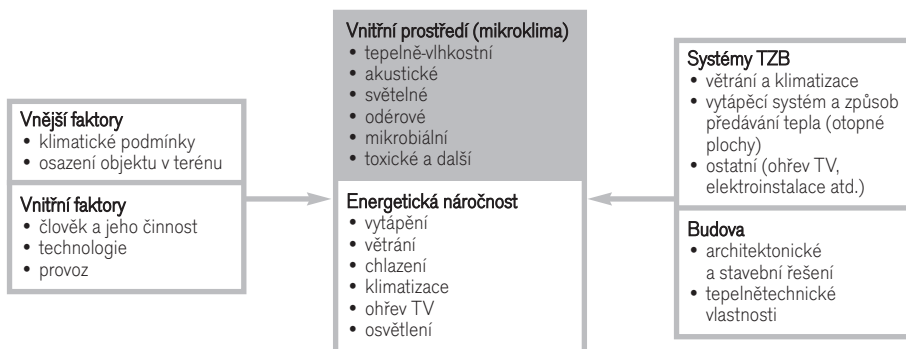


Mikroklima obytných prostor a mikroklima nízkoenergetických budov

Faktory vnitřního prostředí budov

Dnešní člověk tráví v budovách většinu svého času, prostředí v budovách se stává jeho životním prostředím. Utváří jeho zdravotní stav, psychickou pohodu, je prostředím pro pracovní činnost. Prostedí v budovách je tedy jejich základním funkčním parametrem a je ze strany uživatelů spojeno s určitým očekáváním komfortu. Toto očekávání není vždy uspokojeno, čímž zůstává funkce budovy z menší či větší části nenaplněna. Proto je účelné se parametry mikroklimatu budov zabývat.



▲ Obrázek 6 ▲ Faktory podílející se na tvorbě vnitřního prostředí budov

Kategorie	Popis	Podíl nespokojených osob
I	Vysoká úroveň očekávání, doporučeno pro osoby s křehkým zdravím (nemocní, malé děti, starší osoby)	15
II	Běžná úroveň očekávání, měla by být použita pro novostavby a rekonstrukce	20
III	Přijatelná střední úroveň použitelná pro stávající budovy	30
IV	Hodnoty mimo kritéria, přípustné pro omezenou část roku	> 30

▲ **Tabulka 8** ▲ Kategorie budov podle požadavků na prostředí a podíl osob nespokojených s kvalitou vzduchu

ČSN EN 15251 klasifikuje prostředí do čtyř kategorií. Čím vyšší kategorie prostředí, tím méně komfortu a větší podíl osob s prostředím nespokojených. Je třeba si však uvědomit, že čím vyšší nároky na prostředí, tím více energie je nutné k jeho vytvoření.

Vnitřní prostředí budov je komplex mnoha jevů, které utvářejí výsledné prostředí působící na člověka. Proto je účelné ho klasifikovat do několika složek podle fyzikální nebo chemické podstaty: tepelně-vlhkostní, mikrobiální, ionizační, aerosolové, oděrové, toxické, akustické a světelné.

Subjektivně lidé nejvíce vnímají složku tepelně-vlhkostní, s ohledem na lidské zdraví je podstatná kvalita vzduchu, která zahrnuje složku mikrobiální, aerosolovou, oděrovou a toxickou. Od úsporného domu jistě očekáváme, že bude mimo jiné šetřit lidské zdraví, proto je oblast vnitřního prostředí významným kvalitativním parametrem domu.

Venkovní klimatické podmínky

Dvě základní klimatické veličiny, které ovlivňují teplotní režim staveb, jsou teplota vzduchu a sluneční záření. Na kvalitu vzduchu v budovách má podstatný vliv chemické složení venkovního vzduchu, zejména obsah prachu a z plynných příměsí oxidy dusíku. K tomu přistupují další škodliviny, které jsou zejména produkty spalování. Zejména nekvalitní spalování, které se projevuje tmavým kouřem, obsahuje látky často toxické povahy.

