



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

DŘEVO A VNITŘNÍ PROSTŘEDÍ STAVEB

TIMBER AND INTERNAL ENVIRONMENT OF BUILDINGS

DISERTAČNÍ PRÁCE
DOCTORAL THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ING. STANISLAV BUCHTA

ŠKOLITEL
SUPERVISOR

DOC. ING. JIŘÍ HIRŠ, CSc.

BRNO 2013

ABSTRAKT

Disertační práce se zabývá vnitřním prostředím ve stavbách na konstrukční bázi dřeva. V současné době dochází při navrhování a provádění dřevostaveb ke snaze navrhovat a provádět tyto stavby jako stavby s nízkou potřebou energií na jejich provoz. Je snaha dosáhnout u těchto staveb co nejnižších tepelných ztrát snížením součinitele prostupu tepla obvodových konstrukcí, a snížením či eliminací jejich průvzdušnosti. Ne vždy jsou však zajištěny základní stavebně-technické požadavky kladené na tyto stavby, a ne vždy je také zabezpečena hygiena a ochrana zdraví uživatelů těchto staveb. Zvyšující se relativní vlhkost vzduchu vnitřního prostředí má negativní vliv na zvýšení vlhkosti dřeva a tepelných izolací v konstrukcích a takto navržené a realizované stavby jsou potom vystaveny zvýšenému riziku napadení plísněmi. Ty mohou být příčinou různých zdravotních obtíží od bolesti hlavy, projevy akutního respiračního onemocnění po celkovou únavu a poruchy koncentrace. V rámci disertační práce byly pro experimentální ověřování vnitřního mikroklimatu vybrány 4 typové RD-dřevostavby střední velikosti, ve kterých bylo v letech 2010 a 2011 prováděno měření teploty a vlhkosti, včetně subjektivního hodnocení kvality vnitřního prostředí dřevostaveb uživateli staveb. Byl vytvořen matematicko-fyzikální model dřevostavby referenčního objektu RD-dřevostavby v počítačovém programu BSim se zaměřením na možnosti ovlivnění tepelně vlhkostního mikroklimatu vnitřního prostředí dřevostaveb a také byly nastaveny různé okrajové podmínky a simulovány stacionární i nestacionární fyzikální děje. V rámci disertační práce bylo také sestaveno doporučení kritérií pro návrh a zabezpečení optimální pohody, při návrhu dřevostavby, pro uživatele.

KLÍČOVÁ SLOVA

dřevostavba
vnitřní prostředí budov
tepelně vlhkostní mikroklima

ABSTRACT

The present doctoral thesis engages in an internal environment of wooden buildings. Currently, the specialists endeavour to design and realize this type of buildings as low-energy consuming. In an effort, they minimize the thermal losses by reduction of heat transfer coefficient of external walls and reduction or elimination of their air permeability. Not always structural and technical requirements of this kind of buildings are satisfied and also a sanitary and health protection is not fully sustained. Increase in a relative air humidity of internal environment has a negative impact on moisture in wood and heat insulation in the structure. Then the buildings are exposed to the increased risk of mold infestation. This can cause various health problems such as headache, respiratory diseases, general fatigue or impaired concentration. For the purpose of experimental verification of the internal environment, four wooden houses of medium size were observed in 2010 and 2011. The internal temperature and humidity as well as subjective feelings of the household members were monitored there. For the simulation of the real wooden construction, an application BSim was used. Different states as well as stationary and nonstationary physical processes were simulated by the boundary conditions adjustment. Also the criteria for designing and optimization of living comfort of household members were recommended in the thesis.

KEYWORDS

wood Structural Design
internal environment of buildings
thermal-humidity microclimate

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

BUCHTA, Stanislav. *Dřevo a vnitřní prostředí staveb*. Brno, 2013. 105 s., 10 s. příl. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technických zařízení budov. Vedoucí práce doc. Ing. Jiří Hirš, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem disertační práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 1.7.2013

.....
Ing. Stanislav Buchta
autor

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych touto cestou poděkoval doc. Ing. Jiřímu Hiršovi, CSc. za jeho obětavé vedení v průběhu celého doktorského studia, a podnětné odborné náměty a připomínky během zpracování disertační práce.

OBSAH

1 ÚVOD.....	- 9 -
2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU PROBLEMATIKY	- 10 -
2.1 Význam dřeva jako stavebního materiálu	- 10 -
2.2 Mikroklimatické podmínky v interiéru budov	- 11 -
2.3 Faktory ovlivňující vnitřní prostředí obytných budov.....	- 12 -
2.4 Vliv zvýšené vlhkosti v dřevostavbách na vznik plísní.....	- 15 -
2.5 Platné předpisy v oblasti kvality vnitřního prostředí budov.....	- 17 -
2.5.1 Tepelně-vlhkostní složka prostředí obytných budov.....	- 17 -
2.5.2 Oděrová složka prostředí obytných budov	- 23 -
2.6 Metody hodnocení vnitřního prostředí budov	- 26 -
2.6.1 Fyziologické základy tepelných procesů v lidském organismu	- 26 -
2.6.2 Optimální teplotní podmínky vnitřního prostředí.....	- 33 -
2.6.3 Ukazatel WBGT.....	- 40 -
2.6.4 Tepelná pohoda ve světle indexů PMV a PPD.....	- 41 -
2.6.5 Předpokládaný střední stupeň tepelné pohody.....	- 42 -
2.6.6 Předpokládané množství nespokojených osob.....	- 45 -
2.6.7 Výsledná teplota jako činitel kvality mikroklimatu	- 50 -
3 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE.....	- 55 -
3.1 Vytvoření výpočetního modelu dřevostavby.....	- 55 -
3.2 Využití modelu k řešení kvality vnitřního prostředí dřevostaveb	- 56 -
3.3 Experimentální ověření a subjektivní hodnocení	- 57 -
3.4 Stanovení kritérií pro tvorbu optimálního TVM	- 58 -
4 METODY ŘEŠENÍ	- 65 -
4.1 TEORETICKÉ ŘEŠENÍ	- 65 -
4.1.1 Modelování pomocí počítačového software	- 65 -
4.1.2 Popis objektu a referenční model	- 66 -
4.1.3 Okrajové podmínky simulace	- 68 -
4.2 EXPERIMENTÁLNÍ ŘEŠENÍ	- 72 -
4.2.1 Měření teploty a vlhkosti ve vybraných dřevostavbách.....	- 72 -
4.2.2 Individuální hodnocení.....	- 77 -
5 VÝSLEDKY DISERTAČNÍ PRÁCE	- 78 -
5.1 Teoretické řešení – RD.....	- 78 -
5.1.1 Sledované parametry.....	- 78 -
5.1.2 Výsledky modelování	- 79 -
5.2 experimentální řešení – referenční RD.....	- 85 -
5.2.1 Porovnání simulovaných a naměřených hodnot.....	- 85 -

5.2.2	<i>Měření koncentrace CO₂</i>	- 88 -
5.2.3	<i>Vyhodnocení simulace vybraných parametrů vnitřního prostředí v RD1.</i> -	89 -
5.2.4	<i>Hodnocení bydlení uživateli RD</i>	- 94 -
6	ZÁVĚR DISERTAČNÍ PRÁCE	- 95 -
6.1	Vytvoření modelu dřevostavby	- 95 -
6.2	Využití modelu k řešení kvality vnitřního prostředí dřevostaveb	- 95 -
6.3	Experimentální ověření modelového řešení	- 96 -
6.4	Stanovení kritérií pro tvorbu optimálního TVM v dřevostavbách	- 96 -
7	VÝZNAM PRÁCE PRO PRAXI	- 97 -
8	MOŽNOSTI DALŠÍHO VÝZKUMU	- 97 -
9	LITERATURA	- 98 -
	SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK	- 100 -
	SEZNAM ZKRATEK	- 101 -
	SEZNAM TABULEK	- 102 -
	SEZNAM OBRÁZKŮ	- 103 -

1 ÚVOD

V současné době je více než zřejmé, že další rozvoj stavebnictví nebude možný bez stavebních technologií šetřících energii a životní prostředí. Materiál, který nabízí celou řadu vynikajících stavebně-technických vlastností a současně je jedinečnou obnovitelnou surovinou, je dřevo. Dřevo je přírodní stavební materiál, který člověku sloužil při výstavbě obydlí a sídel po celou dobu vývoje lidstva a je díky svým tepelně technickým vlastnostem, jednoduchosti opracování a obnovitelnosti, stále více využívaným materiálem. Surovinové zdroje pro výrobu betonu i oceli jsou vyčerpitelné, jejich výrobní náklady budou stále stoupat, a v neposlední řadě, jde také o nesnadno recyklovatelné materiály. Dřevo je naopak velmi ekologický materiál. Při jeho zpracování nevzniká nevyužitelný odpad, na rozdíl od betonu a oceli ho lze zpracovávat s minimálními nároky na energii. Důkazem oblíbenosti dřeva jako stavebního materiálu je skutečnost, že si udrželo svoje postavení mezi stavebními materiály. Se dřevem se po celá staletí setkáváme ve formě nosných konstrukcí (stropních průvlaků, střešních prvků, sloupů, schodišť, atd.), konstrukčních záklopů, nosných a nášlapných vrstev podlah, vnitřních i vnějších obkladů, a v neposlední řadě jako vnitřní vybavení obytných prostorů. Na dřevě je také oceňován jeho přirozený vzhled a budovy z něj dokáží vyvolávat příjemný a uklidňující dojem. Dřevo na člověka působí pozitivně, a jako jediný stavební materiál, uvolňuje záporné ionty, což přispívá ke zdravému mikroklimatu v prostorách obytných budov. Záporně nabitě kyslíkové ionty působí příznivě na naše zdraví. Podporují tvorbu enzymů ovlivňujících pružnost dýchacích cest (snižují tendenci k astmatickým záchvatům), příznivě působí na neurotiky a lidi trpící poruchami spánku, v neposlední řadě působí příznivě na dýchací ústrojí a urychlují samočištění plic. Bohužel většina moderních prostředí, budovy, kanceláře i byty, záporně nabitě ionty rychle ničí a to má celou řadu negativních dopadů na naše zdraví. Vdechováním se kladné ionty dostanou do krve a do organismu, kde mohou vyvolávat nepříznivé reakce, jako snížení kapacity plic a schopnost těla absorbovat kyslík. Dalšími projevy negativního působení kladných iontů je stahování hladkého svalstva, což může vyvolat migrénu, alergické reakce, vznětlivost, nespavost, bolesti v krku, průduškový kašel, nevolnost či břišní křeče.

U nekomplexně řešených staveb bez dostatečné výměny vzduchu dochází k nadměrnému hromadění oxidů uhlíku a dalších škodlivých plynů v obytném prostředí. Dochází také k nadměrnému hromadění vodní páry v interiéru. Takto navržené a realizované stavby jsou potom vystaveny zvýšenému riziku napadení plísněmi (mikromycetami) a houbami. Nevhodné mikrobionální mikroklima v obytných objektech je typickým znakem syndromu nemocných budov SBS. I když většina plísní zdravým lidem neublíží, tak určité druhy plísní mohou produkovat toxiny nazývané mykotoxiny. Cílovými orgány mykotoxinů jsou především buňky jater, ledvin, plic a nervů, endokrinních žláz a buňky imunitního systému. Obyvatelé takto nevhodně navržených staveb trpí nepříliš specifickými symptomy, jakými jsou například dýchací potíže, bolesti hlavy, pálení a slzení očí, pálení v nose, krku, kašel, horečky a projevy akutního respiračního onemocnění, únava, úzkost a poruchou koncentrace.

2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU PROBLEMATIKY

2.1 VÝZNAM DŘEVA JAKO STAVEBNÍHO MATERIÁLU

Dřevo je přírodní stavební materiál, který nabízí celou řadu vynikajících stavebně-technických vlastností a je současně jedinečnou obnovitelnou surovinou. Dřevo je také velmi ekologický materiál, protože při jeho zpracování nevzniká žádný nevyužitelný odpad, a lze ho zpracovávat s minimálními nároky na energii. Je tedy skutečně mnoho objektivních důvodů pro to, aby dřevo začalo být více využíváno ve stavebnictví. Jsou to zejména tyto důvody:

- pro výrobu dřeva a materiálů na bázi dřeva je všeobecně zapotřebí málo energie,
- používání dřeva napomůže zachovat pro budoucnost zbývající zdroje vyčerpatelných surovin.
- dřevo je recyklovatelné, nebo může být použito jako zdroj energie, který působí minimální znečištění ovzduší,
- jsou vyvíjeny stále progresivnější technologie třídění a zpracování dřeva, provádění spojují prvků ze dřeva a materiálů na bázi dřeva a nové postupy pro navrhování dřevěných konstrukcí,
- dřevo může spolupůsobit jak s ocelí, tak i s betonem a spoluvytvářet tak hospodárné smíšené konstrukce,
- ačkoliv dřevo je zápalné a hořlavé, jeho chování při požáru je předvídatelné. Větší dřevěné průřezy mají vysokou požární odolnost.

S ohledem na tyto objektivní důvody pro výraznější použití dřeva jako optimálního stavebního materiálu, dochází koncem druhé poloviny minulého století a začátkem tohoto století ve stavebnictví k výraznému posunu v navrhování a provádění staveb na dřevěné materiálové bázi. Systém masové výstavby z materiálů na bázi dřeva se rozvinul na území Severní Ameriky. Rozvinutí této výstavby bylo umožněno strojním opracováním dřeva a možností sériové průmyslové výroby hřebíků. Hřebíky nahradily dříve používané pracné tesařské spoje. Výstavba lehkého dřevěného skeletu nebyla nijak výrazně závislá na modulových rozměrech. Bylo, a v podstatě stále je, používáno jen několik typů základních profilů řeziva, ze kterých je sestavena celá nosná kostra domu. Prvky lehkého dřevěného skeletu mohou být vyrobeny předem v odborných výrobnách, se zárukou jakosti a přesnosti výroby, a následně potom smontovány přímo na stavbě. Stejný systém vytvoří konstrukci nezatepleného opláštěného přístřešku i moderního nízkoenergetického domu. Pro tyto vlastnosti je lehký dřevěný skelet (LDS) v současné stavební praxi v oblasti dřevěného stavění používán nejčastěji.

V současné době výstavba domů s použitím dřeva (dřevostavby) zcela dominuje v bytové výstavbě v Severní Americe (bytová výstavba s použitím dřeva v USA cca 65 % a v

Kanadě dokonce cca 80 %). Důvodem je bezesporu tradice této výstavby v oblasti a masivní surovinové zdroje obou států. USA a Kanada patří k územím s velkým výskytem jehličnatých lesů, podobně jako např. Skandinávie. Proto také ve Finsku a Norsku tvoří dřevostavby přes 60 %, bytové výstavby. A dále například v Německu je to 7 % (z toho v Bavorsku 70 %), v Rakousku 10 %, Švýcarsku 10 %, Velké Británii - Anglii, Walesu 15 %, Skotsku 50 % (přitom na britských ostrovech jsou malé vlastní zdroje dřeva). Jenom pro srovnání, u nás představují zhruba 2 až 3 % bytové výstavby a přitom mezi evropskými státy zaujímáme 12. místo v lesnatosti, v zásobě dřeva na 1 hektar jsme na 4. místě a v ročním přírůstku na 1 ha na 6. místě. Zejména poslední dva údaje dokumentují, že stav lesů v ČR není zdaleka takový, jak je bohužel často neodborně prezentován. Běžné roční přírůstky dřeva jsou 18 mil. m³ a těžba v rozmezí 13 až 14 mil. m³. Porovnáním těžby a přírůstku zjistíme, že přírůstkové možnosti byly v minulých letech v ČR využity jen cca ze 75 %. Zajímavým se také jeví údaj, že roční těžba dřeva na obyvatele je v ČR a v USA přibližně srovnatelná. Surovinový potenciál pro výraznější využití materiálů na bázi dřeva, především u bytové výstavby, České republiky tedy nechybí.

Vývoj ve stavebnictví se orientuje na zvyšování tepelného odporu konstrukcí obvodového pláště, respektive snižování jeho součinitele prostupu tepla a to především zvyšováním tloušťky tepelně izolační vrstvy. Dochází také k maximálnímu omezování tepelných ztrát průvzdušností konstrukcí a jejich spojů. Zatímco u silikátových materiálůvých bází prakticky zůstává část masivní tepelně akumulární a nosné vrstvy obvodových stěn nezměněna a zvyšuje se pouze tloušťka dodatečné tepelně izolační vrstvy, může být snižování součinitele prostupu tepla u obvodových stěn s nosnou dřevěnou rámovou konstrukcí řešeno různými způsoby a na dosažení požadovaných parametrů se podílí obvykle více funkčních vrstev této konstrukce. Je snaha dosáhnout u staveb ze dřeva co nejnižších tepelných ztrát snižováním součinitele prostupu tepla obvodových konstrukcí a snižováním či eliminací jejich průvzdušnosti.

2.2 MIKROKLIMATICKÉ PODMÍNKY V INTERIÉRU BUDOV

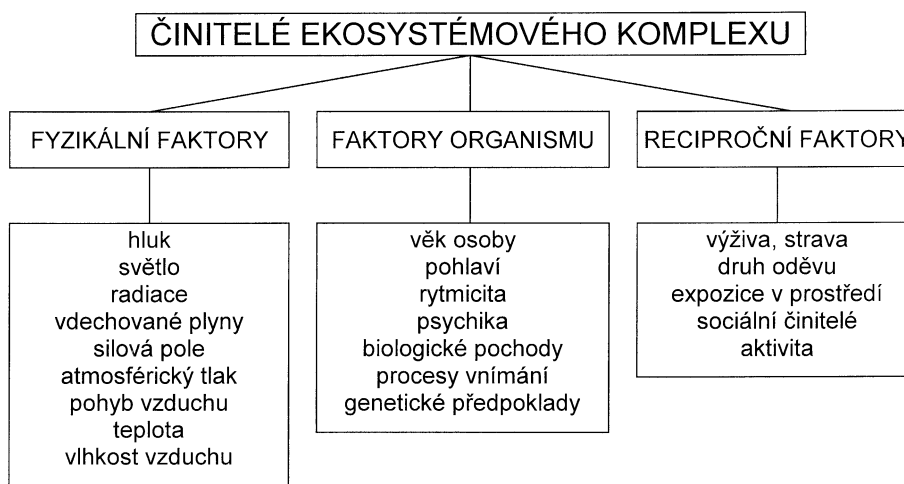
Na rozdíl od mnoha činitelů, se kterými se člověk na Zemi setkává a kterým se ve svém historickém vývoji přizpůsobil, patří chlad a zima mezi ty činitele, na které si nakonec biologicky nezvykl. Nepřizpůsobuje vnějším podmínkám sebe sama, ale naopak upravuje prostředí, aby mohl lépe žít a v podstatě jako živočišný druh i přežít. Jedná se o tři základní principy, kterými jsou:

- využívání ohně, tepelných zdrojů a paliv,
- budování příbytků,
- ochrana před chladem pomocí oděvů.

V hlubokém dávnověku učinili naši předkové jeden z největších vynálezů všech dob - objevili polyfunkční potenciál ukryvaný v ohni. Tento výdobytek se snažili chránit před

nepohodou. Nejprve ve volné přírodě v nalezených kavernách, posléze ve zbudovaných primitivních příbytcích. Pozdější a dokonalejší objekty je již možno považovat za tvorbu zvláštního druhu termostatů, tj. zařízení pro udržování stálé teploty prostředí. K těmto principům přistupuje i individuální ochrana před působícím chladem. Lidé se začali odívat - nejdříve kožešinami, později tkaninami. Uplatnění všech těchto principů je i v současnosti aktuálním tématem.

Člověk je v prostředí, ve kterém se pohybuje, vystaven působení celé řady činitelů, jež jsou složkami ekosystémového komplexu. Jejich struktura je znázorněna na Obr. 1.



Obr. 1 Činitelé ekosystémového komplexu působící na člověka

Aby člověk nebyl v interiérech budov nucen přistupovat k některým z termoregulačních stupňů, musí se v nich vytvořit takové vnitřní prostředí, které se v technické terminologii nazývá jako tepelná pohoda. Tento subjektivně příjemný stav nastává tehdy, když okolní prostředí umožňuje udržení stálé teploty těla v úrovni blízké 35°C až 37 °C bez jakýchkoliv mimořádných nároků na termoregulaci. To znamená, že člověku není ani chladno, ani příliš teplo - cítí se příjemně.

