujících mikroklima. Naměřené hodnoty se porovnávají s kritérii buď na základě více či méně zjednodušeného šetření rovnice tepelné bilance nebo s kritérii získanými z řady subjektivních vyšetření, popřípadě kombinací obou způsobů. Měřené fyzikální veličiny, které určují mikroklimatické podmínky, jsou teplota vzduchu, výsledná nebo radiční teplota, rychlost proudění vzduchu a jeho relativní vlhkost. Hodnotícím kritériem je na základě těchto veličin stanovená operativní teplota vzduchu. Pro posouzení tepelné bilance člověka je třeba dále znát tepelnou produkci člověka a přenosové vlastnosti jeho oděvu. Tepelná produkce člověka závisí na vykonávané mechanické práci, přenosové vlastnosti oděvu jsou charakterizovány tepelným odporem oděvu (vyjadřuje se v závislosti na počtu vrstev oděvu a rychlosti proudění okolního vzduchu).

Ochrana zdraví před nepříznivým mikroklimatem

Nadměrná zátěž teplem je způsobena buď vysokou zátěží konvekčního tepla (způsobenou vysokou teplotou vzduchu) nebo vysokým podílem sálavého tepla. V pracovním prostředí se obvykle vyskytuje kombinace obou zátěží.

K ochraně proti nadměrné tepelné zátěži se používá technických a organizačních prostředků a náhradních opatření charakteru technického i organizačního.

Cílem technických opatření je nadměrnou tepelnou zátěž omezit. U konvekční zátěže toho lze dosáhnout dostatečným **větráním**, umožňujícím odvést produkované teplo. U zátěže sálavým teplem se navíc uplatňuje:

- snížení intenzity sálání zdroje
- odclonění pracovníka
- ochlazování pracovníka
- tepelná izolace pracovníka

Snížení intenzity sálání zdroje se dá provést snížením jeho povrchové teploty nebo snížením součinitele sálání; povrchová teplota se snižuje izolací nebo vodním chlazením (obvykle se teploty povrchu snižují na hodnotu 50-60 °C); součinitel sálání se sníží vhodnou úpravou povrchu (na kovově lesklý).

Clony proti sálání sálavé teplo pohlcují nebo odrážejí. Clony existují mechanické nebo vodní a navrhují se tak, aby hustota sálavého toku pohlcovaného oděvem pracovníka nebyla vyšší než 35 Wm⁻². Odrazivými clonami jsou clony z hliníkového plechu, leštěné ocelové nebo z alufolu na pletivu. Pohlcující clony jsou



litinové s ohnivzdornou výplní, zděné nebo dřívě azbestové. Clony odvádějící teplo jsou ocelové, chlazené vodou (omýváním nebo protékáním). Průhledné clony bývají vodní, skleněné chlazené protékající vodou nebo pouze skleněné z determálního skla.

Ochlazování pracovníků vystavených sálavému teplu se řeší užitím vzduchových sprch, přímého rozprašování vody a sálavých ochlazovacích panelů. **Vzduchové sprchy** zvyšují odvod tepla konvekcí z osálaného povrchu pracovníka; nelze však odvádět veškeré absorbované teplo - příliš velká rychlost vzduchu je pociťována nepříjemně. Užívá se jich především pro místa delšího pobytu pracovníků (při časté změně pracovního místa se vyskytují stížnosti na přílišné ochlazování v místech vstupu do sprchy).

Přímé **rozprašování vody** na pracovníka lze použít na pracovištích s teplotou vzduchu 30 °C a vyšší bez sálání a při teplotách 27-28 °C při intenzitě sálání nejvýše 350 Wm⁻² (jemné kapičky o průměru 50-60 řádně větrané pracoviště, aby nedocházelo k přílišnému zvyšování vlhkosti vzduchu).

Ke snížení výsledné teploty na pracovišti lze použít instalace **chladicích panelů** nejlépe v blízkosti sálajících ploch (panely chlazené vodou o nízké teplotě, panely lze instalovat do míst sloužících k odpočinku nebo do ovládacích kabin).

Nadměrnou tepelnou zátěž na pracovištích může také způsobit přímé sluneční osálení. I u nás intenzita slunečního sálání může v letních měsících přestoupit hodnotu 900 Wm⁻². Ochrana pracovních míst uvnitř budov před přímým slunečním osálením se realizuje především vhodnou orientací osvětlovacích otvorů, jejich stíněním, případně užitím determálních skel. Při užití stínících prvků je třeba dávat přednost vnějším stínícím prvkům (teplo jimi zachycené se odvádí do venkovního prostoru, užívá se prvků architektonických - lodžií, slunolamů nebo žaluzií či rolet).

Po vyčerpání možností technických opatření se zajišťuje udržení únosného teplotního stavu organismu vhodnou organizací a režimem práce a odpočinku.

Při práci v chladu je třeba umožnit pracovníkům občasný pobyt v teplém prostředí, poskytování teplých nápojů, možnost výměny mokrého oděvu a jeho usušení.

V prostředí nadměrného tepla se obdobně umožňuje občasný pobyt v relativně chladném prostředí a v horkých provozech uhrazení tekutin odpařených potem a vydýcháním (úhrada minerálů je v běžných provozních podmínkách dostatečně zajišťována denním příjmem potravy, jejich nahrazování je zcela výjimečné).

Důležitý je pečlivý výběr pracovníků pro práce v extrémních podmínkách, a to s ohledem na budoucí zátěž srdečně cévní soustavy a periferního krevního oběhu.

K **tepelné izolaci pracovníků** se užívá speciálních oděvů s velkým tepelným odporem a malým součinitelem poměrné absorpce. Lze jich užít, pokud jsou tepelné podmínky takové, že při použití normálního oděvu by člověk teplo ve značné míře pohlcoval, nikoli odváděl. Velikost pohlcovaného tepla izolační oděvy snižují, nemohou však zajistit optimální podmínky - při jejich používání se člověk značně potí (spodní vrstvy oděvu musí být dobře nasáklivé a svrchní provzdušné). Pro práce v extrémně horkém prostředí (u vysokých pecí v teplém stavu) byly vyvinuty speciální oděvy chlazené vzduchem. Při nárazových pracích ve vysokých



teplotách (báňští záchranáři) se užívá speciálních chladicích vest s vkládaným ledem.