Pro zimní období je území České republiky rozděleno na teplotní oblasti s nejnižší výpočtovou venkovní teplotou -12 , -15 (I. teplotní oblast) a -18 °C (II. teplotní oblast). U míst s nadmořskou výškou 600–800 m n. m. se počítá s nejnižší výpočtovou venkovní teplotou -18 °C, u míst s nadmořskou výškou nad 800 m n. m. s -21 °C.

V letním období má zásadnější vliv než teplota intenzita slunečního záření. Ta je proměnlivá během měsíců, dnů i hodin, závisí také na orientaci ke světovým stranám. V létě dopadá na vodorovnou rovinu při jasné obloze až 800 W/m² slunečního záření. Za měsíc červenec dopadne na 1 m² jižně orientované svislé stěny přibližně 90 kWh, v lednu přibližně třetina. Pro energetické výpočty je nutné znát hodnoty klimatických veličin nejméně v průměrných měsíčních hodnotách.

Mikrobiální mikroklima

Tvoří jej mikroorganismy ovlivňující lidské zdraví ve vnitřním prostředí budov. Sledujeme biologické ukazatele výskytu bakterií, plísní (mikroskopických vláknitých hub) a alergenů roztočů. Kontrolu kvality prostředí provádíme za podmínek vyhláškou stanovených, ze dvou aeroskopem provedených odběrů vzduchu, kultivací na živné pů-

dě. Pak jsou počítány vykultivované kolonie. Požadavky na kvalitu prostředí u běžných staveb jsou splněny, pokud nepřekročí koncentrace bakterií nebo plísní 500 KTJ.m^{-3} vzduchu (kolonie tvořících jednotek).

Plísně lze očekávat všude tam, kde je vysoká vlhkost vzduchu. Ta totiž způsobuje vlhkost stavebních konstrukcí, které jsou pak pro plísně živnou půdou. Vzhledem k masové výměně oken v minulých letech, která nebyla spojena se změnou jejich užívání – tj. nová okna nevětrají infiltrací, je nutno je otvírat – došlo v mnoha bytech k nárůstu vlhkosti a tím rozvoji plísní. Dalším zdrojem vlhkosti, jak ukázalo šetření Státního zdravotního ústavu, je také zatékání střechou nebo vzlínání spodní vody. Tyto závady nejsou pouze estetické, neboť většina těchto plísní je pro člověka alergizující.

Ionizační mikroklima

Je charakterizováno toky ionizujícího záření z přírodních radionuklidů a umělých zdrojů. Ve stavbách bytových se jedná především o vnikání radioaktivních plynů z podlahy a ze stavebních hmot. Limitní hodnotou je takzvaná ekvivalentní objemová aktivita radonu (EOAR) v interiéru. U novostaveb činí 100 Bq.m^{-3} vzduchu. Dominantním zdrojem radonu je geologické podlahy, takže se kumuluje zejména ve sklepech. Větší koncentrace byly zjištěny u budov s narušenou hydroizolací, která umožňuje průnik plynu. Radon lze odstraňovat větráním.

Aerosolové mikroklima

Aerosoly se v ovzduší vyskytují ve formě pevných částic (prachu) nebo kapalných částic (mlhy). Prach může být inertní, toxický, alergizující a jeho výskyt v atmosféře patří k závažným problémům našeho životního prostředí, protože jeho koncentrace jsou, zejména v zimním období, vysoké. Za špatných rozptylových podmínek, kdy není dostatečné proudění vzduchu, dochází zejména v Moravskoslezském kraji opakovaně k překračování limitů pro vnější prostředí, což má za následek nevyhovující prostředí ve stavbách. Prach je generován z průmyslových a spalovacích procesů, z obrušování pneumatik během jízdy, je průvodním projevem upravených hladkých venkovních ploch. Jeho limitní hodnoty uvádí pro pobytové místnosti staveb tabulka 9.

Odérové mikroklima

Odéry jsou plynné složky v ovzduší, člověkem jsou vnímány jako vůně nebo zápachy. Jejich zdrojem je sám člověk a jeho činnost (kouření, vaření, úklid a čištění atd.) nebo odparu z nátěrů a stavebních prvků. Odéry mohou být zdravotně nezávadné i toxické. Samotná vůně nebo zápach nejsou z hlediska zdraví podstatné. Jako kritérium odérového mikroklimatu, kde hlavním zdrojem škodlivin je člověk, slouží zejména koncentrace oxidu uhličitého, přestože on sám je bez zápachu. Je však produkován v závislosti na fyzické zátěži a jeho měření je technicky snadné, proto slouží jako indikátor kvality vzduchu.