2.3 FAKTORY OVLIVŇJÍCÍ VNITŘNÍ PROSTŘEDÍ OBYTNÝCH BUDOV

V současnosti dochází ke snaze více navrhovat a provádět stavby na dřevěné materiálové bázi a to i jako stavby nízkoenergetické. Řada projektantů a dodavatelů staveb si v poslední době z nízkoenergetických staveb vytvořila dokonce jakýsi reklamní slogan, aniž by mnohdy tušili, co projekce a realizace těchto staveb obnáší. Navrhování a provádění nízkoenergetických, případně tzv. pasivních staveb, má ovšem svá specifika. Za tzv. pasivní stavby se označují stavby, u nichž roční spotřeba energie je nižší než patnáct kilowat na metr čtvereční podlahové plochy. Tyto stavby jsou samozřejmě náročné jak na komplexní detailní zpracování ve fázi projektové přípravy, tak je stejně důležitá kvalita provedení. Nejedná se

v žádném případě o stavby, u nichž je pouze, bez dostatečné znalosti problematiky, aplikována extrémní tloušťka tepelných izolací a maximálně sníženy tepelné ztráty větráním. Nesmí být dotčeny základní stavebně-technické požadavky kladené na tyto stavby, a především musí být zajištěna hygiena a ochrana zdraví uživatelů těchto staveb. Nesmí docházet k nadměrnému hromadění vodní páry a škodlivých plynů v interiéru. Odborníci na hygienu upozorňují na syndrom nemoci z budov (SBS), o kterém se v odborných stavebních a zdravotnických kruzích již delší dobu diskutuje. Jde o problém, který se vyskytuje především v objektech realizovaných v posledním období, zejména s obytnou a administrativní funkcí. Po několikaletém systematickém studiu tohoto problému se došlo k řadě příčinných souvislostí. Mezi jinými byly shledány jako zásadně důležité u "nemocných" budov dvě příčiny. Hermetické oddělení vnitřního a vnějšího prostředí budovy a dále, byť v menší míře, i použití "nezdravých" materiálů. Efekt vzduchově zatěsněného pláště se někdy objevuje i u staveb, kdy se jejich tvůrci snaží vytvořit objekty mimořádně energeticky úsporné. I v těchto případech vede extrémní tloušťka tepelných izolací z nevhodně zvolených materiálů k syndromu SBS. Pozitivní reakcí na výše uvedený syndrom je v západní Evropě prosazovaná koncepce tzv. difúzně otevřených fasád. Difúzně otevřená fasáda vlastně znamená takovou konstrukci obvodového pláště, která především umožňuje šíření vodních par mechanismem difúze. Jde tedy o tvorbu obvodových pláštů, které neobsahují žádné parotěsné zábrany. Volný pohyb páry konstrukcí obvodového pláště potom umožňuje ono "dýchání" budovy. V současnosti při instalaci velmi těsných oken, která jsou při řešení nízkoenergetických staveb ze dřeva používána, dochází ke značnému snížení infiltrace vzduchu. Proto v mnohých obytných prostorách není dodržena požadovaná intenzita výměny vzduchu, přepočítaná z minimálního množství potřebného čerstvého vzduchu obvykle mezi hodnotami $n_N = 0,3 \text{ h}^{-1}$ až $0,6 \text{ h}^{-1}$ dle [12]. Při provozování těchto prostor dochází při různých činnostech "k nadprodukcí" vodní páry, čímž se zvyšuje vlhkost a následně relativní vlhkost vnitřního vzduchu v prostředí. Například člověk produkuje při různých tělesných aktivitách od $30\text{-}300 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$ vodní páry, při provádění hygieny v koupelně od $700\text{-}2600 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$ vodní páry, při vaření, příp. sušení prádla od $100\text{-}500 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$ vodní páry viz Tab. 2 dle [23]. Z hlediska hodnocení změny relativní vlhkosti vzduchu při různé vlhkostní zátěži ($200 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$ a $400 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$) byly provedeny analýzy, kde intenzita výměny vzduchu korelovala s požadovanou hodnotou. Z průběhu hodnot bylo možno určit, že při intenzitě výměny vzduchu $n_N \approx 0,5 \text{ h}^{-1}$ ($VV \approx 25 \div 30 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$), se relativní vlhkost vzduchu pohybuje v přijatelných hranicích v rozmezí $\varphi_i \approx 35 \div 55 \%$, i když byla místnost zatěžována produkcí vodních par mezi 200 až $400 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$. Jakmile ale intenzita výměny vzduchu klesla při této vlhkostní zátěži na $n_N = 0,2 \text{ h}^{-1}$, relativní vlhkost vzduchu stoupla na $\varphi \approx 80 \%$. Zvyšující se relativní vlhkost vnitřního prostředí má zcela evidentně negativní vliv na zvýšení vlhkosti dřeva a tepelných izolací v konstrukcích.

Zvyšováním vlhkosti dřeva a tepelně izolačních materiálů pak především v zimním období klesá jejich tepelně izolační schopnost. Takto navržené a realizované stavby ze dřeva jsou potom vystaveny zvýšenému riziku napadení plísněmi (mikromycetami) a houbami. Další důležitou podmínkou pro bezpečnou a spolehlivou funkci prakticky všech styků konstrukcí je nutné zabezpečit, aby povrchové teploty v místě příslušného styku či koutu byly vyšší než je hodnota rosného bodu. Ale zejména u dřevostaveb je potřeba dbát na to, aby minimální povrchová teplota byla bezpečně mimo riziko vzniku plísní (mikromycet). Pro

zajištění tepelné pohody uživatelů těchto staveb je nutné, aby se teplota a vlhkost vnitřního vzduchu, parametry, které patří k nejdůležitějším složkám zajišťujícím kvalitní vnitřní prostředí z hlediska zdraví a spokojenosti lidí, pohybovaly v dovolených mezích.

Teplota a vlhkost patří k nejdůležitějším složkám pro zajištění kvalitního vnitřního prostředí z hlediska zdraví a spokojenosti lidí, ale i ve vztahu k životnosti stavebních materiálů, budov, technologií, atd. Pro dosažení pocitu teplotního komfortu pro vytápění obecně platí, že $\theta_i + \theta_s > 38^\circ\text{C}$, kde θ_i je teplota vzduchu v interiéru a θ_s je průměrná teplota stěn v místnosti.

Tab. 1 Přehled hodnot faktorů ovlivňujících vnitřní prostředí obytných budov aplikovaných v praxi

Parametry	Topné období	Letní období
operativní (výsledná) teplota vzduchu θ_0 [°C]	18 - 24	20 - 28
rychlost proudění vzduchu w_a [m.s ⁻¹]	≤ 0,1	0,1 - 0,2
rozdíl teplot ve výši 1,7 a 0,2m [°C]	≤ 3	≤ 3
relativní vlhkost vzduchu rh_i [%]	40 - 60	40 - 60
teplota podlahy θ_p [°C]	19 - 28	-

U dobře zateplených domů jsou díky kvalitní izolaci obvodových stěn povrchové teploty stěn prakticky shodné s teplotou vzduchu. Rozdíl teplot v různé výšce eliminuje také větrací systém, který pomalu provětrává místnosti. Při použití kvalitního zasklení pak není nutné ani zbytečně zvyšovat teplotu vzduchu nad 20°C.

Zajistit optimální teplotu budov nebývá složité. O mnoho větší problémy se však vyskytují při dosahování vyhovující relativní vlhkosti. Hygienicky doporučovaná vyšší relativní vlhkost vzduchu v rozsahu 40 až 60 %, zabraňující vysychání sliznic, totiž může, pokud je tato vlhkost v prostředí s malou intenzitou výměny vzduchu, vést až ke vzniku plísní s nebezpečnými zárodky patogenních spor. Důsledkem je pak zvýšená nemocnost obyvatel, časté nevolnosti, alergie, záněty průdušek, dýchací potíže, bolesti kloubů a nervové potíže. Současně se, při vyšších relativních vlhkostech vzduchu nad 60 %, zvyšuje až na dvojnásobek procento přežívajících mikroorganismů (např. Staphylococcus, Streptococcus) ve srovnání s jejich výskytem při $rh_i = 30$ až 40 %. Při poklesu relativní vlhkosti pod 50% se naopak výrazně snižuje počet roztočů v textiliích a následných alergií a astmatických potíží. Výrazně suchý vzduch, s relativní vlhkostí nižší než 30%, zase způsobuje nepříjemné vysychání sliznic dýchacích cest, což je spojeno také se zvýšeným rizikem nemocí z nachlazení. Lidé si pak často stěžují na suchou a svědicí pokožku. Zasažena mohou být i problematická místa jako jsou oči, ústa a hltan. Optimální hodnoty relativní vlhkosti vzduchu mezi 35 - 60%, přispívají k nezávadnému vnitřnímu prostředí a pocitu pohody u uživatelů. Mezi nejdůležitější faktory ovlivňující relativní vlhkost vzduchu tedy patří vnitřní produkce

vodních par a výměna vzduchu – intenzita větrání. Hlavní zdroje vlhkosti v budovách jsou uvedeny v Tab. 2.

Tab. 2 Hlavní zdroje vlhkosti v obytných budovách viz. str. 28 dle [23]

Zdroj vlhkosti	Produkce vodní páry
metabolismus člověka	30 – 300 g.h ⁻¹ .os ⁻¹ (podle druhu činnosti)
koupelny	700 – 2600 g.h ⁻¹
kuchyně	600 – 1500 g.h ⁻¹
sušení prádla	100 – 500 g.h ⁻¹
pokojevé rostliny – 1 ks	5 – 20 g.h ⁻¹

Jak je patrné z Tab. 2, vodní pára v obytných budovách vzniká při mnoha činnostech. Za hlavní zdroje vlhkosti v bytech lze považovat respiraci (dýchání živých organismů - lidí, zvířat), odpařování z rostlin, odpařování z vlhkých povrchů (mytí, vytírání, apod.), pára vznikající při lidské činnosti (vaření, sprchování, apod.), ale také třeba chemické procesy odehrávající se v bytě, především hoření zemního plynu při vaření. Relativní vlhkost vzduchu závisí na jeho teplotě a na množství vodní páry v něm obsažené. Pokud je vzduch suchý, tak i při velmi nízkých teplotách nedochází ke kondenzaci vodní páry. Ale i vzduch s velkou relativní vlhkostí a nízkou teplotou má velmi malý obsah vodní páry. U suchého vzduchu tedy nehrozí riziko kondenzace vodní páry, a tím je výrazně omezena možnost vzniku plísní na povrchu konstrukcí, ale také, že vodní pára se snaží rozdílem tlaků vodních par mezi dvěma prostory protlačit skrz konstrukci.

Kromě vlhkosti vyprodukované vnitřními zdroji se může vlhkost do interiéru dostat vztlínáním z podlahy stavby nebo zatékáním srážkové vody.

Kvalitu vnitřního prostředí lze hodnotit dvěma způsoby: subjektivně – dle vlastních pocitů, a objektivně – dle provedených měření.

2.4 VLIV ZVÝŠENÉ VLHKOSTI V DŘEVOSTAVBÁCH NA VZNIK PLÍSNÍ

Skutečná relativní vlhkost vnitřního vzduchu v obytném prostředí v zimním období při užívání ústředního vytápění se obvykle pohybuje pod 40 %. Pokud si však uživatel bytu pořídí pro vytápění bytu klimatizační jednotku nebo si dlouhodobě zajistí výrazně vyšší relativní vlhkost vnitřního vzduchu, např. zvlhčovačem, může se stav konstrukcí na bázi dřeva, zabudovaných v takto projektovaných stavbách, výrazně změnit. Pokud se kondenzační zóna vyskytuje například v dodatečném zateplení obvodové stěny, tj. ve vrstvě, která je mimo oblast dřevěných konstrukčních prvků obvodové stěny, je možné ji v mezích

normy připustit. Jestliže se však kondenzační zóna vyskytuje v části, kterou prochází prvky nosné dřevěné konstrukce, je realizace takovéto konstrukce, byť i s přípustným množstvím zkondenzované vodní páry, diskutabilní. Zde je nutno si uvědomit, že kondenzační zóna probíhá obvykle mezi vrstvami s teplotou 0 až 10 °C. Pokud bude dřevo v takto navržených konstrukcích po určitou dobu vystaveno prostředí s uvedenými teplotami a relativní vlhkostí okolního prostředí 100 %, potom bude takto navržená dřevěná konstrukce vystavena značnému navlhání prakticky nejen po celé zimní období, ale i v přechodném klimatickém období.



Obr. 2 Rovnovážná vlhkost dřeva v závislosti na teplotě a vlhkosti okolního vzduchu podle [24]

Na Obr. 2 je typická závislost rovnovážné vlhkosti materiálu na teplotě a relativní vlhkosti okolního vzduchu. Z nomogramu rovnovážné vlhkosti dřeva je patrné, že rovnovážná vlhkost dřeva při teplotě 0 až 10 °C a relativní vlhkosti vzduchu 100 % překračuje hodnotu 20 % obsahu vlhkosti a blíží se stavu nasycení vláken. Obsah vlhkosti, při kterém jsou buněčné stěny dřevěného materiálu nasyceny vodou, avšak do buněčných dutin ještě nevstupuje volná voda, se označuje jako bod nasycení vláken. Bod nasycení vláken je u většiny druhů dřeva mezi 25 % - 35 %, pro většinu praktických aplikací se uvažuje, jako vhodná střední hodnota, 28 %. Protože dřevo je hyroskopické, vyměňuje si nepřetržitě vlhkost s okolním prostředím. Pro každou kombinaci teploty a vlhkosti okolního vzduchu existuje příslušná vlhkost dřeva, při níž difúze vlhkosti vstupující do dřeva je v rovnováze s difúzí vlhkosti vystupující ze dřeva. Tato vlhkost je označována jako rovnovážná vlhkost. Dřevo se však zřídka nachází ve stavu rovnovážné vlhkosti, protože klimatické poměry okolního prostředí se stále mění. Rovnovážná vlhkost stavebních materiálů závisí na relativní vlhkosti okolního vzduchu. Při sorpci vlhkosti v konstrukčních materiálech se uvolňuje teplo. Obráceně při desorpci (vysychání) se teplo spotřebovává. Ukazuje se, že pro stavby s výrazně vyšší úrovní tepelné ochrany, může být vliv vlhkosti na energetickou bilanci významný.

To znamená, že ve výše uvedeném případě je dřevo v konstrukci vystaveno značnému riziku napadení plísněmi (mikromycetami) a dřevokaznými houbami (napadení houbami předpokládáme od 20% vlhkosti dřeva), a to po poměrně velké části roku. Mikroskopické vláknité houby neboli plísně (mikromycety) jsou všudypřítomné. Většina mikromycet tvoří rozvětvená vlákna v ploše 3–10 mikro nazývané hyfy. Spojením hyf vzniká mycelium nebo pseudomycelium. K růstu vyžadují elementární kyslík a karbohydráty. Optimální teploty pro růst mikromycet jsou od 18° do 32°C, ačkoliv mnohé přežívají i pod bodem mrazu. I když většina plísní zdravým lidem neublíží, určité druhy plísní mohou produkovat toxiny nazývané mykotoxiny. Cílovými orgány mykotoxinů jsou především buňky jater, ledvin, plic a nervů, endokrinních žláz a buňky imunitního systému. Mikrobionální mikroklima je jednou ze složek vnitřního prostředí, je tvořené mikroorganismy, které se nacházejí ve vzduchu a jsou to, po bakteriích a virech, především plísně a jejich spory. Velké množství plísní bývá nacházeno v současných dřevěných domech (dřevostavbách), jsou to např. *Stachybotris*, které tvoří velké množství dráždivých toxinů – trichotecenů, ale také satraxinů, verukarinů, roridinů atd. Spory jsou velmi odolné na vyschnutí, dobře se množí v bytech na sádkartonech a papírových tapetách. *Aureobasidium* bývá nacházeno ve vlhkých bytech jako součást domácího prachu a také v klimatizačních zařízeních. Je běžně v půdě, na ovoci a dřevě. *Trichoderma viridae*, *konigii* - tento rod se častěji vyskytuje v tlejícím dřevě, půdě a obilí i ve vlhkých bytech. Produkuje mykotoxiny Scirpény, které vyvolávají enterotoxikózy.

Pro zajištění trvanlivosti, životnosti a funkční spolehlivosti nových konstrukcí staveb na bázi dřeva, je proto bezpodmínečně nutno posoudit všechny navrhované konstrukce nejdříve z hlediska stavební tepelné techniky, a zejména pak z hlediska možné difúze a kondenzace vodní páry, respektive teplotně vlhkostních poměrů a odpovídající rovnovážné vlhkosti dřeva v nově navrhovaných konstrukcích. Pro zdraví člověka je vhodná relativní vlhkost vzduchu 35 až 60%, ovšem bez spor plísní (mikromycet). Zvyšující se relativní vlhkost vnitřního prostředí má zcela evidentně negativní vliv na zvýšení vlhkosti dřeva a tepelných izolací v konstrukcích. Zvyšováním vlhkosti dřeva a tepelně izolačních materiálů pak právě v zimním období klesá jejich tepelně izolační schopnost. Takto navržené a realizované stavby ze dřeva (dřevostavby), jsou potom vystaveny zvýšenému riziku napadení plísněmi (mikromycetami) a houbami.

2.5 PLATNÉ PŘEDPISY V OBLASTI KVALITY VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ BUDOV

2.5.1 Tepelně-vlhkostní složka prostředí obytných budov

Tepelně-vlhkostní mikroklima je složka prostředí tvořená tepelnými a vlhkostními toky (teplo a vodní pára), které působí na člověka a spoluvytvářejí tak jeho celkový stav. Je nejdůležitější složkou pro zajištění vnitřního prostředí obytných budov, především z hlediska zdraví a spokojenosti lidí, ale i ve vztahu k životnosti stavebních materiálů, budov, výrobních

technologii a podobně. Teplota a vlhkost vzduchu se v budovách úzce vzájemně ovlivňují a podmiňují. Tepelná pohoda je tradičním faktorem hodnocení stavu vnitřního prostředí. Tepelnou pohodu lze charakterizovat jako stav, kdy prostředí odnímá člověku jeho tepelnou produkci v rozmezí jeho termoregulace. Vzhledem k individuálním odchylkám fyziologických funkcí lidí nelze zajistit pocit pohody v místnosti všem lidem. Vždy se vyskytuje přibližně 5 % nespokojených, kteří pociťují tepelnou nepohodu. Činitelé rozhodující o tepelně vlhkostní pohodě prostředí:

1. teplota vzduchu (operativní teplota, efektivní teplota)
2. teplota okolních ploch event. střední radiační teplota
3. rychlost proudění vzduchu v oblasti pobytu člověka
4. vlhkost vzduchu
5. osobní faktory (hodnota metabolismu, tepelně izolační vlastnosti oděvu)
6. doplňkové faktory (pohlaví, postava, podkožní tuk)

Teplota vzduchu θ je teplota interiérového vzduchu bez vlivu sálání z okolních povrchů. Střední radiační teplota θ_r je myšlená rovnoměrná společná teplota všech ploch v prostoru, při níž by byl přenos tepla z těla sáláním stejný, jako ve skutečnosti. Operativní teplota θ_o je definována jako jednotná teplota černého uzavřeného prostoru, ve kterém by tělo sdílelo konvekci i sáláním stejné množství tepla, jako ve skutečném teplotně nesourodém prostředí. Dva prostory se stejnou efektivní teplotou vyvolají stejné reakce organismu, i když tyto prostory mají rozdílnou teplotu i vlhkost vzduchu. Podmínkou je však stejná rychlost proudění vzduchu. Vlhkost vzduchu - nejčastěji je používána relativní vlhkost r_h (%), která udává nasycení vzduchu vodní parou nebo měrná vlhkost x (g.kg^{-1}), což je hmotnostní množství vodní páry v 1 kg suchého vzduchu. Rychlost proudění vzduchu a jeho turbulence ovlivňuje přenos tepla prouděním a odpařování vlhkosti z pokožky. Může však způsobit i pocit průvanu. Hodnota metabolismu (stupeň aktivity) může být ovlivněna jídlem a pitím i úrovní aklimace člověka. Krátkodobé fyziologické přizpůsobení zmíněným podmínkám je dosahováno za 20 až 30 minut. Je však i dlouhodobé přizpůsobení venkovním podmínkám, kdy aklimatizace může trvat až 6 měsíců. Oblečení je jeden z hlavních faktorů ovlivňujících odvod tepla z lidského těla do okolí. Pro účely studia tepelné pohody byla zavedena jednotka clo. 1 clo odpovídá izolační hmotě s tepelným odporem $R = 0,155 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$. 1 clo je izolační hodnota pro běžný pánský oblek s bavlněným spodním prádlem. Celková hodnota clo pro soubor oblečení je 0,82 násobek součtu jednotlivých částí oblečení.

K jednomu z nejpodrobněji zpracovaných předpisů pro tuto oblast kvality vnitřního prostředí budov patří nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci, ze dne 12. 12. 2007, ve znění NV č. 68/2010 Sb., ze dne 22. 2. 2010, ve znění NV č. 93/2012 Sb., ve znění NV 9/2013 Sb., které zpracovává příslušné předpisy Evropských společenství a upravuje bližší hygienické požadavky na pracoviště a pracovní prostředí. Jedná se tedy o předpis, který přímo nestanovuje podmínky kvality vnitřního prostředí obytných budov, ale stanovuje podmínky ochrany zdraví při práci. Tento předpis

ruší nařízení vlády č. 178/2001 Sb., zrušeno 1. 1. 2008, i jeho novelizace pod čísly 523/2002 Sb., ze dne 13. 12. 2002, a nařízení vlády 441/2004 Sb., ze dne 1. 9. 2004.

Tento předpis lze aplikovat na činnosti (práce) prováděné v obytném prostředí. Jsou to činnosti (práce) prováděné nejčastěji vsedě nebo vstoje, občasné spojené s pomalou chůzí po rovné podlaze s přenášením lehkých břemen nebo překonáváním malých odporů (práce v kuchyni, úklidové práce, atd.), tj. průměrný energetický výdej celkový (brutto) se pohybuje přibližně v rozmezí od 0 až 105 W/m^2 a odpovídá třídě práce I, resp. IIa v nařízení vlády č. 68/2010 Sb., ze dne 22. 2. 2010, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví zaměstnanců při práci. Pro tyto třídy práce jsou předepsány přípustné hodnoty tepelně-vlhkostních mikroklimatických podmínek pro celý rok, které lze akceptovat i v obytném prostředí, viz Tab. 1. Naprosto výjimečně by se mohlo jednat o práce s energetickým výdejem celkovým (brutto) více jak 105 W.m^2 , pro úplnost jsou však Tab. 3 a Tab. 4 doplněny i o tyto podmínky.

Celoroční požadavky na mikroklimatické podmínky v pracovním prostředí viz Tab. 3. Základním teplotním kritériem je operativní teplota θ_o ($^{\circ}\text{C}$), která je hodnotou počítanou z výsledné teploty, teploty vzduchu a rychlosti proudění vzduchu pro jednotlivé pracovní činnosti, tj. pro jednotlivé třídy práce charakterizované energetickým výdejem zaměstnance.

Tab. 3 Požadavky na mikroklimatické podmínky na nevenkovním pracovišti s neudržovanou teplotou přirozeně větraném, na němž je k větrání použito kombinované nebo nucené větrání, na pracovišti s udržovanou teplotou jako technologickým požadavkem dle [3].

Třída práce	$M \text{ (W.m}^2\text{)}$	Operativní teplota θ_o ($^{\circ}\text{C}$)		v_a (m.s^{-1})	rh (%)
		Výsledná teplota kulového teploměru θ_g ($^{\circ}\text{C}$)			
		$\theta_{o \text{ min}}$ nebo $\theta_{g \text{ min}}$	$\theta_{o \text{ max}}$ nebo $\theta_{g \text{ max}}$		
I	≤ 80	20	27	0,1 až 0,2	30 až 70
IIa	81 až 105	18	26		
IIb	106 až 130	14	32	0,05 až 0,3	
IIIa	131 až 160	10	30		
IIIb	161 až 200	10	26	0,1 až 0,5	
IVa	201 až 250	10	24	0,1 až 0,5	
IVb	250 až 300	10	20	0,1 až 0,5	
V	301 a více	10	20		

Minimální hodnoty teplot uvedené ve sloupci $\theta_{o,min}$ by neměly být podkračovány z důvodu ohrožení osoby prochlazením. V případě překročení maximálních teplot ve sloupci $\theta_{o,max}$ hrozí přehřátí organismu se všemi důsledky z toho vyplývajícími. Pro informaci jsou dále přehledně uvedeny v Tab. 4 přípustné mikroklimatické podmínky pro jednotlivé druhy práce z hlediska tepelné pohody pro vybrané třídy práce z hlediska nařízení vlády č. 68/2012 Sb.