Toxické mikroklima

Je tvořeno toxickými plyny s patologickými účinky, mezi které patří především oxidy síry, oxidy dusíku, oxid uhelnatý, ozon, smog, formaldehyd atd. Jejich zdrojem je opět sám člověk a jeho činnost, stavební materiály, zejména přípravky stavební chemie, barvy, lepidla. Významně k tomu může přispívat také vybavení budovy, např. plynové sporáky, nábytek, podlahové krytiny. Jejich koncentrace ve venkovním prostředí bývá velmi nízká. S ohledem na tuto skutečnost jsou dnes stavby klasifikovány jako budovy s velmi nízkým, nízkým nebo významným znečištěním vnitřního prostředí, což se projevuje zejména ve výběru materiálů podle emisí škodlivin a omezením jiných zdrojů znečištění, jako je např. tabákový kouř. Limitní hodnoty pro pobytové místnosti staveb uvádí tabulka 9.

Zdroj škodlivin		Nejdůležitější produkované škodliviny
Člověk	Látková výměna Činnost člověka	CO ₂ , vodní pára, pachy Prachové částice, tabákový kouř, čisticí prostředky, rozpouštědla, organické látky, chov domácích zvířat – srst, produkty látkové výměny
Stavební hmoty a vybavení	Dřevotříská Izolační hmoty Nátěrové hmoty Plynový sporák Podzákladí Obalové stavební konstrukce, krov Vysoká vzdušná vlhkost	Aldehydy Aldehydy, azbest Organické látky, rozpouštědla, těžké kovy N ₂ O, částice, CO, SO ₂ Radon Radon, prostředky na ochranu dřeva Rožtoči, spóry hub a plísní

▲ **Tabulka 9** ▲ Zdroje škodlivin v moderní výstavbě

Ukazatelé	Limity pro koncentrace látek vztažené na standardní podmínky
Oxid dusičitý	100 µg.m ⁻³
Frakce prachu PM 10 (s převládající velikostí částic o průměru 10 µm)	150 µg.m ⁻³
Frakce prachu PM 2,5 (s převládající velikostí částic o průměru 2,5 µm)	80 µg.m ⁻³
Oxid uhelnatý	5 000 µg.m ⁻³
Ozon	100 µg.m ⁻³
Azbestová a minerální vlákná (průměr < 3 µm, délka ≥ 5 µm, poměr délky a průměru > 3 : 1)	1 000 (počet vláken.m ⁻³)
Amoniak	200 µg.m ⁻³
Benzen	7 µg.m ⁻³
Toulen	300 µg.m ⁻³
Suma xylenů	200 µg.m ⁻³
Styren	40 µg.m ⁻³
Etylbenzen	200 µg.m ⁻³
Formaldehyd	60 µg.m ⁻³
Trichloretylen	150 µg.m ⁻³
Tetrachloretylen	150 µg.m ⁻³

▲ **Tabulka 10** ▲ Limitní hodinové koncentrace chemických ukazatelů a prachu dle vyhlášky č. 6/2003 Sb.

Tepelně-vlhkostní mikroklima

Základní tepelně-vlhkostní klima uvnitř objektu je ovlivněno vnějším klimatem, jehož působení upravují vlastnosti stavebních konstrukcí, a vnitřními zdroji tepla a vodní páry. Toto základní vnitřní mikroklima je pak optimalizováno systémy vytápění, větrání či klimatizace. Cílem je vytvořit takové mikroklima, při kterém se člověk při vykonávané činnosti cítí nejlépe – nachází se ve stavu tepelné pohody. Podmínkou tepelné pohody je dosažení tepelné rovnováhy člověka při takzvaném suchém ochlazování těla. Okolí odebírá lidskému tělu tolik tepla, kolik právě produkuje, a to vedením, prouděním, sáláním, dýcháním a vypařováním potu při suché pokožce. Při suchém ochlazování je větší část produkovaného tepla odváděna konvekcí a sáláním a nedochází k zvýšenému vylučování potu. Sedící člověk s lehkou činností odevzdává při klidném vzduchu v mírném tepelném prostředí přibližně 120 W tepelného výkonu, který je přirozeným produktem jeho metabolických procesů. Jakmile začne teplota okolního prostředí stoupat ke 30 °C, nestačí k odvodu tepla z těla jen konvekce a sálání a musí být ve větší míře aktivováno pocení, pot se nestačí z tělesného povrchu odpařovat a pokožka tak zůstává lokálně, později celá mokrá. Tento stav se nazývá mokré ochlazování těla a je vnímán jako velmi nekomfortní. Navíc bývá provázen snížením produktivity práce a poklesem celkového výkonu. Hodnoty metabolického tepla závisejí významně na fyzické aktivitě, orientační hodnoty vztažené na 1 m² tělesného povrchu udává tabulka 11. Průměrný dospělý člověk má přibližně 1,8 m².

Druh činnosti	Produkce tepla q_m [W.m ²]	Druh činnosti	Produkce tepla q_m [W.m ²]
Klid ve spánku	40	Středně těžká fyzická práce	120–160
Odpočinek vsedě	60	Těžká fyzická práce	180–380
Kancelářské práce	65–70	Chůze po rovině	110–230
Práce v domácnosti	90–120	Běh po rovině	380
Lehká fyzická práce	100–120	Tanec	140–260

▲ **Tabulka 11** ▲ Produkce tepla při různé činnosti člověka

Tepelně-vlhkostní vlastnosti mikroklimatu interiéru lze **objektivně** vyjádřit čtyřmi faktory, které popisují prostředí:

- ▲ teplotou vnitřního vzduchu;
- ▲ účinnou teplotou okolních ploch;
- ▲ vlhkostí vnitřního vzduchu danou parciálním tlakem vodní páry nebo relativní vlhkostí;
- ▲ rychlostí proudění vnitřního vzduchu.

Tepelnou pohodu člověka navíc ovlivňují faktory **subjektivní** (tj. dané subjektem), a to:

- ▲ produkce tepla, která je dána stupněm fyzické námahy, je ovlivněna věkem, konstitucí, pohlavím a zdravotním stavem;
- ▲ tepelněizolační schopnost oděvu, daná tepelnou propustností – tepelným odporem oděvu.

Již v sedmdesátých letech 20. století byly zjišťovány závislosti mezi těmito faktory. Tato práce vyústila v evropskou normu ČSN EN 7730, která umožňuje např. stanovit tepelný pocit člověka při konkrétní kombinaci všech výše vyjmenovaných veličin, nebo určit vhodné teplotní podmínky pro člověka při určité činnosti a zadaném oděvu.

Výsledná a operativní teplota

Člověk nevnímá teplotu vzduchu izolovaně, člověk vnímá celkově, nakolik mu okolní prostředí odebírá teplo různými mechanismy včetně pocení. Samotnou teplotu vzduchu lze sice snadno měřit (teploměrem stíněným proti sálání), není však vždy vypovídající o tepelném stavu prostředí, jak ho vnímá člověk. Proto se do hodnocení promítá také teplota obklopujících povrchů, s nimiž člověk sdílí teplo sáláním. Je-li teplota povrchů nízká, např. na prosklení oken s velkou plochou, musí být pro dosažení stejného tepelného účinku prostředí kompenzována zvýšenou teplotou vzduchu.

Veličina zohledňující jak teplotu vzduchu, tak okolních povrchů je teplota měřená kulovým teploměrem, která se nazývá **výsledná**. Při prakticky klidném vzduchu je přibližně rovna průměru teploty vzduchu a průměrné teploty okolních povrchů.

Vyšší průměrná teplota okolních ploch je charakteristická u takzvaných převážně sálových topných ploch (podlahové nebo stěnové vytápění), což umožňuje snížení teploty vzduchu při zachování stejného pocitu tepelné pohody, a to o 2–3 °C.