Tab. 4 Přípustné mikroklimatické podmínky pro jednotlivé druhy práce z hlediska tepelné pohody pro vybrané třídy práce dle [2].

Třída práce	Druh práce			
I	Práce vsedě s minimální celotělovou pohybovou aktivitou, kancelářské a administrativní práce, kontrolní činnost v dozornách a velinech, psaní nástroji, práce s PC, laboratorní práce, sestavování nebo třídění drobných lehkých předmětů			
Průměrný energetický výdej [W/m ²]	Operativní teplota θ_o [°C] Výsledná teplota kulového teploměru θ_g (°C)		v_a [m/s]	rh [%]
	$\theta_{o\ min}$ nebo $\theta_{g\ min}$	$\theta_{o\ max}$ nebo $\theta_{g\ max}$		
Do 80	20	28	0,1 až 0,2	30 až 70
Třída práce	Druh práce			
IIa	Práce převážně vsedě spojená s lehkou manuální prací rukou a paží, řízení osobního vozidla, a některých drážních vozidel, přesouvání lehkých břemen nebo překonávání malých odporů, automatizované strojní opracovávání a montáž malých lehkých dílců, kusová práce nástrojářů a mechaniků, práce pokladní.			
Průměrný energetický výdej [W/m ²]	Operativní teplota θ_o [°C] Výsledná teplota kulového teploměru θ_g (°C)		v_a [m/s]	rh [%]
	$\theta_{o\ min}$ nebo $\theta_{g\ min}$	$\theta_{o\ max}$ nebo $\theta_{g\ max}$		
81 až 105	18	27	0,1 až 0,2	30 až 70
Třída práce	Druh práce			
IIb	Práce spojená s řízením nákladního vozidla, traktoru, autobusu, trolejbusu, tramvaje a některých drážních vozidel a práce řidičů spojená s vykládkou a nakládkou. Převažující práce vstojě s trvalým zapojením obou rukou, paží a nohou - dělnice v potravinářské výrobě, mechanici, prodavači, lakýrníci dělníci v ocelárně, valčíři hutních materiálů, strojní opracování a montáž středně těžkých dílců, práce na ručním lisu., svařování, soustružení, strojové vrtání, tažení nebo tlačení lehkých vozíků, práce vstojě s trvalým zapojením obou rukou, paží a nohou spojená s přenášením břemen do 10 kg.			
Průměrný energetický výdej [W/m ²]	Operativní teplota θ_o [°C] Výsledná teplota kulového teploměru θ_g (°C)		v_a [m/s]	rh [%]
	$\theta_{o\ min}$ nebo $\theta_{g\ min}$	$\theta_{o\ max}$ nebo $\theta_{g\ max}$		
106 až 130	14	26	0,1 až 0,2	30 až 70

Třídy práce jsou stanoveny podle celkového průměrného energetického výdaje (M) a vyjádřené v brutto hodnotách za osmihodinovou směnu.

V obou tabulkách se vychází z různých teplotních kritérií. Pro hodnocení i projektování teplot optimálních a přípustných je základní veličinou operativní teplota θ_o (°C),

pro oblast únosných hodnot pak výsledná teplota kulového teploměru. Protože v mírném tepelném prostředí (bez výrazné složky sálavého tepla při proudění vzduchu do $0,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) odpovídá operativní teplota číselně výsledné teplotě kulového teploměru, je možné pracovat pouze s výslednou teplotou v celém rozsahu teplot vzduchu ve vnitřním prostředí budov.

Pro pobytové prostory, tak, jak byly definované dříve platnou vyhláškou č. 137/1998 Sb., (zrušena 26. 8. 2009), resp. §13, platného zákona č. 258/2000 Sb. (s výjimkou prostor kanceláří, které jsou ve smyslu předchozích předpisů pracovištěm) jsou mikroklimatické podmínky uvedeny ve vyhlášce č. 6/2003 Sb. Jsou zde definované základní pojmy např.:

- mikroklimatické podmínky - podmínky teplotní, vlhkostní a proudění vzduchu ve vnitřním prostředí staveb,
- mikroorganismy - bakterie a plísň (mikroskopické vláknité houby) vyrostlé za podmínek zkoušení stanovených českými technickými normami,
- teplotní podmínky - teplota vzduchu θ_i (°C) a výsledná teplota kulového teploměru θ_g (°C),
- vnitřní průměrná teplota - aritmetický průměr hodnot teploty, zjišťované rovnoměrně po dobu pobytu,
- klimatizace - větrání zajišťující úpravu čistoty, teploty a vlhkosti vzduchu přiváděného do místnosti,
- standardní podmínky - teplota vzduchu $20 \text{ }^\circ\text{C}$ a tlak vzduchu $101,32 \text{ kPa}$.

Provoz v pobytových místnostech se zajišťuje tak, aby byly dodrženy přípustné mikroklimatické podmínky uvedené v příloze č. 1, vyhlášky č. 6/2003 Sb., viz Tab. 5, s výjimkou mimořádně chladných nebo mimořádně teplých dnů. Za mimořádně chladný den se považuje den, kdy nejnižší teplota venkovního vzduchu dosáhla hodnoty nižší než $-15 \text{ }^\circ\text{C}$. Za mimořádně teplý den se považuje den, kdy nejvyšší teplota venkovního vzduchu dosáhla hodnoty vyšší než $30 \text{ }^\circ\text{C}$. V případě mimořádně chladných dnů, při poklesu vnitřní průměrné teploty pod $16 \text{ }^\circ\text{C}$, se provoz pobytových místností zastaví, pokud není možno vnitřní teplotu zvýšit odpovídajícím vytápěním na výslednou teplotu danou přílohou č. 1. V Tab. 5, vyhlášky č. 6/2003 Sb., jsou rozlišeny požadavky pro teplé a chladné období roku, což bývá problematické rozdělení při měření i hodnocení těchto podmínek.

Tab. 5 Požadavky na výslednou teplotu kulového teploměru pro typy pobytových místností podle vyhlášky [5].

Typ pobytové místnosti	Výsledná teplota θ_g (°C)	
	období roku	
	teplé	chladné
Ubytovací zařízení	$24,0 \pm 2,0$	$22,0 \pm 2,0$
Zasedací místnost staveb pro shromažďování většího počtu osob	$24,5 \pm 1,5$	
Haly kulturních a sportovních zařízení		
Učebny v zařízeních pro výchovu a vzdělávání		
Ústavy sociální péče	$24,0 \pm 2,0$	
Zdravotnická zařízení		

Výstaviště	24,5 ± 2,5	22,0 ± 3,0
Stavby pro obchod	23,0 ± 2,0	19,0 ± 3,0

Při relativní vlhkosti vzduchu (pro chladné období nejméně 30%, pro teplé období roku nejvýše 65 %) a rychlosti proudění vzduchu (pro chladné období roku 0,13 - 0,20 m.s⁻¹ a pro teplé období 0,16 - 0,25 m.s⁻¹).

Pokud není typ prostoru uveden, vychází se z požadavku typu prostoru s obdobným charakterem činnosti.

V Tab. 6 jsou definované teploty a množství odváděného vzduchu pro hygienická zařízení u pobytových místností dle [5].

Tab. 6 Teploty a množství odváděného vzduchu pro hygienická zařízení u pobytových místností dle [5]

Místnost	Teplota vzduchu θ , (°C)	Množství odváděného vzduchu za hodinu
Umývárny	22	30 m ³ na 1 umyvadlo
Sprchy	25	35-110 m ³ na 1 sprchu
WC	18	50 m ³ na 1 mísu, 25 m ³ na 1 pisoár

Pro limity mikroorganismů tento předpis uvádí, že je nepřipustný viditelný nárůst plísní na zdech a povrchu pobytových místností. Ve sporných případech se za prokázaný růst plísní na povrchu považuje nález potvrzený odběrem a kultivací na živné půdě provedený v souladu s ČSN ISO 7954 Mikrobiologie. Všeobecné pokyny pro stanovení celkového počtu plísní a kvasinek. Požadavky na kvalitu vnitřního prostředí staveb s výjimkou prostorů vyžadující zvýšené nároky na jeho čistotu se pokládají za splněné, nepřekročí-li koncentrace plísní hodnotu 500 KTJ/m³ vzduchu.

Dalším předpisem, který se zabývá oblastí kvality vnitřního prostředí budov, je technická norma ČSN EN ISO 7730 Ergonomie tepelného prostředí – Analytické stanovení a interpretace tepelného komfortu pomocí výpočtu ukazatelů *PMV* a *PPD* a kritéria místního tepelného komfortu. Jedná se o českou verzi evropské normy, která představuje metody předpovídání celkového tepelného pocitu a stupně diskomfortu (nespokojenost s tepelným prostředím) osob vystavených mírnému tepelnému prostředí. Umožňuje analytické stanovení a interpretaci tepelného komfortu pomocí výpočtu ukazatelů *PMV* (předpovídaného středního tepelného pocitu) a *PPD* (předpovídaného procentuálního podílu nespokojených) i stanovení kritérií místního tepelného komfortu určující environmentální podmínky považované za přijatelné pro celkový tepelný komfort, nebo představující místní diskomfort. I když je norma zpracována zvláště pro pracovní prostředí, je vhodná i pro další druhy prostředí. Z hlediska požadavků tepelného komfortu je prostor rozdělen na 3 kategorie prostředí - A, B, C viz Tab. A1 – Kategorie tepelného prostředí. Kategorie A stanovuje maximální procento nespokojených ve výši 6%, kategorie B stanovuje maximální procento nespokojených ve výši

10% a kategorie C stanovuje maximální procento nespokojených ve výši 15%, pro tepelný stav těla jako celku. Výše uvedená kritéria pro 3 kategorie prostředí mají být uplatněna současně s kritérii místního diskomfortu uvedenými také v Tab. A1. Tepelný pocit člověka převážně závisí na tepelné rovnováze jeho těla jako celku. Tuto rovnováhu ovlivňuje tělesná činnost a oděv i environmentální charakteristiky: teplota vzduchu, střední radiační teplota, rychlost proudění vzduchu a vlhkost vzduchu. Jestliže jsou tyto faktory odhadnuty nebo změřeny, je možné předpovědět tepelný pocit těla jako celku výpočtem předpovědi středního tepelného pocitu, dále jen *PMV*. Předpověď procentuálního podílu nespokojených, dále jen *PPD*, dle této normy, poskytuje informaci o tepelném diskomfortu nebo nespokojenosti s tepelnými podmínkami tím, že předpovídá procentuální podíl lidí, kteří budou v daném prostředí pravděpodobně pociťovat přílišné teplo nebo přílišné chladno. *PPD* je potom možné odvodit z *PMV*. Tepelný diskomfort může být také způsoben nežádoucím místním ochlazováním nebo oteplováním těla. Nejobvyklejšími místními faktory diskomfortu jsou asymetrie radiační teploty (chladné nebo teplé povrchy), průvan (definovaný jako místní ochlazování těla způsobené pohybem vzduchu), vertikální rozdíl teplot vzduchu a chladné nebo teplé podlahy. Nespokojenost může být způsobena diskomfortem z horka nebo chladu pro tělo jako celek. Limity komfortu mohou být v tomto případě vyjádřeny ukazateli *PMV* a *PPD*.

Budeme-li tedy hledat odpověď na otázku jak by mělo vypadat mikroklíma v prostorách bytů a bytových domů, s ohledem na tepelně-vlhkostní složku prostředí, lze přihlídnout k požadavkům pro obdobné činnosti v pracovním nebo pobytovém prostředí, naznačené výše.

2.5.2 Oděrová složka prostředí obytných budov

Oděrové mikroklíma je složka prostředí tvořená oděry - toky oděrových látek v ovzduší, které exponují subjekt a spoluvytváří tak jeho celkový stav. Oděry jsou plynné složky ovzduší vnímané jako pachy (jednak nepříjemné - zápachy, jednak příjemné - vůně). Jsou to anorganické nebo organické látky, většinou produkované člověkem samotným nebo jeho činností, popř. uvolňované ze stavebních konstrukcí a zařizovacích předmětů. Do interiéru budov vstupují oděry jednak z venku, jednak zevnitř - ze vzduchotechnických zařízení, stavebních materiálů, zařizovacích předmětů a hlavně z činnosti člověka. Mimo běžné oděry (kouření, příprava jídel) se v interiéru dnes vyskytují i styreny, formaldehydy a odpary z nátěrů, tedy látky dříve neznámé. V interiéru vzniká při pobytu lidí CO_2 a tělesné pachy - antropotoxiny, které jsou obecně indikátorem kvality vnitřního vzduchu. Oděrová složka tedy determinuje výměnu vzduchu v interiéru obytného prostředí a kritériem pro posuzování úrovně oděrové složky je především koncentrace CO_2 v interiéru. Oxid uhličitý je nejběžnější škodlivinou ovzduší obytných budov. Jeho koncentrace jsou vždy vyšší v interiérech než ve venkovním prostředí. Zdrojem tohoto plynu je především člověk, jeho metabolismus, dýchací a termoregulační pochody. Také spalování pevných paliv je zdrojem oxidu uhličitého a vodní páry. Současně se zvyšující se koncentrací oxidu uhličitého se pak zvyšuje i množství vodní páry v ovzduší a tím i relativní vlhkost vzduchu. Počet osob

přítomných v místnosti, velikost prostoru a nedostatečné větrání jsou hlavní příčinou zvyšování koncentrace oxidu uhličitého.

Jako kritériální a exaktně měřitelná hodnota se všeobecně udává koncentrace Pettenkoferovo kritérium jako 0,10 % CO₂ (Max von Pettenkofer, 1877) a pro odstranění pocitu vydýchaného vzduchu z produkce tělesných oděrů pak dokonce 0,07 % CO₂. Na odstraňování běžných tělesných pachů klasický Pettenkoferův normativ požaduje 25 m³.h⁻¹ na osobu, tato hodnota je stále základní veličinou standardů většiny vyspělých států. Vychází z ní standard ASHRAE. Limity koncentrací CO₂ dle různých zdrojů jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 7 Limity koncentrací CO₂ v obytném prostředí

Limit (ppm)	Hodnota	Zdroj
700	prahová	Teorie vnitřního prostředí, Jokl, 2011
880	optimální velmi příjemná	Teorie vnitřního prostředí, Jokl, 2011
900 ¹	kategorie I	ČSN EN 15251
1000	optimální	Pettenkofer 1858
1000	optimální příjemná	Teorie vnitřního prostředí, Jokl, 2011
1050 ²	kategorie II	ČSN EN 15251
1350 ³	kategorie III	ČSN EN 15251
1500	maximálně přípustná	Vyhláška č. 20/2012 ze dne 9.1. 2012

Pozn. 1 – při uvažování venkovní hodnoty 550 ppm (město), 350ppm pro kategorii I nad venkovní hodnotu ppm.

Pozn. 2 – při uvažování venkovní hodnoty 550 ppm (město), 500ppm pro kategorii II nad venkovní hodnotu ppm.

Pozn. 3 – při uvažování venkovní hodnoty 550 ppm (město), 800ppm pro kategorii II nad venkovní hodnotu ppm.

Jaké jsou základní projevy v případě zvyšování hodnot koncentrace CO₂:

- 1000 – 2000 ppm: máme pocit ospalosti a horšího vzduchu,
- 2000 – 5000 ppm: hůře se koncentrujeme, snižuje se pozornost, bolí hlava,
- více než 5000 ppm: máme pocit nevolnosti a těžkého vzduchu, zvýšený tep,
- 60 000 ppm: upadáme do bezvědomí.

Zásadním způsobem lze kvalitu oděrového mikroklimatu v budovách ovlivnit pouze dostatečným přívodem čerstvého vzduchu.

Požadavky na výměnu vzduchu v prostředí výskytu osob, najdeme v předpisu nařízení vlády č. 361/2007 Sb., ve znění nařízení vlády č.68/2010 Sb., ve znění nařízení vlády č.93/2012 Sb., a ve znění nařízení vlády č.9/2013 Sb., kde jsou uvedeny minimální množství venkovního vzduchu přiváděného na pracoviště na 1 osobu a to podle typu prováděné činnosti, resp. energetického výdeje zaměstnance:

- a) $25 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ na jednoho zaměstnance vykonávajícího práci zařazenou do třídy I nebo IIa podle přílohy č. 1 k tomuto nařízení, části A, tabulky č. 1 na pracovišti bez přítomnosti chemických látek, prachů nebo jiných zdrojů znečištění, přibližně se jedná o práci v sedě spojenou s lehkou manuální činností.
- b) $50 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ na jednoho zaměstnance vykonávajícího práci zařazenou do třídy I nebo IIa podle přílohy č. 1 k tomuto nařízení, části A, tabulky č. 1 na pracovišti s přítomností chemických látek, prachů nebo jiných zdrojů znečištění, přibližně se jedná o práci v sedě spojenou s lehkou manuální činností.
- c) $70 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ na jednoho zaměstnance vykonávajícího práci zařazenou do tříd IIb, IIIa nebo IIIb podle přílohy č. 1 k tomuto nařízení, části A, tabulky č. 1, přibližně se jedná o práci vstoje spojenou s manuální činností a chůzí.
- d) $90 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ na jednoho zaměstnance vykonávajícího práci zařazenou do tříd IVa, IVb nebo V podle přílohy č. 1, části A, tabulky č. 1, přibližně se jedná o těžkou práci vstoje spojenou s chůzí.

Celkové množství přiváděného venkovního vzduchu se určuje podle nejvyššího počtu osob současně užívajících větraný prostor. S dalším zvýšením dávek vzduchu se počítá tam, kde je pracoviště s přístupem veřejnosti. Množství přiváděného venkovního vzduchu se zvyšuje úměrně předpokládané zátěži 0,2 až 0,3 osoby. m^2 nezastavěné podlahové plochy. Při venkovních teplotách vyšších než $26 \text{ }^\circ\text{C}$ a nižších než $0 \text{ }^\circ\text{C}$ může být množství venkovního vzduchu zmenšeno, nejvýše však na polovinu. V předpisu nejsou rozlišeny požadavky pro větrání přirozené a nucené, pouze je uvedeno, že nucené, nebo kombinované větrání musí být použito vždy, pokud přirozené větrání prokazatelně nepostačuje k celoročnímu zajištění ochrany zdraví zaměstnance podle výše uvedených parametrů.

Pro pobytové prostory jsou mikroklimatické podmínky uvedeny také ve vyhlášce č. 6/2003 Sb. Pobytové místnosti musí mít, dle tohoto předpisu, zajištěno přímé nebo nepřímé nucené větrání. Množství vyměňovaného vzduchu ve větraném prostoru se stanovuje s ohledem na množství osob a vykonávanou činnost tak, aby byly dodrženy mikroklimatické podmínky a hygienické limity chemických látek a prachu. Nucené větrání se použije tam, kde přímé větrání je nedostačující k odvodu vznikajících škodlivin a tepelně-vlhkostní zátěže prostoru.

Vývody odváděného vzduchu do venkovního prostředí se umísťují tak, aby nedocházelo ke zpětnému nasávání znečištěného vzduchu do okolních vnitřních prostorů. Klimatizace nesmí být zdrojem žádné kontaminace. Viz tabulka č. 6 v [5], kde jsou uvedeny teploty a množství odváděného vzduchu pro hygienické zařízení u pobytových místností (umývárny, sprchy, WC).

Dle ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov - část 2: Požadavky, odst. 7.2.2, POZNÁMKY, odst. 1: "Pro obytné a obdobné budovy leží požadovaná intenzita výměny vzduchu, spočítaná z minimálních množství potřebného čerstvého vzduchu, obvykle mezi hodnotami $n_N = 0,3 \text{ h}^{-1}$ až $n_N = 0,6 \text{ h}^{-1}$. Pro pobytové místnosti se zpravidla požaduje zajistit

nejméně $15 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ na osobu při klidové aktivitě s produkcí metabolického tepla do $80 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ a při aktivitě s produkcí metabolického tepla nad $80 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ až nejméně $25 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ na osobu. V učebnách se zpravidla požaduje výměna vzduchu 20 až $30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ na žáka. Uvedené hodnoty je třeba zajistit v provozní době, obvykle celoročně.

Jestliže akceptujeme výměnu vzduchu $0,3$ až $0,6 \text{ h}^{-1}$, lze při daných podmínkách (limit 1000 až 1200 ppm pro CO_2 , venkovní přiváděný vzduch jednak čistý, jednak znečištěný) lze stanovit minimální objem prostoru na jednu osobu. $V_{24} = (30 \text{ až } 34) \cdot (0,3 \text{ až } 0,6) = 9 \text{ m}^3/\text{os}$ ($n_N = 0,3 \text{ h}^{-1}$, přiváděn čistý vzduch) až $20 \text{ m}^3/\text{os}$ ($n_N = 0,6 \text{ h}^{-1}$, přiváděn znečištěný vzduch). Větší hodnota platí pro větrání znečištěným vzduchem, menší čistým venkovním vzduchem. Tyto hodnoty jsou také nezbytné pro zabránění vzniku plísní ve stavebách.

Navržené limity CO_2 a výměny vzduchu $0,3$ až $0,6 \text{ h}^{-1}$ jsou akceptovatelné i pod zorným úhlem řady zahraničních standardů.

Doporučená množství venkovního vzduchu, vzhledem k obvyklé kvalitě současných staveb (plastová okna, dřevěná eurookna), je nutno zajistit:

- a) okny s regulovatelnými větracími otvory,
- b) speciálními přívody vzduchu pod okny (pokud možno za otopnými tělesy),
- c) nuceným větráním, kdy množství vzduchu by mělo být regulovatelné v závislosti na počtu osob v interiéru.

Otázky větrání pobytových místností řeší také vyhláška č. 20/2012 Sb., ze dne 9. 1. 2012, kterou se mění vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby, která uvádí:

Pobytové místnosti musí mít zajištěno dostatečné přirozené nebo nucené větrání a musí být dostatečně vytápěny s možností regulace vnitřní teploty. Pro větrání pobytových místností musí být zajištěno v době pobytu osob minimální množství vyměňovaného venkovního vzduchu $25 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ na osobu nebo minimální intenzita větrání $0,5 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$. Jako ukazatel kvality vnitřního prostředí slouží oxid uhličitý CO_2 , jehož koncentrace ve vnitřním vzduchu nesmí překročit hodnotu 1500 ppm .