Veličina, která zahrnuje jak teplotu vzduchu a stěn, tak proudění vzduchu, je teplota operativní. Proudění vzduchu člověka ochlazuje, proto při vyšších rychlostech vzduchu než 0,2 m.s⁻¹ má teplota vzduchu v hodnocení vyšší váhu než teplota povrchů.

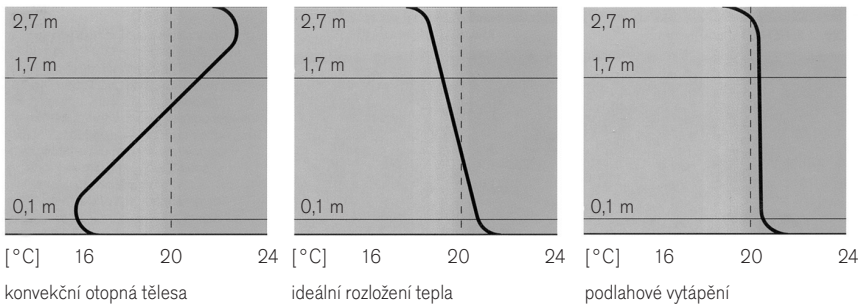
Druh vytápěné místnosti v obytné budově	Výpočtová vnitřní teplota t_i [°C]
Trvale obývané	
obývací místnosti, tj. obývací pokoje, ložnice, jídelny, jídelny s kuchyňským koutem, pracovny, dětské pokoje	20
kuchyně	20
koupelny	24
klozety	20
vytápěné vedlejší místnosti (předsíň, chodby aj.)	15
vytápěná schodiště	10
Občasně užívané (rekreační)	
• v době provozu	
obývací místnosti, tj. obývací pokoje, ložnice, jídelny, jídelny s kuchyňským koutem, pracovny, dětské pokoje	20
kuchyně	20
koupelny	24
klozety	20
vytápěné vedlejší místnosti (předsíň, chodby aj.)	15
vytápěná schodiště	10
• mimo provoz	5

▲ **Tabulka 12** ▲ Výpočtové vnitřní teploty v některých místnostech obytných budov

Poznámka: Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu (kromě prostorů s vlhkými a mokřými provozy) je 50 %.

Teplota vzduchu v místnosti výrazně ovlivňuje energetickou náročnost objektu. Snížením teploty vzduchu o jeden stupeň dosáhneme úspory přibližně 6 % z potřeby tepla na vytápění. Pro návrh systémů technického vybavení budov (vytápění, klimatizace) jsou předepsány vnitřní výpočtové teploty, odpovídající výsledné teplotě. Proto mají být naměřené teploty vnitřního vzduchu vyšší o 1–2 °C, aby byl kompenzován vliv ochlazovacích konstrukcí (podle plochy venkovních stěn a zejména výplní otvorů). V místnostech s nadměrným zasklením může být teplota vnitřního vzduchu vyšší až o 3 °C.

Rozložení teploty v prostoru místnosti není stejné. Svislá (vertikální) nerovnoměrnost je ovlivněna výškou místnosti, nesterjnoměrným ochlazováním stavebních konstrukcí a především způsobem přívodu tepla. U objektu s podlahovým vytápěním je rozdíl teplot vzduchu minimální a přibližuje se ideálnímu rozložení tepla. Naopak při vytápění konvekčními tělesy je vlivem proudění nejvyšší teplota pod stropem místnosti a nejnižší u podlahy. Z hlediska tepelné pohody by rozdíl teplot mezi nohama člověka a místem hlavy neměl být větší než 2 °C u stojící osoby a 1,5 °C u sedící osoby.



▲ **Obrázek 7** ▲ Teplotní profily v místnosti při různých způsobech vytápění

Pro zajištění tepelné pohody musí být vlastní stavba a systémy technických zařízení budov navrženy tak, aby byla v objektu v zimním období určitá minimální teplota a v letním období určitá maximální teplota. Objekt musí vykazovat takzvanou tepelnou stabilitu. Normou je stanoven rozdíl mezi výpočtovou a minimální nebo maximální hodnotou teplot – pokles nebo vzestup. Pro posouzení tepelné stability se v objektu posuzuje takzvaná kritická místnost. V zimním období je to místnost s nejvyšším celkovým (průměrným) součinitelem prostupu tepla konstrukcí, které ji ohraničují. Místnost s pobytem lidí nesmí po přerušení vytápění na konci doby chladnutí vykazovat vyšší pokles výsledné teploty oproti teplotě výpočtové než:

- ▲ 3 °C při vytápění radiátory, sálavými panely, teplovzdušným vytápěním;
- ▲ 4 °C při vytápění kamny, u podlahového vytápění.