2.6 METODY HODNOCENÍ VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ BUDOV

2.6.1 Fyziologické základy tepelných procesů v lidském organismu

S rozvojem vědních disciplín se objevily fyzikální teorie o tvorbě tepla třením krve (zejména červených krvinek, o kterých se myslelo, že jsou tuhé a tvrdé) o stěny cév, zvláště v plicích. Lavoisier (1777) došel k závěru, že teplo vzniká v těle při chemických procesech uvolňování z potravy obdobně, jako vzniká teplo při hoření a okysličování. Domníval se, že

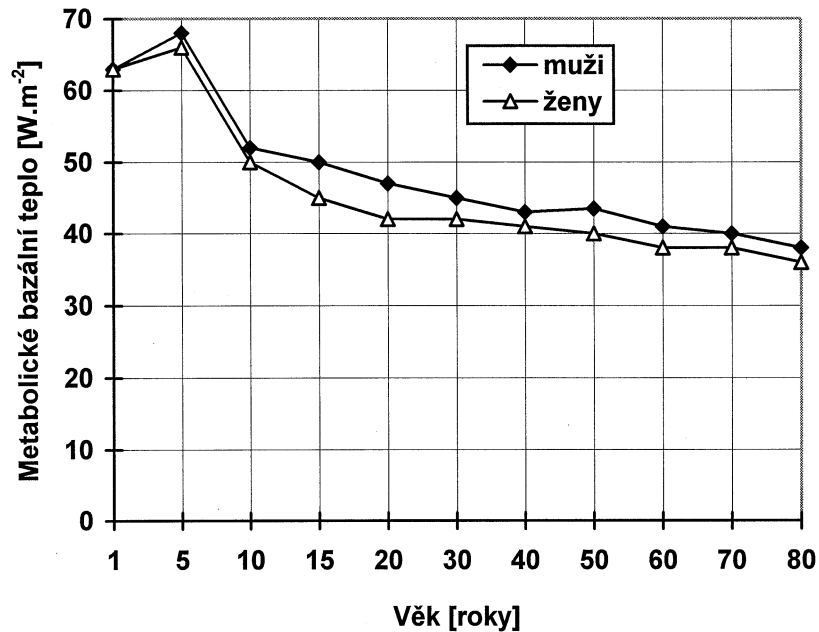
k tomu dochází hlavně v plicích. Teprve později se ukázalo, že se tak děje ve všech tkáních, nejvíce však ve svazech, které jsou zdrojem až tří čtvrtin veškerého tepla. Při metabolických procesech se v organismu uvolňuje energie, která působí ve formě energie tepelné (metabolické teplo q) a mechanické, využitelné k výkonu vnější práce. Přitom množství tepla vzniklého ve svazech závisí na stupni svalové činnosti.

Zdrojem energie jsou živiny, především cukry a tuky, které se oxidují na oxid uhličitý a vodu. Poměr přijatého kyslíku a vyloučeného oxidu uhličitého (RQ = respirační kvocient) informuje o charakteru metabolické práce, a tím i o množství energie, která se při reakci uvolnila. Určitému RQ odpovídá energetický ekvivalent kyslíku, vyjadřující množství tepelné energie uvolněné při spotřebě 1 litru kyslíku. Při oxidaci cukrů ($RQ = 1$) odpovídá 1 litr kyslíku množství 21,15 kJ, při oxidaci smíšené potravy ($RQ = 0,82$) je produkce energie pouze 20,3 kJ.

Při hodnocení energetického výdeje rozeznáváme následující typy metabolismů:

- bazální metabolismus (BM),
- klidový metabolismus (RMR - resting metabolic rate),
- pracovní metabolismus celkový brutto,
- pracovní metabolismus netto.

Bazální metabolismus (BM) je nejnižší možný výdej energie za standardních podmínek v pokojové teplotě, vleže, v klidu, na lačno, s vyloučením specificko-dynamického účinku bílkovin. Závisí na pohlaví, věku, výšce a hmotnosti. Bazální teplo je produkováno játry za naprostého klidu organismu v hlubokém spánku. Z Obr. 3 je zřejmé, že maximální podíl při tvorbě bazálního tepla v závislosti na pohlaví je v době od počátku dospívání do období třicátého roku života. Před a za tímto intervalem jsou již rozdíly daleko menší. Disproporce v tvorbě bazálního tepla mezi muži a ženami způsobují, že ženy v interiérech oprávněně požadují vyšší vnitřní teplotu.



Obr. 3 Základní tvorba tepla člověka - metabolické bazální teplo

Klidový metabolismus (*RMR*) je hodnota, měřená při pokojové teplotě za tělesného klidu vsedě. Je přibližně o 15 až 20 % vyšší než hodnota *BM*.

Pracovní metabolismus celkový brutto je součtem výdeje energie v klidu a zvýšení metabolismu při práci. Pracovní metabolismus netto je charakterizován jako přírůstek výdeje energie při práci.

Metabolický tepelný tok q_m (ve $W.m^{-2}$) se z povrchu těla odvádí prouděním q_p , sáláním q_s , vypařováním q_w , dýcháním q_d a vedením q_v . Tepelnou rovnováhu vyjadřuje rovnice:

$$q_m = \pm q_p \pm q_s \pm q_w \pm q_d \pm q_v \quad (2.1)$$

Se zřetelem k tepelné rovnováze člověka je nejdůležitější tepelná ztráta (tepelný tok) prouděním q_p (konvekcí), sáláním q_s (radiací), vypařováním q_w (evaporací) a dýcháním q_d . Tepelný tok sdílený vedením q_v je ve většině případů zanedbatelný a např. u obutého stojícího člověka je přibližně roven 5 W. Kladná znaménka v rovnici 4.1 vyznačují, že tepelný tok se sdílí z povrchu těla do prostředí. V některých případech však může dojít i k opačnému toku tepla, kdy sáláním dochází k přechodu tepelného toku z prostředí do těla. Tento stav lze pozorovat např. na teplých pracovištích v metalurgickém průmyslu. K metabolickému toku tepla q_m se pak ještě připočítává vnější tepelná zátěž q . Výsledný tepelný tok musí být z těla odveden konvekcí, sáláním, vypařováním a dýcháním.

Pro jednotlivé činitele z rovnice 4.1 jsou udávány následující vztahy.

Tepelný tok sdílený prouděním (konvekcí) z povrchu oblečeného člověka:

$$q_c = h_c \cdot f_k \cdot (\theta_p - \theta_a) \quad , \quad (2.2)$$

kde q_c je tepelný tok sdílený prouděním (konvekcí) z povrchu oblečeného člověka ve W.m^{-2} ,
 h_c součinitel přestupu tepla konvekcí ve $\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$,
 $f_k \approx 1,15$ poměr povrchu oblečeného a neoblečeného člověka,
 θ_p střední teplota povrchu oblečeného člověka ve $^{\circ}\text{C}$,
 θ_a teplota vzduchu ve $^{\circ}\text{C}$.

Pro součinitele přestupu tepla při klidném vzduchu ($v_a < 0,1 \text{ m.s}^{-1}$) platí:

$$h_c = 2,38 \cdot (\theta_p - \theta_a)^{0,25} . \quad (2.3)$$

Pro vzduch proudící rychlostí $0,1 < v_a < 2,5 \text{ m.s}^{-1}$ je součinitel přestupu tepla roven:

$$h_c = 12,1 \cdot \sqrt{v_a} . \quad (2.4)$$

Tepelný tok sdílený sáláním z povrchu oblečeného člověka má velikost:

$$q_r = c \cdot f_r \cdot f_c \cdot 10^{-8} \cdot (T_p^4 - T_u^4) , \quad (2.5)$$

kde q_r je tepelný tok sdílený sáláním ve W.m^{-2} ,
 $c \approx 5,5$ součinitel sálání povrchu oblečeného člověka ve $\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$,
 $f_r \approx 0,71$ poměr povrchu vydávajícího teplo sáláním k povrchu oblečeného člověka,
 $f_c \approx 1,15$ poměr povrchu oblečeného a neoblečeného člověka,
 T_p teplota povrchu oblečeného člověka v K,
 T_u účinná teplota okolních ploch, v K.

Účinnou teplotou okolních ploch T_u je myšlena společná teplota všech ploch v prostoru, při které je tepelný tok sdílený sáláním stejný jako ve skutečnosti, kdy okolní plochy mají různé teploty.

Tepelný tok odváděný vypařováním sestává ze dvou složek - z tepelného toku odváděného neviditelným vypařováním a z tepelného toku odváděného vypařováním viditelným:

$$q_w = q_{w1} + q_{w2} \quad , \quad (2.6)$$

kde q_w je celkový tepelný tok odváděný z těla vypařováním (pocením) ve $W \cdot m^{-2}$,
 q_{w1} celkový tepelný tok odváděný z těla neviditelným vypařováním (pocením) ve $W \cdot m^{-2}$,
 q_{w2} celkový tepelný tok odváděný z těla viditelným vypařováním (pocením) ve $W \cdot m^{-2}$.

Tepelný tok odváděný neviditelným vypařováním potu q_{w1} je závislý na teplotě pokožky a parciálním tlaku vodních par a je dán vztahem:

$$q_{w1} = 3,06 \cdot 10^{-3} \cdot (256 \cdot \theta_k - p_D - 3373) \quad , \quad (2.7)$$

kde q_{w1} je tepelný tok odváděný neviditelným vypařováním, ve $W \cdot m^{-2}$,
 θ_k průměrná teplota pokožky ve $^{\circ}C$,
 p_D parciální tlak vodních par ve vzduchu, v Pa, závislý na teplotě vzduchu t_a a relativní vlhkosti vzduchu φ_a .

Ve stavu tepelné pohody má teplota pokožky θ_k z fyziologických důvodů dosahovat hodnot:

$$\theta_k = 35,7 - 0,0275 \cdot q_m \quad , \quad (2.8)$$

kde q_m je metabolický tepelný tok ve $W \cdot m^{-2}$.

Tepelný tok q_{w2} , ve $W \cdot m^{-2}$, odváděný vypařováním potu z mokré pokožky nastává až při $q_m \approx 58 W \cdot m^{-2}$. Pak platí vztah:

$$q_{w2} = 0,42 \cdot (q_m - 58) \quad . \quad (2.9)$$

Pro tepelný tok q_d , ve $W \cdot m^{-2}$, odváděný z těla dýcháním platí:

$$q_d = \frac{M}{A_k} \cdot (h_v - h_a) \quad , \quad (2.10)$$

kde M je hmotnostní průtok vdechovaného vzduchu daný rovnicí
 $M = 2,72 \cdot 10^{-6} \cdot q$,
 A_k plocha těla, v m^2 ,
 $h_v = 125,8 kJ \cdot kg^{-1}$ entalpie vydechovaného vzduchu o teplotě $\theta = 34$ $^{\circ}C$, relativní vlhkosti $\varphi = 100 \%$ a tlaku vodní páry

$p = 98 \text{ kPa}$,
 h_a entalpie vdechovaného vzduchu závislá na teplotě prostředí, relativní vlhkosti a tlaku vzduchu v kJ.kg^{-1} .

Podstatným činitelem pro zajištění vhodného teplotního stavu je tzv. homoiotermie organismu, což znamená schopnost udržet tělesnou teplotu na fyziologicky přijatelné úrovni 35 až 37 °C. Homoiotermie se však týká pouze tělesného jádra, to je mozku a vnitřních hrudních a břišních orgánů. Od hloubky 20 až 30 mm pod povrchem těla je již teplota relativně stálá. Jsou však také některé tkáně, které svou teplotu udržují stále nižší. Patří mezi ně především mužské pohlavní buňky ve varlatech.

Téměř polovina lidského těla, např. pokožka, prsty, ušní boltce, tvář, nemá stálou tělesnou teplotu a mění se podle kolísání teploty prostředí. Povrchová část těla je tak ovlivněna prostředím, je tzv. poikilotermní. Povrchové teploty obnaženého člověka, který se nachází v klidové poloze, jsou uvedeny v Tab. 8.

Tab. 8 Povrchová teplota některých částí lidského těla při různých teplotách okolního prostředí

θ_{ai} (°C)	Povrchová teplota některých částí lidského těla (°C)							
	chodidlo	stehno	břicho	záda	hrud'	ruka	čelo	průměr
15	17,4	23,2	29,1	30,1	29,9	19,7	29,7	27,7
20	21,7	27,9	30,7	31,3	31,9	24,0	32,9	28,2
25	27,1	30,5	33,5	32,7	32,8	25,4	33,9	30,6
30	31,6	32,7	34,7	34,4	34,5	32,9	34,8	33,4
35	35,5	35,0	35,1	35,4	35,9	35,8	35,8	35,7

Teplotní stav osob se vyjadřuje povrchovou teplotou pokožky a množstvím vylučovaného potu.

Pouze ve dvou případech se tělesná teplota v organismu zvyšuje z vnitřních příčin:

- při tělesné práci,
- při nemoci - horečce.

Při tělesné práci brzy po začátku činnosti teplota stoupá až na 38 °C. Nejde o horečku, nýbrž se tím dosahuje lepších podmínek pro svalovou činnost. Po skončení práce zvýšená teplota opět rychle klesá na původní hodnoty, někdy dokonce i pod ně.

Zvýšená teplota při horečce (> 37 °C) je nutná pro průběh některých obranných reakcí. Je to však pochod, který již řadíme mezi chorobné děje.

Teplota pokožky θ_k (°C) i hustotu tepelného toku při vypařování q_e v závislosti na aktivitě osob se vyjadřuje v modifikované podobě, viz Petráš, D., a kol., Vytápění rodinných a bytových domů, JAGA, 2005, [25] následujícími rovnicemi:

$$\theta_k = 35,7 - 0,0275 \cdot (q_M - q_W), \quad (2.11)$$

$$q_e = 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot (256 \cdot \theta_k - 3373 - p_i) + 0,042 \cdot (q_M - q_W - 58,15), \quad (2.12)$$

kde θ_k je teplota pokožky ve °C,
 q_e hustota tepelného toku při vypařování ve $W \cdot m^{-2}$,
 q_M hustota tepelného toku při metabolismu ve $W \cdot m^{-2}$,
 q_W hustota tepelného toku při aktivitě osob ve $W \cdot m^{-2}$,
 p_i parciální tlak vodní páry vnitřního vzduchu v Pa.

Pro přizpůsobení se teplotnímu stavu prostředí využívá člověk vědomě nebo reflexivně termoregulačních možností, kterými jsou:

- vazomotorická regulace,
- produkce potu,
- chemická termoregulace,
- vědomá termoregulace.

Samotný proces regulace je řízen z center umístěných v části mozku zvané hypothalamus, který se nachází uprostřed hlavy na myšlené spojnici obou ušních otvorů viz. [23]. V přední části, nazývané anteriorní hypothalamus je centrum tepelné zátěže, které umožňuje vazodilataci, tj. roztahování cév v teplém prostředí. Centrum chladové zátěže je v zadní části, v tzv. posteriorním hypothalamu. To dostává chladové impulsy z kožních receptorů. Řídí především vazokonstrikci, tj. smršťování cév během chladného období, a svalový třes při podchlazení.

Vazomotorickou reakcí dochází ke změně průměru cév pokožky (především na periférii končetin a nosu). Nastává tím změna průtoku krve pokožkou a současně i změna teploty pokožky θ_k . Při hrozícím tepelném přetížení dochází k vazodilataci - rozšíření cév a vzestup teploty θ_k - což se projevuje odváděním přebytečného tepla ve formě potu. Při hrozícím podchlazení těla nastává zúžení cév - vazokonstrikce - a tím i pokles teploty pokožky. Organismus se tak snaží v chladu omezit ztráty tepla tím, že se snižuje prokrvení na perifériích. Teplota na vyčnívajících částech, jako je nos, ušní boltec a prsty, klesá daleko prudčeji než jinde v těle, čímž vznikají omrzliny a oznobeniny.

Ochlazení těla pod 30 °C ohrožuje nejvíce srdce. Při nízké teplotě dochází k fibrilaci - místo jednoho koordinovaného svalu současně s každým tepem se jednotlivá vlákna srdeční tkáně stahují sama, mimo daný rytmus, takže se srdce nesmrští, nýbrž se pouze chvěje. Proudění krve se zastaví a nastává smrt. Kromě takového přímého působení chladné krve na

srdeční dráždivost ovlivňuje nízká teplota také spotřebu a využití kyslíku ve tkáních. Zmrzlé tkáně mohou rychle odumírat a poskytnout vhodnou půdu pro rozvoj infekcí. Po přechodném počátečním vzestupu látkové výměny nastává později její pokles. Dochází k nervovým poruchám, svalové pohyby jsou neuspořádané, objevují se křeče, lapavé dechy, oblužení, malátnost až lhostejnost a nakonec smrt.

Produkce potu jako termoregulační stupeň se při tepelném přetížení projevuje jeho odpařováním (odpaření 1 litru potu odebere organismu přibližně 2,5 MJ tepla). Vlivem vysokých teplot se zvyšuje srdeční frekvence, snižuje se systolický objem srdeční. Snižené zásobování orgánů krví se projeví především na činnosti nervového systému: je postižena přesná motorická koordinace, klesá výkonnost, snižuje se bdělost, mohou se objevit pocity nevolnosti. Snižuje se chuť k práci, klesá pracovní tempo, zaznamenává se vyšší počet chybných pracovních úkonů, může stoupat počet úrazů. Pocením současně dochází i ke ztrátě solí, vedoucí ke změnám iontové rovnováhy a poklesu koncentrace Na^+ v intersticiální tekutině, což se považuje za příčinu vzniku svalových křečí.

Při podchlazení se uplatňuje především termoregulace chemická. Chlad podněcuje vyměšování adrenalinu, který podporuje zvýšení metabolismu. Zvýšená funkce štítné žlázy vyvolává uvolňování glykogenu z jater a podporuje glukoneogenezu. Výrazným příznakem ochlazení těla je chladový stres, při kterém vznikají rytmické, trhavé záškuby svalstva, jež nelze potlačit vůlí. Jejich úkolem je zvýšení výroby tepla. Nejdůležitějším zdrojem tepla je energie uvolněná při zvýšení svalového napětí doprovázeného třesem.

Pokud termoregulační mechanismy nestačí zabezpečit tepelnou rovnováhu tělesného jádra, dochází k výrazné změně teploty těla a ohrožení životních funkcí orgánů kvůli přehřátí nebo podchlazení.

Vědomá termoregulace je spojena s uvědomělou činností. Např. změnou tělesné činnosti, změnou povrchu těla, jehož část se zúčastní výměny tepla, dále změnou oblečení a změnou teploty prostředí.

2.6.2 Optimální teplotní podmínky vnitřního prostředí

Optimální teplota vzduchu v interiéru budov *thetai* zajišťující nejpříznivější podmínky termoregulace člověka, závisí na vnitřní produkci tepla, na druhu oděvu, na stáří a zdraví jedince, na jeho schopnosti aklimatizovat se na určité klimatické podmínky a na regionálních zvyklostech v jednotlivých zemích. Přitom optimální teplota podléhá nejen objektivním činitelům, ale do jisté míry také některým subjektivním faktorům.

Pracoviště určená k trvalému pobytu osob a obytné prostory musí být řešeny tak, aby v nich byly zabezpečeny optimální mikroklimatické podmínky, a to jak v chladném, tak i v teplém období roku.

Pro optimální mikroklimatické podmínky jsou požadovány parametry vnitřního prostředí vyjádřené:

- operativní teplotou θ_o ,
- výslednou teplotou kulového teploměru θ_g ,
- rychlostí proudění vzduchu v místnosti v_{ai} ,
- relativní vlhkostí vzduchu rh_{ai} .

Měřené a stanovené veličiny potřebné pro vyhodnocení mikroklimatických parametrů vnitřního prostředí a tepelné zátěže definované ve vztahu k člověku pohybujícímu se ve sledovaném prostoru jsou:

Teplota vzduchu θ_a [°C], také nazývaná suchá teplota, což je teplota v okolí lidského těla, měřená jakýmkoliv teplotním čidlem neovlivněným sáláním okolních ploch.

Výsledná teplota θ_g [°C], což je teplota v okolí lidského těla měřená kulovým teploměrem, která zahrnuje vliv současného působení teploty vzduchu, teploty okolních ploch a rychlosti proudění vzduchu.

Operativní teplota θ_o [°C], což je rovnoměrná teplota uzavřené černé plochy, uvnitř které by člověk sdílel sáláním a proděním stejně tepla jak v prostředí skutečném a která se stanoví výpočtem.

Střední radiační teplota θ_r [°C], také nazývaná střední teplota sálání ploch, což je rovnoměrná teplota okolních ploch, při níž se sdílí sáláním stejně tepla jako ve skutečném heterogenním prostředí. Měří se radiometry nebo se vypočítává z výsledné teploty kulového teploměru a teploty vzduchu. Slouží jako jedna ze vstupních hodnot pro výpočet operativní teploty.

Rovinná radiační teplota θ_{pr} [°C], také nazývaná rovinná teplota sálání protilehlých ploch, což je rovnoměrná teplota okolních povrchů, kde sálání na jedné straně rovinného prvku je stejné jako ve skutečném prostředí a která popisuje sálání v jednom směru a slouží především ke stanovení asymetrie teploty sálání v prostoru a k výpočtu střední teploty sálání ploch.

Asymetrie radiační teploty $\Delta\theta_{pr}$ [°C, K], také nazývaná asymetrie teploty sálání, což je rozdíl mezi rovinnými teplotami sálání dvou protilehlých ploch malého rovinného prvku.

Intenzita sálání I [W.m⁻²] vyjádřená jako efektivní tok sdílený sáláním, který popisuje výměnu tepla sáláním mezi povrchy (plochami) prostoru a lidským tělem.

Korigovaná teplota θ_{korig} [°C], což je teplota vzduchu snižena vlivem proudění vzduch, která se užívá při hodnocení účinku větru na člověka na venkovních pracovištích.

Povrchová teplota θ_s [°C], což je teplota měřená na povrchu těles a stavebních konstrukcí kontaktním nebo bezkontaktním způsobem.

Relativní vlhkost rh_{ai} [%], která vyjadřuje stupeň nasycení vzduchu vodními párami, definovaný poměrem hustoty vodní páry ve vzduchu a ve vlhkém vzduchu nasyceném vodní párou při stejné teplotě a tlaku.