Typ budovy	Kategorie	Minimum (vytápění)	Maximum (chlazení)
Obytné budovy – obytné místnosti (ložnice, pracovny, kuchyně apod.)	I	21	25,5
	II	20	26,0
	III	18	27,0

▲ **Tabulka 13** ▲ Návrhové teploty pro různé kategorie budov podle ČSN EN 15251

V letním období je kritickou místností ta, která má největší plochu přímo osluněných výplňových otvorů (oken, jiného prosklení) orientovaných na Z, JZ, J, JV, V. U nevýrobních budov je normou ČSN 73 0540 požadována nejvyšší denní teplota vzduchu v místnosti 27 °C.

Vlhkost vzduchu

Vlhkost vzduchu v průběhu roku kolísá ve venkovním, tudíž i vnitřním prostředí staveb. Dříve se doporučovalo rozpětí relativní vlhkosti vzduchu v interiérech mezi 40 až 60 %, dnes se doporučované hodnoty snižují. Je to proto, že důsledky nižší vzdušné vlhkosti kolem 30 %, které mohou u citlivých jedinců vyvolat pocit suchých očí nebo sliznic, nejsou tak závažné jako důsledky vlhkosti vysoké, která způsobuje vlhkost stavebních konstrukcí, která je následována růstem plísní, a to i dříve, než se dosáhne viditelné kondenzace. Vysoká vlhkost vzduchu je příznivá také pro roztoče, na které je významná část populace dnes alergická.

Proto jsou stanoveny požadavky na povrchovou teplotu konstrukcí tak, aby ke kondenzaci nedocházelo. Stavební konstrukce (stěny, střechy, stropy, podlahy) a výplně otvorů musejí v každém místě v zimním období vykazovat takovou povrchovou teplotu, aby za výpočtových podmínek byla vyloučena povrchová kondenzace a předešlo se tvorbě a růstu plísní. Pokud povrchová teplota konstrukce klesne pod teplotu rosného bodu, dojde na ní k vysrážení vodní páry ze vzduchu. Rosný bod je závislý na teplotě a vlhkosti vzduchu. Je to teplota, kdy je vzduch právě nasycen vodní parou. Povrchová teplota konstrukce je mimo vnitřních a vnějších tepelných a vlhkostních podmínek závislá na tepelnotechnických vlastnostech stavební konstrukce (tepelném odporu, součiniteli prostupu tepla U). U staveb s nízkými hodnotami součinitelů prostupů tepla konstrukcí bez tepelných mostů je za odpovídající vlhkosti a teploty riziko kondenzace minimalizováno.

Teplé období roku	nejvýše 65 %
Chladné období roku	nejméně 30 %

▲ **Tabulka 14** ▲ Relativní vlhkost vzduchu v bytových místnostech dle vyhlášky č. 6/2003 Sb.

Proudění vzduchu

Zdrojem zhoršené pohody prostředí v interiéru může být proudění vzduchu. Pocit nepohody u osob může způsobit proudění chladného vzduchu (termické) nebo jeho zvýšená rychlost (mechanické, tlakové proudění). U citlivých osob vyvolá pocit diskomfortu (průvanu) i termické proudění s rychlostí nad $0,15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. V interiérech se rychlost proudění vzduchu pohybuje od $0,1$ do $0,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, přičemž proudění do $0,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ se nazývá nízkým, s prakticky klidným vzduchem.

Teplé období roku	$0,16\text{--}0,25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
Chladné období roku	$0,13\text{--}0,20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

▲ **Tabulka 15** ▲ Rychlost proudění vzduchu v bytových místnostech dle vyhlášky č. 6/2003 Sb.