Teplota mokrého teploměru θ_w [°C], nazývaná psychrometrická, což je teplota nuceně větraného vlhčeného teplotního čidla, používaná při stanovení relativní vlhkosti vzduchu psychrometrem.

Teplota rosného bodu θ_d [°C], což je teplota, při níž dochází k orosování povrchů, tzn. Vlhký vzduch je ochlazen až na teplotu, při níž se dosáhne stavu sytosti (relativní vlhkost je 100%) a která se stanoví z teploty a vlhkosti vzduchu z psychrometrického diagramu nebo výpočtem.

Rychlost proudění vzduchu v_{ai} [m/s], což je veličina charakterizující pohyb vzduchu v prostoru, která je určena svojí velikostí a směrem proudění. Vzhledem k tomu, že rychlost proudění vzduchu v prostoru se výrazně mění, je nutné její změny vyjadřovat střední hodnotou za časovou jednotku a směrodatnou odchylkou.

Operativní teplotu lze, pokud je rychlost proudění vzduchu $v_{ai} \leq 0,2 \text{ m.s}^{-1}$, nahradit výslednou teplotou kulového teploměru $\theta_o = \theta_i = \theta_g$. Pokud rychlost proudění vzduchu $v_{ai} > 0,2 \text{ m.s}^{-1}$, stanoví se operativní teplota ze vztahu:

$$\theta_o = \theta_g - \Delta\theta. \quad (2.13)$$

Hodnoty $\Delta\theta$ se určí z grafu na Obr. 4, přičemž platí:

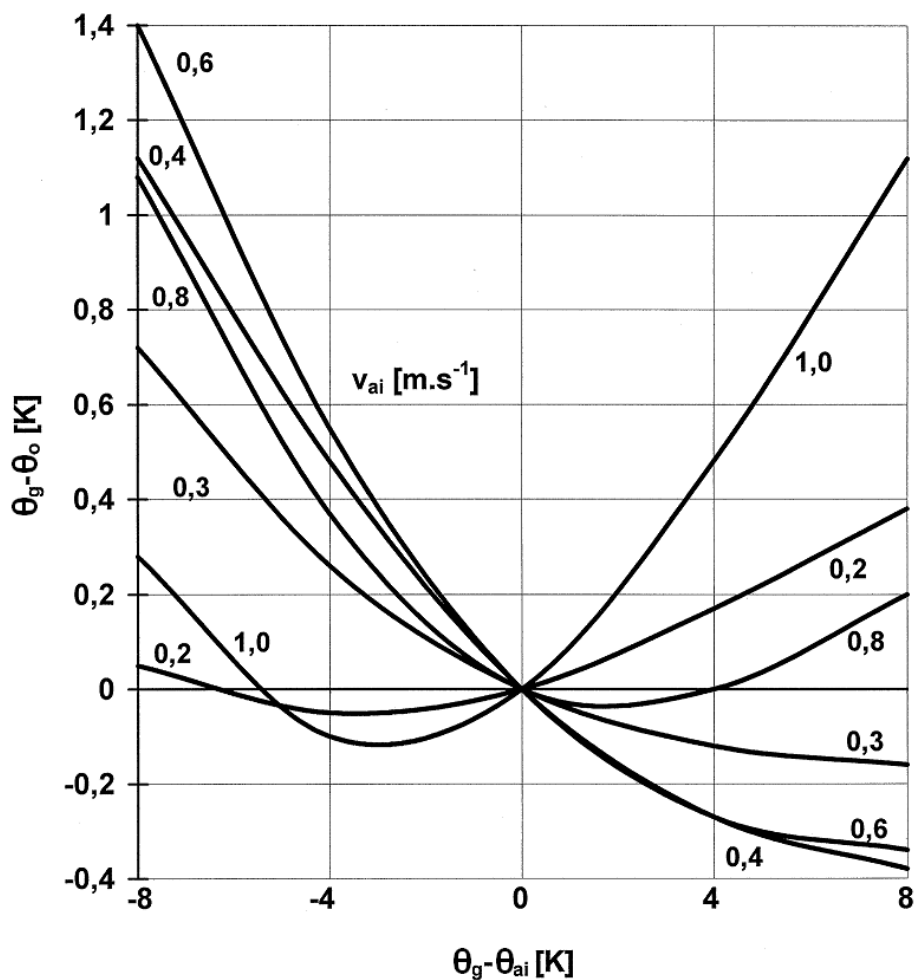
$$\Delta\theta = \theta_g - \theta_o = f(\theta_g - \theta_{ai,vai}), \quad (2.14)$$

kde θ_g je výsledná (globální) teplota stanovená kulovým teploměrem ve °C,

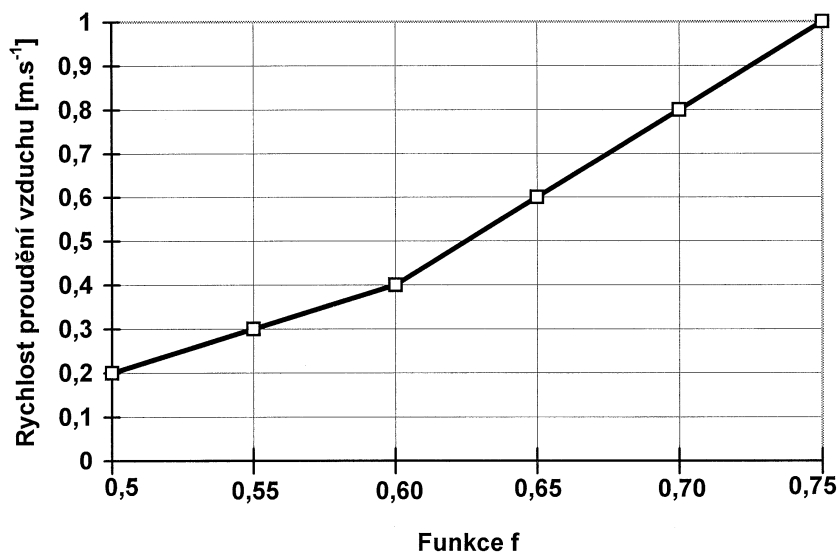
θ_o operativní teplota ve °C,

$\Delta\theta$ snížení výsledné teploty vlivem zvýšeného proudění vzduchu ve °C,

$\theta_{ai,vai}$ teplota vzduchu ve °C při proudění vzduchu o rychlosti v_{ai} .



Obr. 4 Korekční faktor $(\theta_g - \theta_o)$ pro stanovení operativní teploty v závislosti na rozdílu $(\theta_g - \theta_{ai})$ a rychlosti proudění vzduchu v_{ai}



Obr. 5 Vztah parametru f a rychlosti proudění vzduchu v_{ai}

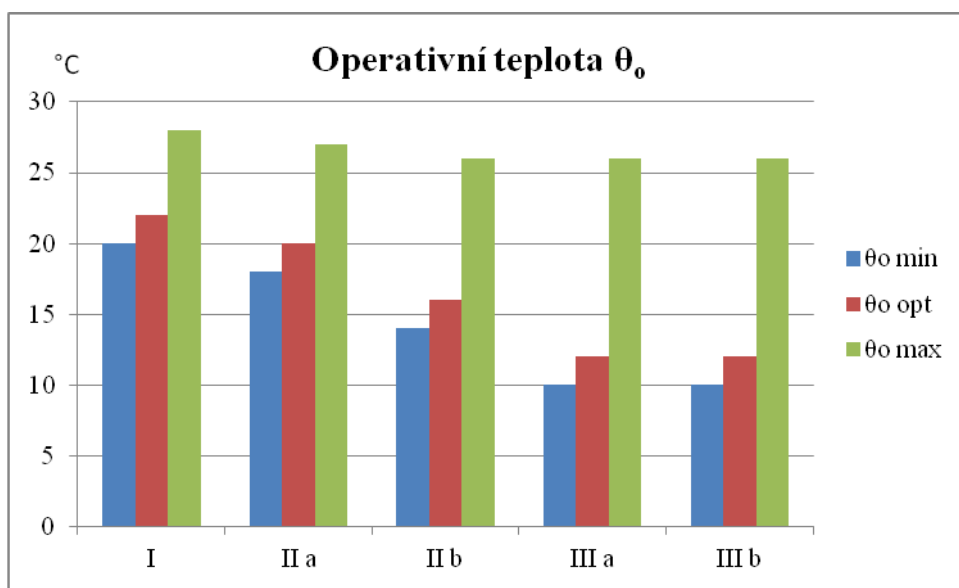
Přípustné hodnoty mikroklimatických podmínek jsou patrné z Tab. 9 a grafu na Obr. 6. Přestože podmínky pro obytné prostředí u nás ani v zahraničí žádný samostatný předpis či norma neřeší, lze akceptovat pro toto prostředí hodnoty uvedené v Tab. 9 pro třídu práce II a.

Dosažení optimálních operativních teplot předpokládá ohřev vzduchu v interiéru v zimě a chlazení vzduchu v létě. To znamená, že je třeba dimenzovat vytápění a klimatizaci na tyto teploty. Klimatizační zařízení musí například umožňovat regulaci v rozmezí optimální až maximální operativní teploty. Dosažení maximálních operativních teplot v horkém letním období se předpokládá pouze při tzv. přirozené klimatizaci (tj. uplatnění ochrany před nadměrným slunečním zářením, stíněním apod.).

Přípustná hodnota operativní teploty je dána časově váženým průměrem teplot vyskytujících se během dne (v časovém úseku rozhodujícím pro činnost v dané třídě práce), respektive aritmetickým průměrem pravidelně měřených teplot v intervalech maximálně po jedné hodině.

Tab. 9 Přípustné podmínky mikroklimatických podmínek pro celý rok viz. [3]

Třída práce	v_a (m/s)	rh_i (%)	$SR_{i,omax}^{+++}$ (g/h) (g/sm)	M (W/m ²)
I	0,01 až 0,2	30 až 70	107/856	≤ 80
II a		30 až 70	136/1091	81 až 105
II b	0,05 až 0,3	30 až 70	171/1368	106 až 130
III a		30 až 70	256/2045	131 až 160
III b	0,1 až 0,5	30 až 70	359/2639	161 až 200



Obr. 6 Přípustné podmínky mikroklimatických podmínek pro celý rok ve smyslu nařízení vlády č. 361/2007 Sb.

Vysvětlivky k Tab. 9 a Obr. 6:

$\theta_{o\ min}$	je platná pro tepelný odpor oděvu 1 clo,
$\theta_{o\ opt}$	je platná pro tepelný odpor oděvu 0,75 clo,
$\theta_{o\ max}$	je platná pro tepelný odpor oděvu 0,5 clo,
v_a	je rychlost proudění vzduchu,
φ_i	je relativní vlhkost,
SR	jsou ztráty tekutin pocením a dýcháním (intenzita pocení),
g/h	je ztráta tekutin v gramech za hodinu,
g/sm	je ztráta tekutin v gramech za směnu,
+	z hlediska energetického výdeje práce není celosměnově únosná pro ženy,
++	z hlediska energetického výdeje práce není celosměnově únosná pro muže,
+++	platí pro osobu o ploše povrchu těla 1,8 m ² ,
θ_o	stanovena pro 60% relativní vlhkosti vzduchu,
M	je celkový průměrný energetický výdej.

Hodnoty průměrné denní operativní teploty v obytných místnostech, které jsou uvedeny na Obr. 6, lze v noci mezi 23 až 6 hodinou snížit až o 3°C, nejnižší však na 16°C. Pro jiné než obytné místnosti, jako jsou např. koupelny, WC, předsíně, chodby, schodiště, apod., jsou optimální hodnoty uvedeny v Tab. 10.

Tab. 10 Optimální operativní teploty, relativní vlhkosti a minimální výměny vzduchu v sanitárních zařízeních a v ostatních nebytových místnostech (upraveno dle DIN 1946-2 a ČSN 06 0210).

Zařízení	rh_i (%)	$\theta_{o\ opt}$ (°C)	Výměna vzduchu (m ³ /h)
koupelna	60	24	60
kuchyň	60	20	60
předsín, chodby	60	min 15	není předepsána
vytápěné schodiště	60	min 10	není předepsána
WC	60	20	40

Kromě mikroklimatických podmínek uvedených v Tab. 9 a na Obr. 6 se musí pro uzavřená pracoviště, respektive pobytové prostory pro třídy práce I a II a dodržet následující požadavky:

- Rozdíly teplot vzduchu mezi úrovní hlavy a kotníků nesmí být větší než 3°C.
- Asymetrie radiační teploty od chladných svislých povrchů nesmí být větší než 10°C, respektive rozdíl stereoteplot protilehlých segmentů ve vodorovném směru větší než 4°C.

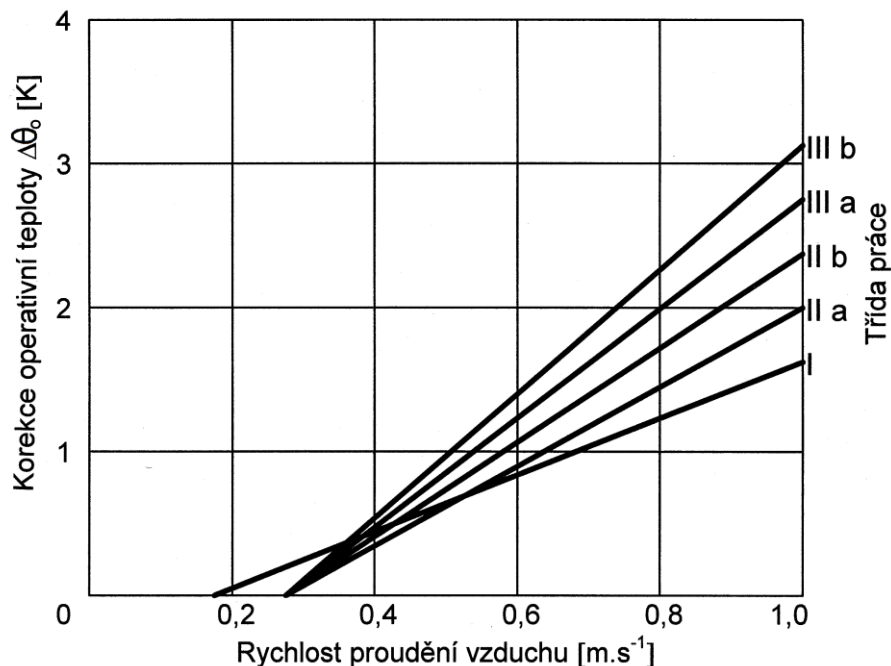
- Asymetrie radiační teploty od teplého stropu nebo jiných vodorovných povrchů nesmí být větší než 5°C, respektive rozdíl stereoteplot protilehlých segmentů ve svislém směru větší než 2°C.
- Intenzita osálení hlavy vlivem radiace (např. sluneční radiace průsvitnými konstrukcemi nebo infrazářičem) nesmí být větší než 200 W.m⁻², respektive rozdíl stereoteplot osálaného segmentu minus segmentu na protilehlé straně ve vodorovném i svislém směru nesmí být větší než 10°C.
- Stupeň obtěžování průvanem ve vzdálenosti 50 cm od středu oken nebo jiných nadměrně ochlazovaných svislých stavebních konstrukcí (např. dveří nebo stěn) nesmí být větší než 15%.

Stupeň obtěžování průvanem (*DR*) je samostatný ukazatel pro posuzování parametrů vnitřního prostředí a vyjadřuje procentuální podíl osob, u kterých převládá pocit obtěžování průvanem. *DR* lze vypočítat podle vztahu:

$$DR = (34 - \theta_{ai}) \cdot (v_a - 0,05)^{0,62} \cdot (0,37 \cdot v_a \cdot Tu + 3,14) \quad , \quad (2.15)$$

kde θ_a je teplota vzduchu, ve °C,
 v_a rychlost proudění vzduchu, v m/s,
 Tu místní intenzita turbulence, v %.

Pokud technologické postupy vyžadují vyšší rychlosti proudění vzduchu než ty, které jsou uvedeny v Tab. 9, je třeba, aby se teplota θ_o zvýšila o hodnotu, která se stanoví podle grafu z Obr. 7.



Obr. 7 Korekce operativní teploty $\Delta\theta_o$ v závislosti na rychlosti proudění vzduchu a pracovní třídě

Pokud musí být z technologických důvodů relativní vlhkost vzduchu v pracovním prostředí vyšší než 70%, pak se snižuje požadovaná operativní teplota o 1°C na každých 10% zvýšení relativní vlhkosti. V těchto případech je nutná spolupráce projektanta s investorem nebo uživatelem, jehož povinností je zajistit podklady o vlhkostním stavu vyplývajícím z technologických potřeb výroby.

2.6.3 Ukazatel WBGT

V horkém průmyslovém prostředí je možno tepelnou zátěž jednotlivce hodnotit také pomocí ukazatele *WBGT* (wet bulb globe temperature).

Parametr *WBGT* (°C) je orientační hodnota používaná v horkém prostředí. Při jeho určení se uplatňuje teplota přirozeně větraného mokrého teploměru θ_{nw} a výsledná teplota kulového teploměru t_g , popř. teplota vzduchu zjištěná suchým teploměrem θ_{ai} .

Mokrý větraný teploměr má teplotní čidlo kryto vlněnou punčoškou namočenou v nádobce s destilovanou vodou, stíněnou před sálavými účinky okolí. Čidlo je ochlazováno bez nuceného proudění vzduchu. Kulový teploměr Ø 150 mm s černým kovovým povrchem je konstruován podle ČSN ISO 7726, Ergonomie tepelného prostředí – Přístroje pro měření fyzikálních veličin.

Ukazatel *WBGT* se matematicky vyjadřuje v závislosti na druhu prostorů. Pro vnitřní prostory budov a venkovní prostory bez slunečního záření platí:

$$WBGT = 0,7 \cdot \theta_{nw} + 0,3 \cdot \theta_g \quad (2.16)$$

Pro venkovní prostory se slunečním zářením platí:

$$WBGT = 0,7 \cdot \theta_{nw} + 0,2 \cdot \theta_g + 0,1 \cdot \theta_{ai} \quad (2.17)$$

Průměrný ukazatel *WBGT* se stanoví pomocí rovnice ze tří měření provedených u stojícího pracovníka ve výšce 100, 1100 a 1700 mm nad podlahou, u osoby sedící ve výškách 100, 600 a 1100 mm nad podlahou:

$$WBGT = \frac{WBGT_{hlava} + 2 \cdot WBGT_{břicho} + WBGT_{kotníky}}{4} \quad (2.18)$$

kde *WBGT* je wet bulb globe temperature ve °C,

θ_{nw} teplota přirozeně větraného mokrého teploměru ve °C,

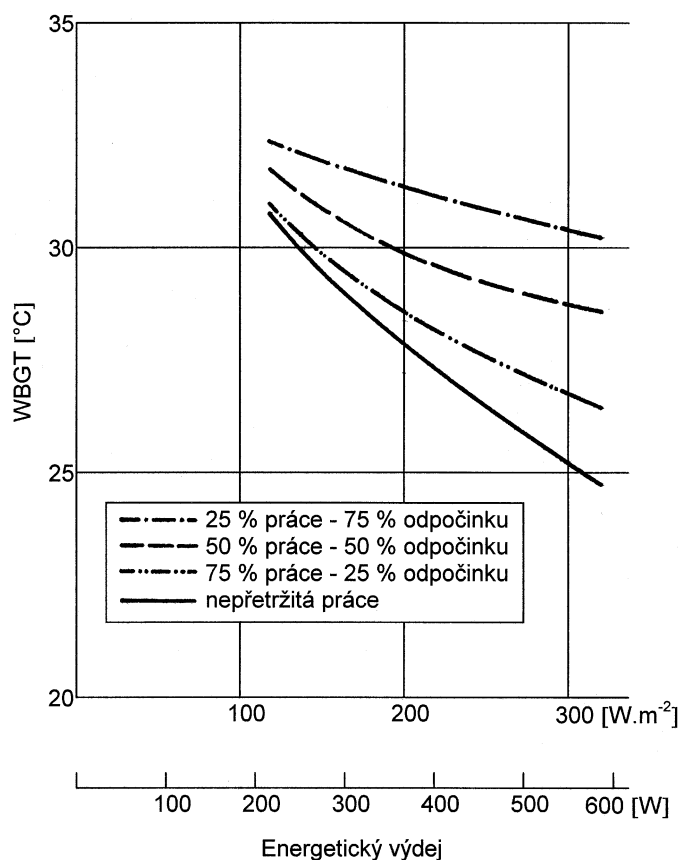
θ_g výsledná teplota kulového teploměru ve °C,

θ_{ai} teplota vzduchu ve °C.

Pokud se jednotlivé úrovně od sebe liší maximálně 5 %, klasifikuje se toto prostředí jako homogenní a stačí určit pouze $WBGT_{břicho}$.

Zjištěné hodnoty se porovnávají s referenčními parametry. Pokud dojde k jejich překročení, je nezbytné snížit pracovní zátěž. V uvažovaném horkém prostředí se předpokládá, že tepelný odpor oděvu $R_{cl} = 0,60$ clo, že osoba je přiměřeně fyzicky zdatná pro uvažovanou činnost a v dobrém zdravotním stavu.

V grafu na Obr. 8 jsou uvedeny závislosti mezi referenčními hodnotami $WBGT$ pro různé cykly práce a odpočinkem, vazba na energetický výdej. Např. pro $WBGT = 30$ °C a $M = 200$ $W \cdot m^{-2}$ vychází pracovní rytmus s 50 % pracovní činností a 50 % odpočinku.



Obr. 8 Křivky referenčních hodnot $WBGT$ pro různé cykly “práce - odpočinek”.

Energetický výdej je stanovený pro standardní osobu s plochou těla $1,8$ m^2 ve W a ve $W \cdot m^{-2}$.

2.6.4 Tepelná pohoda ve světle indexů PMV a PPD

Tepelně technická kvalita vnitřního prostředí budov a vnímání této kvality osobami se dá určit pomocí speciálních kritérií PMV a PPD . Indexem PMV (predicted mean vote) je charakterizován předpokládaný střední stupeň tepelné pohody. Předpokládaný procentní podíl nespokojených potom popisuje činitel PPD (predicted percentage of dissatisfied).

Tato kritéria našla uplatnění v mezinárodní normě ISO 7730 - “Moderate thermal environments, Determination of the PMV and PPD indices and specification the conditions for thermal comfort”, která byla vydána již v roce 1984. V říjnu 1987 byl v Německé spolkové republice uveřejněn identický návrh této normy pod označením DIN ISO 7730 - “Gemäßigtes Umgebungsklima”. V nové verzi norma vyšla v roce 1994 a posléze ji jako normu národní převzalo osmnáct evropských zemí. V září 1995 byla publikována ve Spolkové republice Německo jako DIN EN ISO 7730, pod názvem - “Gemäßigtes Umgebungsklima, Ermittlung des PMV und PPD und Beschreibung der Bedingungen für thermische Behaglichkeit”. V březnu 1997 byla otištěna tato norma v českém jazyku jako ČSN EN ISO 7730 pod názvem “Mírné tepelné prostředí - Stanovení ukazatelů PMV a PPD a popis podmínek tepelné pohody”. V říjnu 2006 byla vydána novelizovaná norma ČSN ISO 7730, pod názvem „Ergonomie tepelného prostředí – Analytické stanovení a interpretace tepelného komfortu pomocí výpočtu ukazatelů PMV a PPD a kritéria místního tepelného komfortu“, s účinností od 1. 11. 2006.

Význam normy lze spatřovat v následujících aspektech:

- popisuje postup v rámci predikce stupně nepohody osob, které jsou vystaveny teplotnímu prostředí,
- stanovuje příčiny, které vyvolávají pocity nepohody v interním prostředí.

Hodnocení se vztahuje na zdravé muže a ženy. Původně se týkalo jen evropské a severoamerické populace, ovšem na základě výzkumů mezi obyvateli Japonska bylo prokázáno, že ji lze použít i zde. Očekává se, že norma nalezne uplatnění ve větší části světa, přestože mohou existovat různé etnické, národnostní a geografické odlišnosti. V rámci projednávání normy v roce 1983 přijaly spolupráci i neevropské země, např. Egypt, Austrálie, Čína, Nový Zéland a Jihoafrická republika. Ze zemí tehdejší “východní Evropy” Československo a Maďarsko.

2.6.5 Předpokládaný střední stupeň tepelné pohody

Ukazatel *PMV* předpovídá střední tepelný pocit na základě reakce velké skupiny osob na teplotní situaci, která se popisuje sedmibodovou stupnicí tepelných pocitů:

+3	Horko
+2	Teplo
+1	Mírné teplo
0	Neutrální
-1	Mírné chladno
-2	Chladno
-3	Zima.

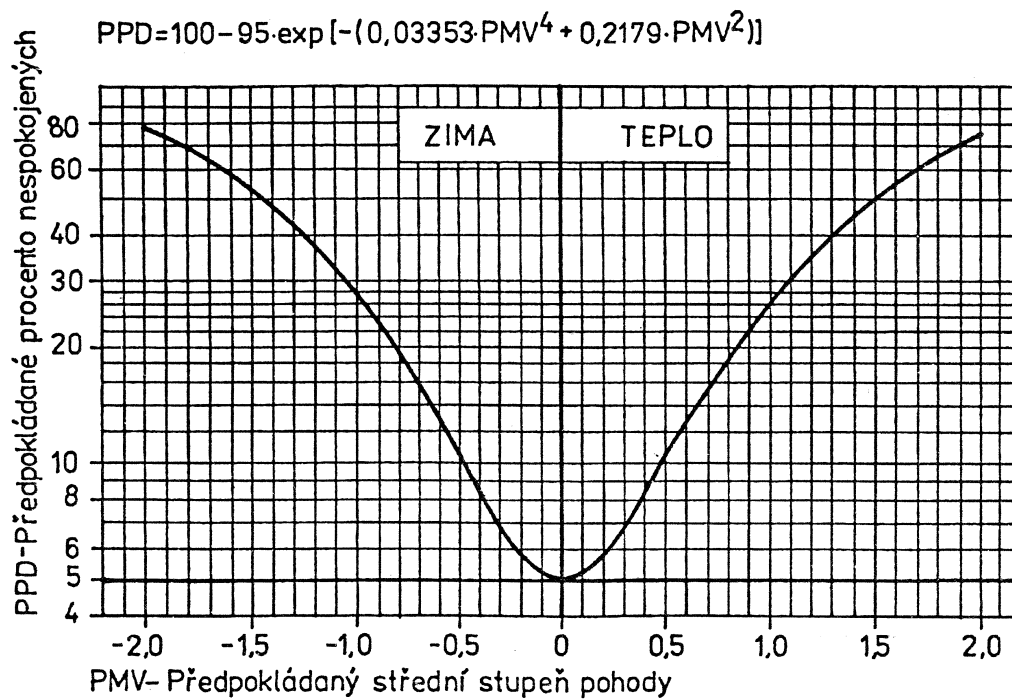
Index *PMV* se zjišťuje za předpokladu známé tělesné činnosti (metabolizmu), izolace oděvu, teploty a vlhkosti vzduchu, povrchové teploty konstrukcí a rychlosti proudění vzduchu. Fyziologické reakce termoregulačního systému, ze kterých byly odvozeny vztahy pro určení kritéria *PMV*, byly zjištěny a statisticky zpracovány z výsledků výzkumů provedených s 1300 respondenty.

$$\begin{aligned}
 PMV = & (0,303 \cdot e^{-0,036M} + 0,028) \cdot \{(M - W) - \\
 & - 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot [5733 - 6,99 \cdot (M - W) - p_d] - \\
 & - 0,42 \cdot [(M - W) - 58,15] - 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5867 - p_d) - \\
 & - 0,0014 \cdot M \cdot (34 - \theta_{ai}) - 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(\theta_{cl} + 273)^4 - (\theta_r + 273)^4] - \\
 & - f_{cl} \cdot h_o \cdot (\theta_{cl} - \theta_{ai}) \}
 \end{aligned} \tag{2.19}$$

kde	θ_{cl}	je	povrchová teplota oděvu ve °C, $t_{cl} = 35,7 - 0,028 \cdot (M - W) - R_{cl} \cdot \{3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(\theta_{cl} + 273)^4 - (t_{sim} + 273)^4] + f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_{ai})\}$
	h_c		součinitel přestupu tepla konvekcí ve $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$, $h_c = 2,38 \cdot (t_{cl} - t_{ai})^{0,25}$ pro $2,38 \cdot (t_{cl} - t_{ai})^{0,25} > 12,1 \cdot v_{ai}^{0,5}$ $h_c = 12,1 \cdot v_{ai}^{0,5}$ pro $2,38 \cdot (t_{cl} - t_{ai})^{0,25} < 12,1 \cdot v_{ai}^{0,5}$
	f_{cl}		poměr plochy povrchu oděného člověka k ploše povrchu bez oděvu, $f_{cl} = 1,00 + 1,290 \cdot R_{cl}$ pro $R_{cl} \leq 0,078 \text{ m}^2 \cdot K \cdot W^{-1}$ $f_{cl} = 1,05 + 0,645 \cdot R_{cl}$ pro $R_{cl} > 0,078 \text{ m}^2 \cdot K \cdot W^{-1}$
kde	M	je	energetický výkon člověka, ve $W \cdot m^{-2}$,
	W		vnější mechanický výkon ve $W \cdot m^{-2}$, nejčastěji je roven nule,
	R_{cl}		tepelný odpor oděvu, v $m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$,
	θ_{ai}		teplota vzduchu ve °C,
	θ_r		střední radiační teplota (účinná teplota okolních ploch) ve °C,
	v_{ai}		relativní rychlost proudění vzduchu (vzhledem k pohybu člověka) v $m \cdot s^{-1}$,
	p_d		parciální tlak vodní páry v Pa.

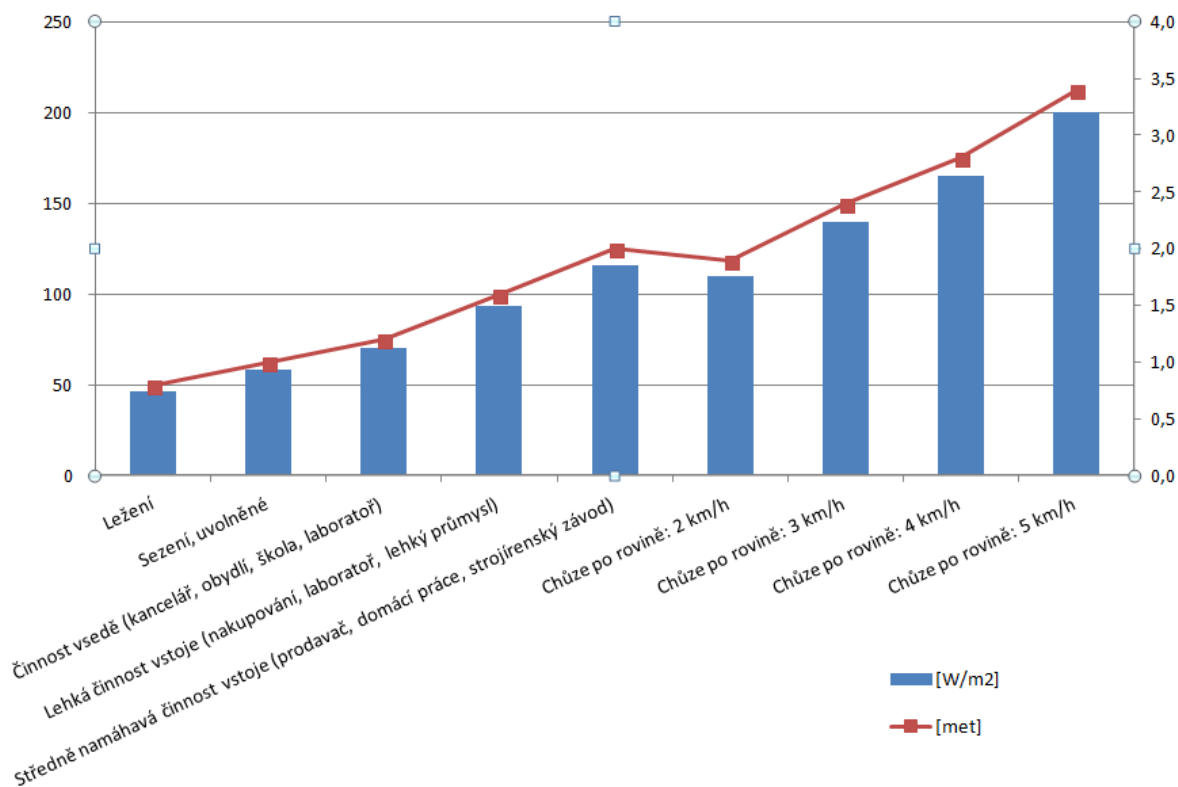
Index *PMV* se doporučuje používat pro rozmezí hodnot od -2 do +2, viz Obr. 9. Pro šest hlavních parametrů se doporučují následující intervaly:

M	46 až 232 $W \cdot m^{-2}$ (0,8 až 4 met),
θ_{ai}	10 až 30 °C,
v_{ai}	0 až 1 $m \cdot s^{-1}$,
θ_{sim}	10 až 40 °C,
R_{cl}	0 až 0,310 $m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$ = 0 až 2,00 clo,
p_d	0 až 2700 Pa (φ_{ai} = 30 až 70 %).



Obr. 9 Vztahy mezi činiteli PMV a PPD [9]

Energetický výkon člověka M , je možno použít z grafu na Obr. 8, kde jsou údaje, které mají vztah k pracovnímu prostředí nebo z grafu na Obr. 10, kde jsou uvedeny další činnosti.



Obr. 10 Energetický výkon (výdej) člověka podle [9]

Poznámka: $1 \text{ met} = 58 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$

Izolační schopnosti běžného oděvu jsou uvedeny v Tab. 11.

Tab. 11 Tepelná izolace běžného oděvu podle [9].

Druh denního oblečení	Tepelný odpor oděvu (R_{cl})	
	[clo]	[m ² .K/W]
Kalhotky, tričko, šortky, tenké ponožky, sandály	0,30	0,050
Spodky, košile s krátkými rukávy, lehké kalhoty, tenké ponožky, boty	0,50	0,080
Kalhotky, spodnička, punčochy, šaty, střevíce	0,70	0,105
Spodní prádlo, košile, kalhoty, ponožky, boty	0,70	0,115
Kalhotky, košile, kalhoty, bunda, ponožky, boty	1,00	0,155
Kalhotky, punčochy, halenka, dlouhá sukně, bunda, boty	1,10	0,170
Spodní prádlo s dlouhými rukávy a dlouhými nohavicemi, košile, kalhoty, svetr V, bunda, ponožky, boty	1,30	0,200
Spodní prádlo s krátkými rukávy a nohavicemi, košile, kalhoty, vesta, bunda, kabát, ponožky, boty	1,50	0,230

2.6.6 Předpokládané množství nespokojených osob

Kritérium předpokládaného množství nespokojených osob PPD vychází z indexu PMV , s jehož pomocí se kvantifikují nespokojené osoby s tepelně vlhkostním prostředím podle vztahu:

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp\left(-\left(0,03353 \cdot PMV^4 + 0,2179 \cdot PMV^2\right)\right) \quad (2.20)$$

Jde tedy o předpověď procenta osob nespokojených s tepelným prostředím, které pociťují jako příliš chladné nebo příliš teplé. Vedle předpokládaného množství nespokojených osob považuje zbývající množství osob teplotní stav za neutrální, popř. mírně chladný, anebo mírně teplý. Pro účely normy ČSN EN ISO 7730 Ergonomie tepelného prostředí (9) jsou za nespokojené s tepelným prostředím považovány ty osoby, které budou ze sedmibodové stupnice tepelných pocitů volit horko, teplo, chladno nebo zima. Vztah veličin PMV a PPD je patrný z grafu na Obr. 9.

Za akceptovatelné lze doporučit, aby PPD bylo pro jednotlivá roční období nižší než 10 %, což odpovídá nerovnosti:

$$-0,5 < PMV < +0,5 \quad . \quad (2.21)$$

V rámci předpokládané rozdílnosti jedinců lze podle BSR (ASHRE 55) 1981 R za ještě příznivé prostředí považovat situaci, kdy počet nespokojených osob nebude vyšší než 20 % .

Ukazatelé *PMV* a *PPD* se v ČSN ISO 7730 Ergonomie tepelného prostředí (9) používají k třídění mikroklimatu do tří kategorií podle počtu osob nespokojených s teplotním stavem prostředí:

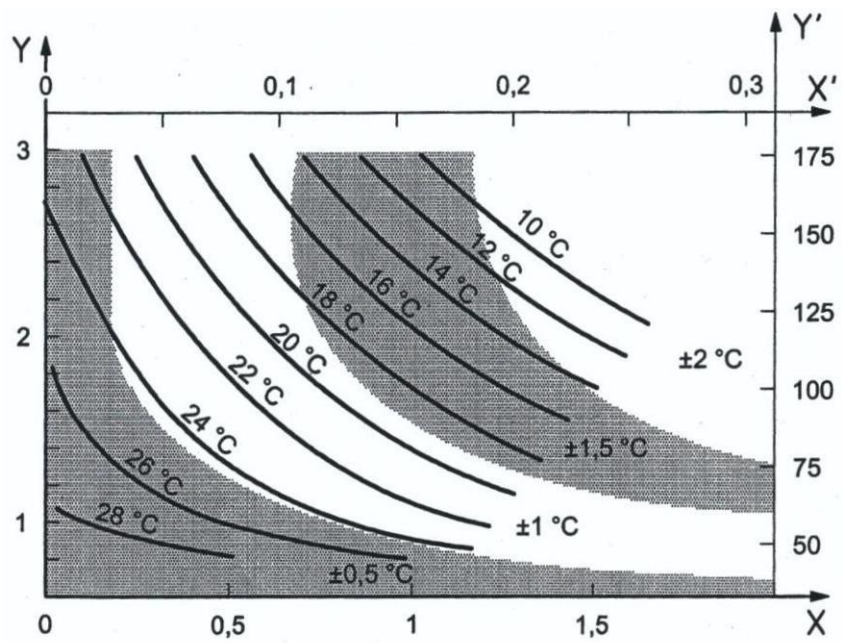
- A - nespokojených je méně než 6 %,
- B - nespokojených je méně než 10 %,
- C - nespokojených je méně než 15 %.

Střední stupeň pohody PVM:

- Pro kategorii A: -0,2 až +0,2,
- Pro kategorii B: -0,5 až +0,5,
- Pro kategorii C: -0,7 až +0,7.

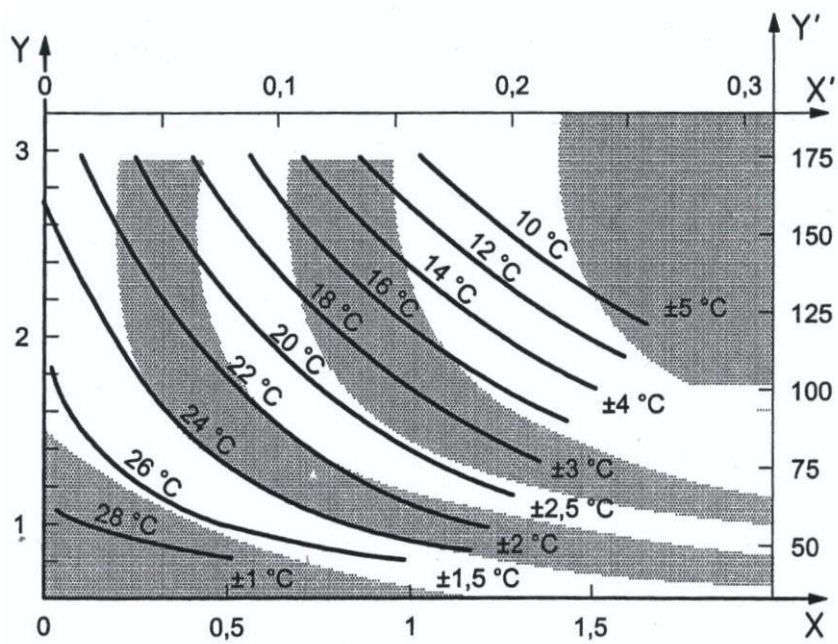
Každá kategorie stanovuje maximální procento nespokojených pro tělo jako celek (*PPD*) a maximální procento nespokojených způsobené nežádoucím ochlazováním nebo oteplováním jednotlivých částí těla nazývané jako místní diskomfort (*PD*).

Při zachování nerovnosti (2.21), resp. Obr. 9, která zajišťuje max. 10 % nespokojených osob, je na obrázcích, viz. Obr. 11 (kat. A) a Obr. 12 (kat. B), znázorněno, jakých optimálních operativních teplot by v interiéru mělo být dosaženo, a dále přípustný rozsah teplot jako funkce oděvu a činnosti osob. V grafech jsou tedy uvedeny oblasti a teplotní rozpětí \pm ve $^{\circ}\text{C}$, které ještě stále zajišťují uvedenou nerovnost. Např. při tělesné činnosti 1 met a tepelném odporu oděvu 1 clo může pro kategorii B operativní teplota 24°C kolísat v rozsahu $\pm 2^{\circ}\text{C}$. Optimální operativní teploty jsou pro tyto tři kategorie stejné, zatímco přípustný rozsah teplot kolem optimální operativní teploty se mění (pro *PMV* = 0). Uvedené závislosti platí pro 50% relativní vlhkost vzduchu a předpokládanou rychlost proudění vzduchu v prostoru méně než 0,1 m/s.



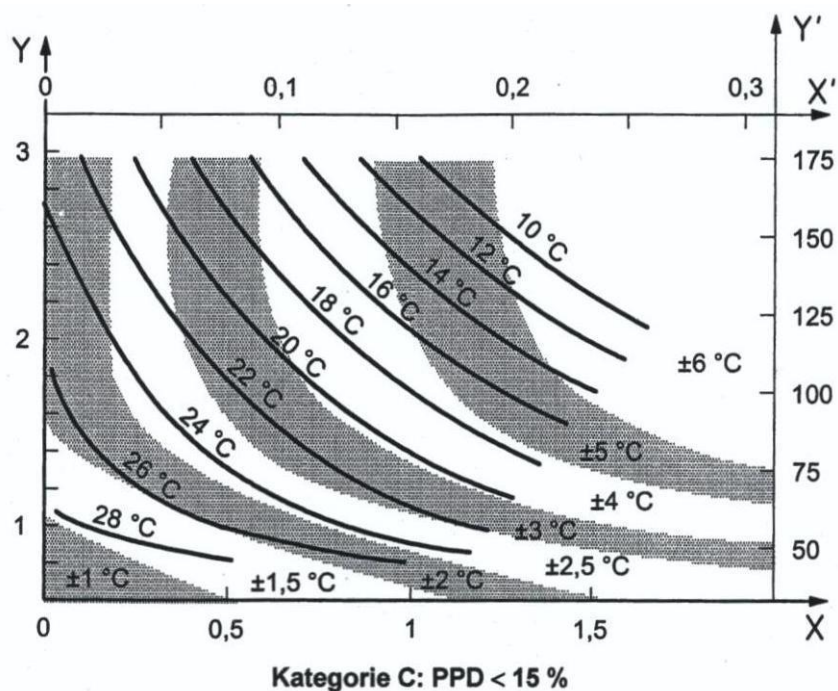
Kategorie A: PPD < 6 %

Obr. 11 Optimální operativní teplota jako funkce oděvu a činnosti pro kategorii A [9]



Kategorie B: PPD < 10 %

Obr. 12 Optimální operativní teplota jako funkce oděvu a činnosti pro kategorii B [9]



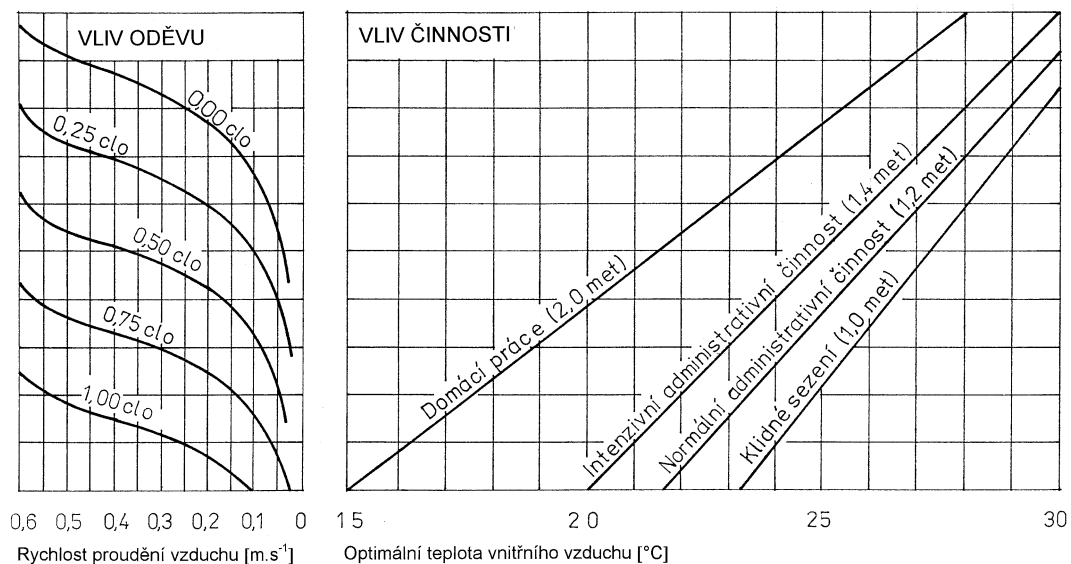
Obr. 13 Optimální operativní teplota jako funkce oděvu a činnosti pro kategorii C [9]

Legenda pro Obr. 11 až Obr. 13:

- PPD předpověď procentuálního podílu nespokojených, %
- X základní izolace oděvu, v jednotkách tepelného odporu oděvu, (clo)
- X' základní izolace oděvu, v jednotkách tepelného odporu oděvu, $m^2 \cdot ^\circ C/W$
- Y metabolismus, v metabolických jednotkách, (met)
- Y' metabolismus, v metabolických jednotkách, W/m^2

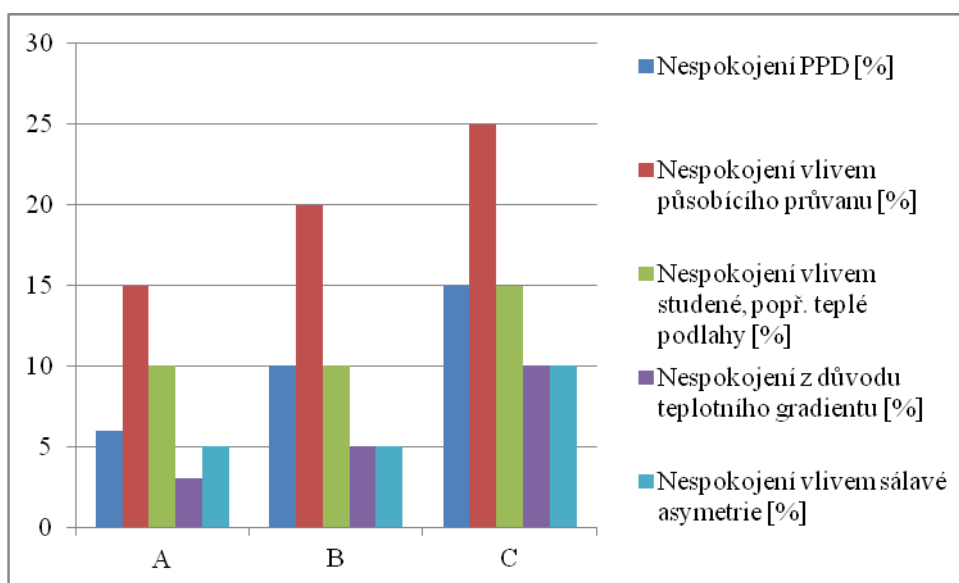
V reálných podmínkách jsou na teplotní stav nejnáročnější činnosti spojené s lehkou prací sedavého typu s energetickým výkonem blízkým $M = 70 \text{ W} \cdot m^{-2} = 1,20 \text{ met}$, například práce v administrativě a činnosti v obytných prostorech. Pro tyto prostory se v chladném období udávají operativní teploty pro kategorii B v rozmezí 20 až 24 °C, v teplém období se má operativní teplota pohybovat v rozmezí 23 až 26 °C a teploty povrchů podlah se mají pohybovat v rozsahu od 19 do 29 °C. Přitom relativní vlhkost se má v obou obdobích pohybovat v rozsahu 30 až 70 %.

Optimální teplota vnitřního prostředí se dá jednoduše určit také pomocí grafu z Obr. 14, který byl odvozen z parametrů ISO 7730. Je zde vyjádřena závislost rychlosti proudění vzduchu, druhu oblečení a činnosti na volbu optimální teploty. Tak například pro lehce oblečeného člověka s oděvem s $R_{cl} = 0,75 \text{ clo}$ ($0,12 \text{ m}^2 \cdot K \cdot W^{-1}$), pracujícího intenzivně v kanceláři, kde rychlost proudění vzduchu $v_{ai} = 0,15 \text{ m} \cdot s^{-1}$, vychází optimální teplota $\theta_o = 22,2 \text{ }^\circ C$, což je také v intencích směrnice o hygienických požadavcích na pracovní prostředí.



Obr. 14 Vztahy mezi rychlostí proudění vzduchu, oděvem, činnostmi a optimální vnitřní teplotou $1,00 \text{ clo} = 0,16 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$, $1 \text{ met} = 58 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, $\varphi_{ai} = 50 \%$

Ukazatele *PMV* a *PPD* vyjadřují diskomfort z tepla nebo chladu pro tělo jako celek. Vlivy, kterým jsou osoby vystaveny v místě jejich pobytu např. průvanu, příliš teplou nebo studenou podlahou, teplotním gradientem, asymetrií radiční plochy, a které působí jen v části prostoru, mohou způsobovat stav nepohody nazývaný místní tepelný diskomfort. V grafu na Obr. 15 je vyjádřeno, jak se z hlediska subjektivních teplotních pocitů projeví lokální diskomfort. Tak např. pokud se index *PMV* bude pohybovat v rozpětí kategorie *B*, potom předpokládaný počet nespokojených bude menší než 10 %, průvan jako činitel nepohody bude vnímat maximálně 20 %, příliš teplou (nebo studenou) podlahu 10 %, vliv teplotního gradientu 5 % a vliv asymetrické radiace 5 % respondentů.



Obr. 15 Charakteristika mikroklimatických kategorií stanovených podle indexů *PMV* a *PPD*

2.6.7 Výsledná teplota jako činitel kvality mikroklimatu

Výsledná teplota θ_r je činitelem tepelné pohody vnitřního prostředí budov a je zpravidla rovna globální teplotě θ_g . Přitom vzájemné vazby mezi výslednou teplotou θ_r , popřípadě globální teplotou θ_g a teplotou operativní θ_o jsou definovány v kapitole 2.5.2.

Výsledná teplota se stanoví vztahem:

$$\theta_r = 0,5 \cdot (\theta_{ai} + \theta_{sim}) \approx \theta_g \quad , \quad (2.22)$$

kde θ_r je výsledná teplota ve °C,
 θ_{ai} teplota vnitřního vzduchu ve °C,
 θ_{sim} vážený průměr průměrných povrchových teplot konstrukcí dané místnosti ve °C,
 θ_g výsledná teplota kulového teploměru (nazývaná i globální teplota) ve °C.

Váhami jsou příslušné vnitřní plochy stavebních konstrukcí A_j s definovanými součiniteli prostupu tepla U_j . Průměrná povrchová teplota konstrukcí $\theta_{sim,m}$ se stanoví ze vztahu:

$$\theta_{sim,m} = \frac{\sum \theta_{sim,j} \cdot A_j}{\sum A_j} \quad , \quad (2.23)$$

kde $\theta_{sim,m}$ je průměrná teplota na vnitřním povrchu konstrukce ve °C,
 $\theta_{sim,j}$ průměrná povrchová teplota j -té konstrukce dané místnosti ve °C,
 A_j plocha j -té konstrukce dané místnosti v m².

Výsledná teplota θ_r se na stanovišti zjišťuje pomocí kulového výsledného teploměru uprostřed půdorysu místnosti ve výšce 1000 mm nad nášlapnou vrstvou podlahy. Celkový tepelný stav se ve vytápěné místnosti posuzuje podle takto naměřené výsledné teploty. Rozlišujeme přitom:

- kulový teploměr Vernon-Joklův,
- kulový teploměr podle ISO 7726.

Orientačně lze výslednou teplotu stanovit i běžným rtuťovým teploměrem. Naměřená hodnota se potom koriguje na teplotu výslednou. Měření opět proběhne ve výšce 1000 mm nad podlahou uprostřed místnosti bez vlivu oslunění. Předpokládá se, že požadovaná výsledná teplota je dosažena, pokud teplota vzduchu θ_{ai} je vyšší o 1 °C v místnosti s jednou ochlazovanou stěnou, o 1,5 °C v místnosti se dvěma ochlazovanými stěnami a o 2 °C

v místnosti se třemi nebo více ochlazovanými stěnami, či s nadměrným zasklením. Při aplikaci této metody je výsledná teplota průměrem teploty registrované po celou dobu měření, nebo se určí jako čtvrtina součtu teplot naměřených v 8, 12, 16 a 21 hodin:

$$\theta_i = \frac{\theta_8 + \theta_{12} + \theta_{16} + \theta_{21}}{4} . \quad (2.24)$$

Výpočtová vnitřní teplota θ_i je potom výslednou teplotou. Platí pro vnitřní prostory budov jak pro účely navrhování a posuzování stavebních konstrukcí, tak i pro výpočty tepelných ztrát při ústředním vytápění.

Tab. 12 Výpočtová vnitřní teplota θ_i ve vytápěných místnostech, upraveno podle [16]

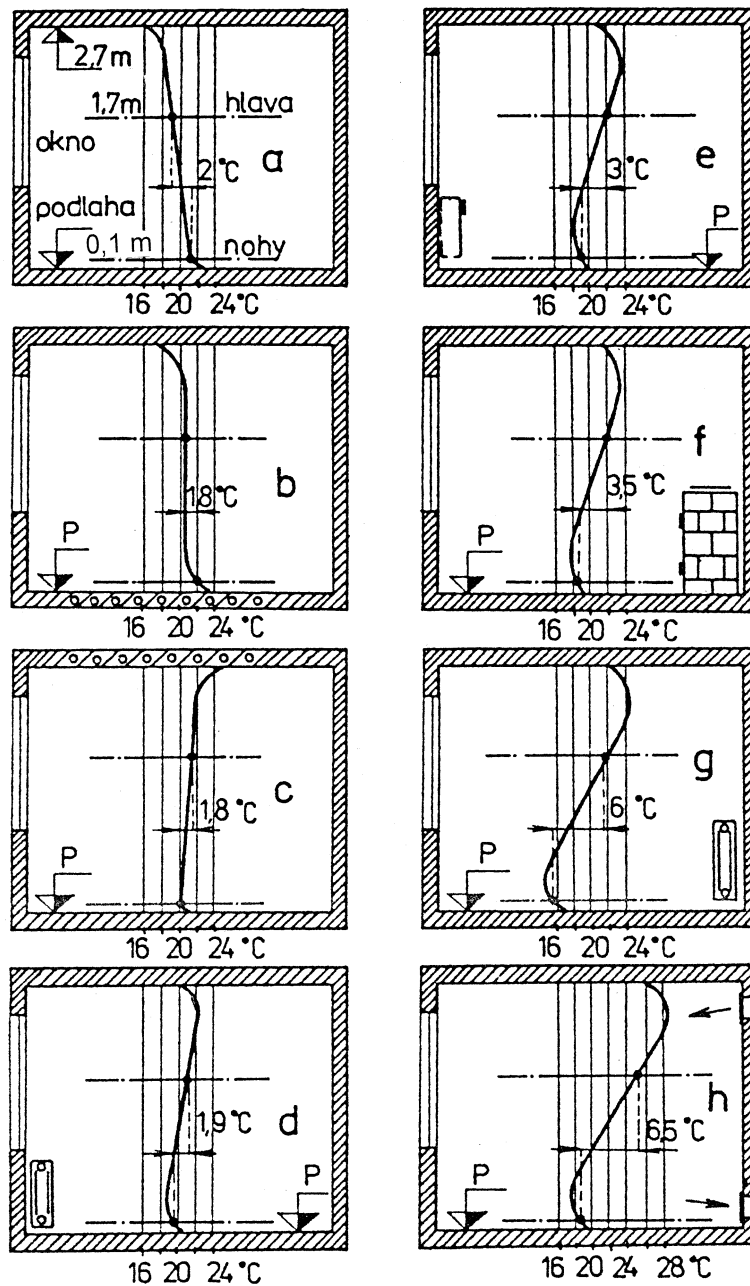
Druh vytápěné místnosti	Výpočtová vnitřní teplota $\theta_{int,i}$ (°C)
1 OBYTNÉ BUDOVOY	
1.1 trvale užívané	
obývací místnosti, tj. obývací pokoje, ložnice, jídelny, jídelny s kuchyňským koutem, pracovny, dětské pokoje	20
kuchyně	20
koupelny	24
klozety	20
vytápěné vedlejší místnosti (předsín, chodby aj.)	15
vytápěná schodiště	10
1.2 občasné 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 (předsín, chodby aj.)	15
vytápěná schodiště	10
- mimo provoz	5
2 ADMINISTRATIVNÍ BUDOVOY	
kanceláře, čekárny, zasedací síně, jídelny	20
vytápěné vedlejší místnosti (chodby, hlavní schodiště, klozety aj.)	15
vytápěná vedlejší schodiště	10
haly, místnosti s přepážkami	18
3 ŠKOLNÍ BUDOVOY	
učebny, kreslírny, rýsovný, kabinety, laboratoře, jídelny	20
učební dílny	18
tělocvičny	15
šatny u tělocvičen	20

Druh vytápěné místnosti	Výpočtová vnitřní teplota $\theta_{int,i}$ (°C)
lázně a převlékárny	24
ordinace a ošetřovny	24
vytápěné vedlejší místnosti (chodby, schodiště, klozety, šatny jen pro svrchní oděv aj.)	15
mateřské školy	
- učebny, herny, lehárny	22
- šatny pro děti	20
- umývárny pro děti, WC	24
- izolační místnosti	22
4 ZDRAVOTNICKÁ ZAŘÍZENÍ	
4.1 jesle	
- učebny, herny, lehárny	22
- šatny pro děti	20
- umývárny pro děti, WC	24
- izolační místnost	22
4.2 zdravotnická střediska, polikliniky, ordinace	24
čekárny, chodby, WC	20
4.3 nemocnice	
pokoje pro nemocné	22
vyšetřovny, přípravny	24
koupelny	24
operační sály	25
předsíně, chodby, WC, schodiště	20
4.4 domovy důchodců	
obývací místnosti, tj. obývací pokoje, ložnice, jídelny, jídelny s kuchyňským koutem, pracovny, kuchyně	20
koupelny	24
klozety	20
vytápěné vedlejší místnosti (předsín, chodby aj.)	15
vytápěná schodiště	10
5 OBCHODNÍ	
prodejní místnosti všeobecně	20
prodej trvanlivých potravin	18
prodej masa, mléčných výrobků, ovoce	15
vytápěné vedlejší místnosti (chodby, klozety aj.)	15
vytápěná schodiště	10
kancelářské místnosti	20
chladírny	2 až 5
sklady	dle požadavků
6 HOTELY A RESTAURACE	

Druh vytápěné místnosti	Výpočtová vnitřní teplota $\theta_{int,i}$ (°C)
pokoje pro hosty	20
koupelny	24
hotelové haly, zasedací místnosti, jídelny, sály	20
hlavní schodiště	15
kuchyň	24
vedlejší místnosti (chodby, klozety aj.)	15
vedlejší schodiště	10
7 KOLEJE A UBYTOVNY	
pokoje, hovorny, společenské místnosti	20
společná nocelehárna	16 až 18
umývárna	24
zařízení mimo provoz	5
8 DIVADLA, KINA, KONCERTNÍ SÁLY	
hlediště a sály včetně přilehlých prostorů	20
chodby, schodiště, klozety	15
kancelářské místnosti	20
šatny pro účinkující	22 až 24
koupelny	24
výstavní sály, depozitáře (nebo podle zvláštních požadavků)	15

Z Tab. 12 je zřejmé, že v našich střeoevropských podmínkách lze považovat za optimální pro vytápění obytných a administrativních budov, kde člověk vykonává jen velmi lehkou fyzickou práci, popř. pracuje duševně nebo odpočívá, rozmezí výsledných teplot od 18 do 20°C. Vyšší teploty by měly být vyhrazeny jen pro osoby nemocné, staré a malé děti. V ostatních případech znamená zvyšování teploty nad 22 °C nejen plýtvání teplem (v průměru se zvýší spotřeba tepelné energie až o 6 % při zvýšení vnitřní teploty o 1 °C), ale také zchoulostivění organismu, ohrožení zdraví člověka a snižování pracovního výkonu.

Přitom je nutno ještě upozornit, že teplota vzduchu není většinou v celé místnosti stejná. Je proto nutné posuzovat také její místní změny. Důležitá je zejména její vertikální nerovnoměrnost. Ve vytápěných místnostech vzniká vlivem nestejnomyerného, lokálně omezeného, přívodu tepla a nestejnomyerného ochlazování jednotlivých stěn místností. Tato vertikální nerovnoměrnost teploty vzduchu je tím větší, čím vyšší je povrchová teplota otopné plochy. Vertikální rozložení teploty vzduchu při různých způsobech vytápění je znázorněno na Obr. 16 (Halahyja, Chmúrny, Sternová, 1998). Problémy vznikají především u konvekčních způsobů vytápění, kde se zvětšenou cirkulací vzduchu podporuje zvyšování teploty s výškou. V uvedených případech je zachycen rozdíl mezi teplotou vzduchu v místě hlavy (ve výšce 1700 mm nad podlahou) a teplotou v místě nohou (ve výšce 100 mm nad podlahou):



Obr. 16 Vertikální průběh teploty vzduchu ve středu místnosti při různých způsobech vytápění.

a - ideální vytápění, b - podlahové vytápění, c - stropní sálavé vytápění, d - teplovodní vytápění s radiátorem u parapetu, e - konvektorové vytápění na vnější stěně, f - lokální vytápění kachlovými kamny, g - teplovodní vytápění s radiátorem na vnitřní stěně, h - teplotovzdušné vytápění

3 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

Při navrhování a provádění staveb s konstrukcemi na dřevěné materiálové bázi dochází v současné době k výraznému posunu. Je snaha projektovat a provádět tyto stavby jako stavby ekologické a s nízkou spotřebou energie. Tedy jako stavby s úsporným provozem, nízkou ekologickou zátěží a kvalitním vnitřním prostředím. Tomuto vývoji odpovídají konstrukce obvodového pláště pro tyto stavby. Za přispění technických norem pro tepelnou techniku je snahou projektantů dosáhnout u těchto nízkoenergetických staveb ze dřeva co nejnižších tepelných ztrát snížením součinitele prostupu tepla obvodových konstrukcí, a snížením či eliminací jejich průvzdušnosti. Ne vždy projektanti uvažují o zajištění kvality vnitřního prostředí v teplém ročním období a ve všech provozních stavech a tak často nejsou zajištěny všechny základní stavebně-technické požadavky kladené na tyto stavby, a ne vždy je také provozně zabezpečena hygiena a ochrana zdraví uživatelů těchto staveb. Zvyšující se relativní vlhkost vnitřního prostředí má zcela evidentně negativní vliv na zvýšení vlhkosti dřeva a tepelných izolací v konstrukcích. Takto navržené a realizované stavby ze dřeva (dřevostavby) jsou potom vystaveny zvýšenému riziku napadení plísněmi (mikromycetami) a houbami. S ohledem na výše uvedené skutečnosti jsou cíle mé disertační práce tyto:

- 1) Vytvoření výpočetního modelu dřevostavby pro zkoumání tepelně vlhkostních parametrů a toků v prostoru a v konstrukcích.
- 2) Využití vytvořeného modelu k řešení kvality vnitřního prostředí dřevostaveb se zaměřením na možnosti ovlivnění tepelně vlhkostního mikroklimatu (TVM).
- 3) Experimentální ověření modelového řešení a subjektivní hodnocení kvality vnitřního prostředí dřevostaveb.
- 4) Stanovení kritérií pro tvorbu optimálního TVM v dřevostavbách s aktivními dřevěnými plochami umístěnými ve stavbě.

3.1 VYTVOŘENÍ VÝPOČETNÍHO MODELU DŘEVOSTAVBY

V rámci cílů DP byl vytvořen matematicko-fyzikální model dřevostavby typového objektu RD v počítačovém programu BSim. Tento software byl vytvořen pro komplexní analýzu vnitřního mikroklimatu a simulaci energetické bilance v budovách. Při simulaci byly zohledňovány změny teplot v jednotlivých místnostech za pomoci tzv. Kappa modelu, se kterým program pracuje. Tento model umožňoval například svislé rozdělení teplot v místnosti a nastavení různých okrajových podmínek. Dalším využitím aplikace BSim bylo rozdělení analyzovaného objektu do zón a tím byla dána možnost řešení každé místnosti nebo části budovy samostatně, avšak při vzájemném ovlivňování prostředím v okolních zónách. Díky tomuto dělení bylo tedy možné rozdílné modelování systémů v různých místnostech.

Systémy byly jednou z důležitých částí výpočetního modelu počítačového programu BSim z hlediska modelování co nejrealnějších hodnot vnitřního mikroklimatu. Volbou a nastavením systémů (např. vytápění, větrání, přítomnost osob, zařízení - spotřebiče, atd.) bylo možné simulovat mimo jiné teplotní a vlhkostní parametry vnitřního prostředí objektu. Pro každý ze systémů byla v návaznosti na reálné zkoumané objekty definována období v rámci roku, týdne i dne, kdy je tento konkrétní systém ovlivňující vnitřní klima aktivní. Systémy byly nastaveny pro každou ze zón (resp. pro každý z prvků) zvlášť, čímž bylo dosaženo reálnější simulace pobytu osob, jejich aktivit nebo používání spotřebičů v různých částech budovy. Jednotlivé systémy uvažované v modelu, které pracovaly v rozsahu zón, jsou popsány dále v kapitole 4.

Na základě dat z příslušné hydrometeorologické stanice proběhla aktualizace databáze klimatických dat v posuzované lokalitě z důvodu přesnějšího zasazení modelu do konkrétního vnějšího prostředí. Databáze pracovala se soubory v ASCII formátu, a to s hodinovými daty po dobu jednoho referenčního roku.

3.2 VYUŽITÍ MODELU K ŘEŠENÍ KVALITY VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ DŘEVOSTAVEB

Po vytvoření matematicko-fyzikálního modelu dřevostavby se zaměřením na možnosti ovlivnění tepelně vlhkostního mikroklimatu vnitřního prostředí dřevostaveb byly nastaveny různé okrajové podmínky a simulovány stacionární i nestacionární fyzikální děje. V modelu byly vyčleněny čtyři zóny, odpovídající jednotlivým místnostem, ve kterých byly umístěny měřiče při sledování reálného chování mikroklimatu v referenčním RD. Pátou zónou potom byly zbývající místnosti a vnitřní prostory objektu. Zóny byly charakterizovány stejnou teplotou interiéru a provozním schématem. Účelem modelování bylo zjištění vlivu různých okrajových podmínek na vnitřní klimatické prostředí v dřevostavbách. Hlavními sledovanými parametry byly vnitřní teplota a vlhkost vzduchu v objektu.

Pro účely hodnocení vlivů okrajových podmínek na tyto sledované parametry byly, kromě výchozího modelu, provedeny celkem 4 simulace. Okrajovými podmínkami měněnými v původním modelu byly:

- systém SolarShading - deregulace propustnosti okenních výplní (Simulace 2),
- přirozené větrání objektu otevíráním oken – jeho eliminace (Simulace 3),
- akumulací vlastností podlahy v přízemí objektu – zvětšení mocnosti podkladního betonu podlahy o 100 mm (Simulace 4),
- změna vnitřního povrchu stěn a stropu objektu – nahrazení cemento-vápenné omítky obkladem z dřevěných desek z jehličnatého dřeva o tloušťce 20mm (Simulace 5).

Ovlivňování mikroklimatu dřevostavby bylo modelováno pomocí následujících systémů:

- teplotní a vlhkostní zátěž od zařizovacích předmětů a spotřebičů v RD byly zohledněny systémem Equipment, s tím, že rozdílný stupeň využití spotřebičů v jednotlivých místnostech a různých částech dne byl zohledněn denními profily pro jednotlivé sledované zóny budovy, s rozlišením na pracovní dny a víkendy,
- ovlivnění vnitřního klimatu domu přítomností osob bylo vyjádřeno systémem PeopleLoad, kdy byla simulována, v souladu se vstupními reálnými daty referenčního RD, přítomnost 5-ti osob v objektu,
- vytápění bylo charakterizováno zadáním výkonu a definováním limitní teploty,
- v obytných místnostech bylo simulováno přirozené větrání otevřenými okny systémem Venting, v koupelně byla výměna vzduchu simulována jako nucené větrání systémem Ventilation,
- vliv tepelné energie z vnitřního osvětlení byl nastaven na běžné hodnoty, odpovídající sledovaným objektům,
- provozní doba osvětlení byla uvažována podle ročního období, tedy v závislosti na délce přirozeného slunečního svitu. V období duben až říjen byla provozní doba vnitřního osvětlení nastavena na časové rozmezí 21 – 24h, v období říjen až březen na 6 – 8h a 18 – 24h.

3.3 EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ A SUBJEKTIVNÍ HODNOCENÍ

Pro experimentální ověření byly vybrány 4 typové RD-dřevostavby střední velikosti. Jednalo se o obydlené novostavby v různých lokalitách. Označení jednotlivých domů je RD1 – RD4. Jednalo se o nepodsklepené objekty o jednom nadzemním podlaží s obytným podkrovím. V 1. nadzemním podlaží (1. NP) je při vstupu z uliční části pozemku zádveří, koupelna, místnost pro kotelní ÚT, pokoj a obývací pokoj s kuchyňským koutem. V obývacím pokoji s kuchyňským koutem je umístěno schodiště do podkroví. Z obývacího pokoje je také přístup přímo na terasu za domem. V obytném podkroví je umístěna koupelna se sprchovým koutem a umyvadlem, samostatné WC a 4 pokoje, z toho 2 pokoje s přístupem na terasu, resp. balkon. V jednotlivých RD proběhlo v letních a zimních měsících roků 2010-2011 měření vlhkosti a teploty, v RD1 a RD2 také měření hodnoty CO₂. Měření byla zahájena 25. 2. 2010 a byla ukončena 23. 3. 2011. Vnitřní prostředí v objektech dřevostaveb RD bylo měřeno datalogery S 3120, které byly umístěny v jednotlivých místnostech. Měřicí přístroje byly označeny čísly č. 1 – č. 4, byla provedena jejich fotodokumentace a zakreslení do půdorysných schémat jednotlivých objektů.

V rámci hodnocení TVM v jednotlivých RD byli uživatelé formou dotazníku s názvem „Jak hodnotí bydlení uživatelé“ dotazováni na jejich subjektivní pocit z bydlení.

V rámci hodnocení TVM však nebylo přikročeno ke stanovení předpokládaného procentního podílu nespokojených, které je vyjádřeno činitelem PPD, protože vzorek

respondentů (uživatelů) RD nebyl v tomto případě reprezentativní skupinou, jednalo se o rodiny se čtyřmi, respektive pěti členy. Při orientačním výpočtu v nepříznivých podmínkách v letním období dosahoval index PPD až 60%.

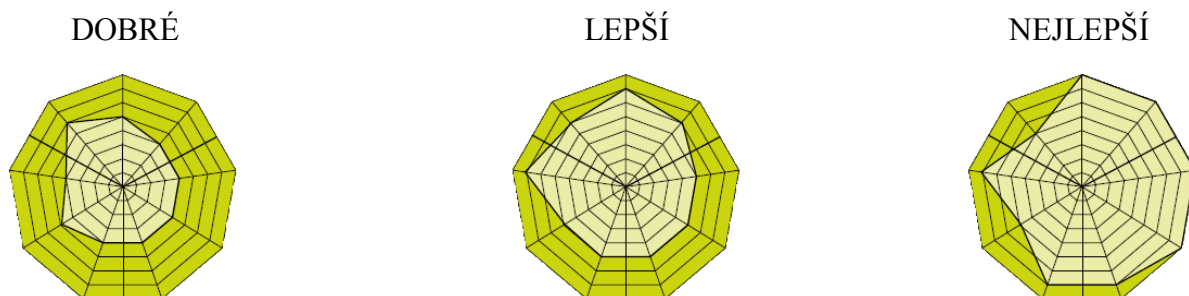
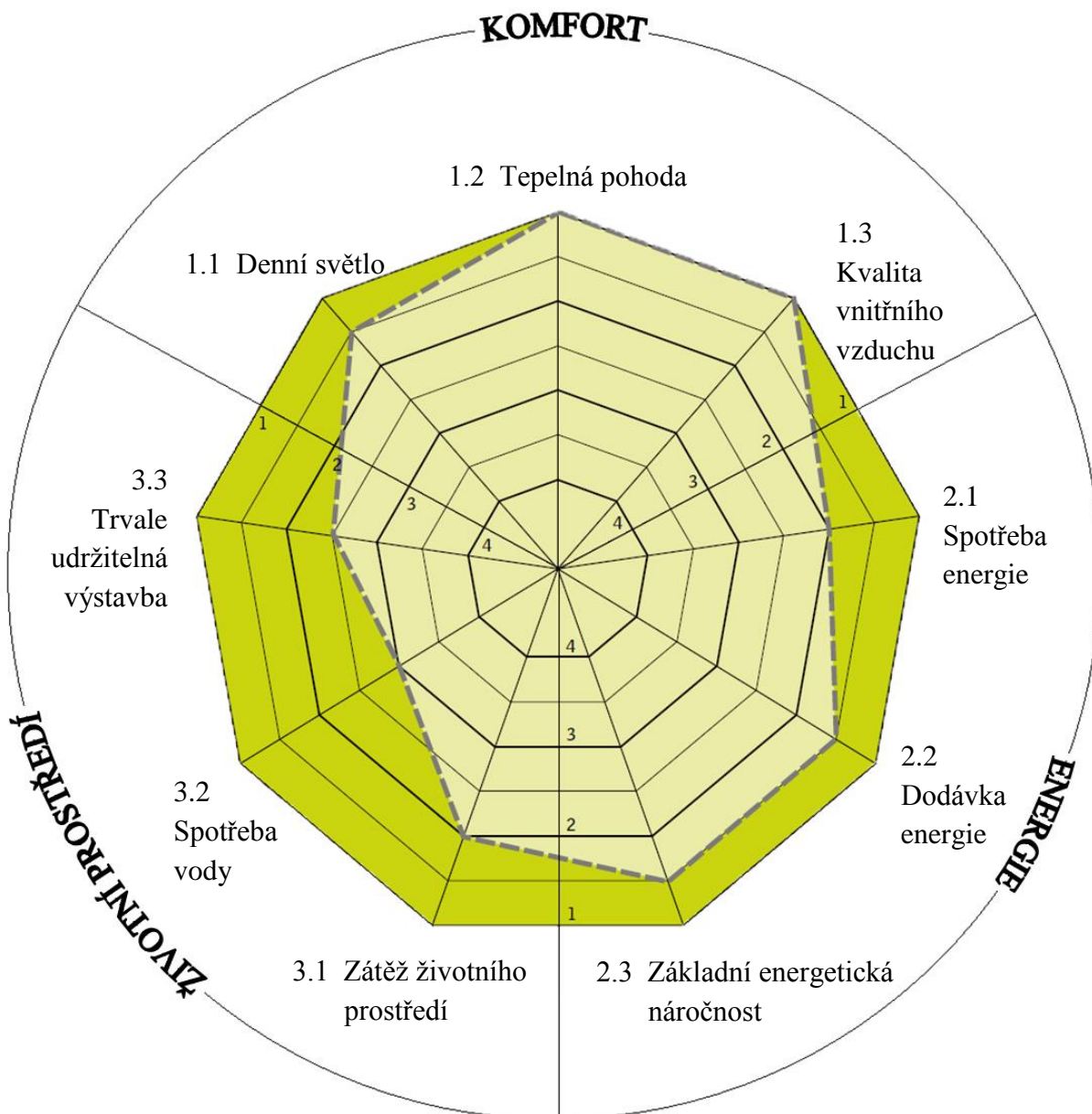
3.4 STANOVENÍ KRITÉRIÍ PRO TVORBU OPTIMÁLNÍHO TVM

Kritéria pro dřevostavby v obecné rovině zahrnují kvalitu vnitřního prostředí, energetickou náročnost a kvalitu životního prostředí. V návaznosti na úroveň tepelné ochrany a těsnosti budov se stanovují požadavky na vytápění a větrání dřevostaveb. Systém vytápění musí být navržen tak, aby během otopného období zajišťoval tepelnou pohodu vnitřního prostředí stavby a zdroje energie byly optimálně využívány.

Systém větrání dřevostaveb musí splňovat požadavky na ochranu zdraví, bezpečnost a provozní spolehlivost. Většina staveb může při vhodných podmínkách využívat přirozené větrání. V ostatních případech se navrhuje mechanické větrání. Výsledkem bývá hybridní systém, který kombinuje oba systémy.

S vývojem energetických potřeb budov, který směřuje k budovám s téměř nulovou spotřebou energie (dle Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU) a k tzv. aktivním budovám, je evropským trendem výzkumných aktivit stanovit základní kritéria pro zajištění nízké spotřeby energie, omezení ekologické zátěže a kvalitní a zdravé vnitřní prostředí budov.

Míra kvality hlavních kritérií může být vyjádřena stupnicí v tzv. radarovém grafu, ze kterého lze stanovit úroveň splnění jednotlivých požadavků a také celkový stav. V Tab. 13 až 15 jsou uvedeny hodnoty kritérií, které byly částečně ověřovány na zkoumaných budovách konstrukčně založených na dřevěném materiálu. Práce nebyla zaměřena vzhledem k rozsahu tématu na osvětlení a spotřebu energie. Tyto výsledky byly získány při spolupráci se zahraničními partnery, především v Dánsku (Technologický institut a Dánská technická univerzita v Lyngby). Pro komplexní návrh a také hodnocení staveb na bázi dřeva je nutné respektovat všechna kritéria uvedená v radarovém grafu.



Obr. 17 Radarový graf hodnocení kvality dřevostaveb

Disertační práce byla zaměřena na tvorbu kritérií TVM v dřevostavbách pro bydlení a v následujících tabulkách jsou kritéria současných doporučených hodnot na základě mezinárodního výzkumu upravena pro zkoumaný typ budov.

Tab. 13 Kritéria pro optimální světlo-technické podmínky dřevostavby

PARAMETR	HODNOTA	KRITÉRIA	BILANCE
1.1.1 Faktor denního světla		Množství denního světla v místnosti je hodnoceno pomocí úrovně faktoru průměrného denního světla na vodorovné pracovní rovině: 1. DF > 5% v průměru 2. DF > 3% v průměru 3. DF > 2% v průměru 4. DF > 1% v průměru	
1.1.2 Dostupnost přímého slunečního světla		Slunečního světla dostupné mezi podzimní a jarní rovnodenností pro alespoň jednu z hlavních obytných místností: 1. Alespoň 10% předpokládaných slunečných hodin 2. Alespoň 7,5% předpokládaných slunečných hodin 3. Alespoň 5% předpokládaných slunečných hodin 4. Alespoň 2,5% předpokládaných slunečných hodin Hodnocení je provedeno v souladu s Britskou normou BS 8206-2:2008 „Lighting for buildings – Part 2: Code of practice for daylight“.	

Dostatečné osvětlení a především dobře navržený prostup denního světla do interiéru je významný faktor z hlediska zdravotních hledisek uživatelů dřevostaveb. Dostatečné množství denního světla a optimální výhled pozitivně ovlivňují chování uživatelů. U dřevostavby je proto důležité, aby stavba umožňovala optimální denní osvětlení a atraktivní výhled do exteriéru. Elektrické osvětlení v průběhu dne by mělo být využito jen zřídka, i z důvodu snížení celkové spotřeby energie na osvětlení. Množství denního světla v místnosti by mělo být hodnoceno pomocí úrovně faktoru průměrného denního světla na vodorovné pracovní rovině (výška stolu cca 0,80m), měly by být vyhodnoceny pro každou místnost zvlášť, a výpočet by měl brát v úvahu i okolní zástavbu. Hodnocení by mělo zahrnovat jak obývací prostory (obývací pokoje, ložnice, dětský pokoj,...), tak pracovní prostory (jídelnu, kuchyň,...). Místnost s nejnižším hodnocením úrovně faktoru průměrného denního světla potom stanovuje úroveň faktoru denního světla pro budovu.

Tab. 14 Kritéria pro vytvoření optimálního tepelně vlhkostního prostředí dřevostavby

PARAMETR	HODNOTA	KRITÉRIA	BILANCE
1.2.1 Maximální operativní teplota		<p>Maximální limity vnitřní teploty platné v období s venkovní teplotou T_{rm} 12°C a více.</p> <p>Maximální vnitřní operativní teploty pro obývací pokoje, kuchyně, studovny, ložnice apod. v bytových jednotkách bez mechanické klimatizace a s odpovídajícími možnostmi přirozeného (příčného nebo komínového) větrání jsou:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. $T_{i,o} < 0,33 \times T_{rm} + 20,8^{\circ}\text{C}$ 2. $T_{i,o} < 0,33 \times T_{rm} + 21,8^{\circ}\text{C}$ 3. $T_{i,o} < 0,33 \times T_{rm} + 22,8^{\circ}\text{C}$ 4. $T_{i,o} < 0,33 \times T_{rm} + 23,8^{\circ}\text{C}$ <p>Parametr T_{rm} je „klouzavý průměr“ venkovní teploty jak je definováno v normě EN 15251:2007 v kapitole 3.11 „External temperature, running mean“</p> <p>Maximální vnitřní operativní teploty pro obývací pokoje apod. v obytných budovách s klimatizací jsou:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. $T_{i,o} < 25,5^{\circ}\text{C}$ 2. $T_{i,o} < 26^{\circ}\text{C}$ 3. $T_{i,o} < 27^{\circ}\text{C}$ 4. $T_{i,o} < 28^{\circ}\text{C}$ <p>Z důvodu větší citlivosti lidí na vyšší teploty ve spánku či při usínání by v ložnicích (především v nočních hodinách) měly být spíše teploty o 2°C nižší než teploty uvedené výše. Naopak v kuchyních mohou být opakovaně dosahovány hodnoty vyšší než výše uvedené (např. během vaření).</p> <hr/> <p>Systém by měl být navržen tak, aby bylo dosaženo uvedených hodnot, uživatelé si však mohou vybrat i jiné</p>	

		nastavení. Zdroj: EN 15251:2007	
1.2.2 Minimální operativní teplota		<p>Minimální limity vnitřní teploty platné v období s venkovní teplotou T_{rm} 12°C a méně.</p> <p>Minimální vnitřní operativní teploty pro obývací pokoje, kuchyně, studovny, ložnice apod. v bytových jednotkách jsou:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. $T_{i,o} < 21^{\circ}\text{C}$ 2. $T_{i,o} < 20^{\circ}\text{C}$ 3. $T_{i,o} < 19^{\circ}\text{C}$ 4. $T_{i,o} < 18^{\circ}\text{C}$ <p>System by měl být navržen tak, aby bylo dosaženo uvedených hodnot, uživatelé si však mohou vybrat i jiné nastavení.</p>	

Dřevostavba by měla nabízet optimální teplotu prostředí, která je zásadní pro pohodu v interiéru. Odpovídající tepelná pohoda, a to jak v létě, tak i v zimě, zlepšuje náladu, zvyšuje výkonnost, v některých případech (např. v domech pro starší osoby), předchází a zmírňuje dopad při případné nemoci. Dřevostavby by měly minimalizovat přehřívání v létě a optimalizovat vnitřní teplotu v zimě bez zbytečného využívání energie.

Tab. 15 Kritéria pro optimální kvalitu vzduchu v prostředí dřevostavby

PARAMETR	HODNOTA	KRITÉRIA	BILANCE
1.3.1 Standardní přísun čerstvého vzduchu		<p>Přísun čerstvého vzduchu v obývacích pokojích, ložnicích, pracovnách a jiných místnostech, které jsou obývány po delší dobu a kde osoby jsou hlavním zdrojem CO_2, by měl být stanoven podle níže uvedených mezních hodnot pro vnitřní koncentrace CO_2:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 500 ppm nad venkovní koncentraci CO_2 	

		2. 750 ppm nad venkovní koncentraci CO ₂ 3. 1000 ppm nad venkovní koncentraci CO ₂ 4. 1200 ppm nad venkovní koncentraci CO ₂	
--	--	---	--

V dřevostavbách by měla být v interiéru odpovídající kvalita vzduchu s ohledem na podráždění sliznic, vznik astmatu a alergií. Odpovídající kvalita vnitřního vzduchu také může přispět k prevenci některých kardiovaskulárních onemocnění. Dřevostavby by také měly poskytovat dobrou kvalitu vzduchu pro uživatele s ohledem na minimalizaci spotřeby energie např. pro ventilaci. To znamená, že přirozené větrání by mělo být použito přednostně, pokud to není možné, použít tzv. hybridní systémy (kombinace přirozeného a nucené větrání), protože i tyto systémy poskytují dobré výsledky z hlediska energetické náročnosti. I když vlhkost má jen malý vliv na teplotní parametry vzduchu a pocity související s teplotou v interiéru, dlouhodobě vysoká vlhkost uvnitř dřevostaveb není žádoucí z důvodu mikrobiálního mikroklimatu. Při provozování dřevostaveb by měly být nastaveny limitní požadavky na hodnotu vnitřní vlhkosti, tak, aby se zabránilo vzniku problémů spojených s vlhkostí a omezilo se riziko napadení plísněmi. Dále musí být zaručen odvod vodních par v prostorách "vlhkých místnostech" (zejména kuchyň, koupelna a WC) a musí být větracími systémy zajištěno, že denní mezní hodnota pro relativní vlhkost v těchto „vlhkých místnostech“ je nižší než 80%. Přívod čerstvého vzduchu by měl být hodnocen z hlediska vnitřní koncentrace CO₂. Koncentrace CO₂ je ukazatelem množství biologických odpadů a jiných znečišťujících látek ve vzduchu. Hodinové hodnoty koncentrací CO₂ by měly být stanoveny pomocí standardní vytíženosti (např. dvě osoby v ložnici) a standardní produkce za 1 osobu. Pro tvorbu kvalitního vnitřního prostředí v dřevostavbách jsou významnými parametry, jak je patrné z výše uvedeného, tepelně vlhkostní prostředí, kvalita vnitřního vzduchu a také osvětlení.

Pro návrh a zabezpečení optimální pohody pro uživatele jsou sestavena následující doporučení:

Teplotně vlhkostní prostředí

- při individuálním ovládní v chladném období možnost zajištění nastavení teploty v místnosti podle momentální potřeby, např. nastavitelnými termostaty,
- při individuálním ovládní v teplém období možnost zajištění ručního ovlivnění tepelných podmínek ve všech pokojích, např. otevřením okna nebo nastavením slunečního stínění, v případě mechanického chladicího systému možnost přizpůsobení teploty v místnosti podle momentální potřeby, např. nastavitelnými termostaty,

- při systémovém rozhraní možnost zajištění interaktivního ovládání klimatického systému (např. nástěnný regulátor teploty) tak, aby bylo maximálně intuitivní a snadno pochopitelné,
- při větrání situovat větrací otvory (včetně okna, větrací mřížky a mechanického větracího zařízení) tak, aby nepohoda způsobená průvanem byla minimalizována.

Kvalita vzduchu

- při individuálním ovládání možnost ovlivnění výměny vzduchu v místnostech (zejména v obývacím pokoji, kuchyni a koupelně), např. otevřením okna, pokud je instalováno mechanické větrání nastavením průtoku vzduchu ve třech a více úrovních,
- z důvodů omezení problémů spojených s vlhkostí a plísněmi, má být zaručeno, že bude dostatečný odvod vlhkosti z místnosti v cyklu zvýšené produkce vlhkosti, zejm. kuchyně, koupelny a WC,
- přívod čerstvého vzduchu hodnotit i z hlediska vnitřní koncentrace CO₂, hodinové hodnoty koncentrací CO₂ by měly být stanoveny pomocí standardní vytíženosti (např. dvě osoby v ložnici) a standardní produkce za 1 osobu.

Denní osvětlení

- z hlediska výhledu z objektu umístit okna tak, aby nabídla co nejlepší možný výhled na okolní prostředí,
- z hlediska vizuální prostupnosti vybrat okna (poskytující pohled na okolní prostředí) s nejvyšší možnou prostupností,
- při řízení oslnění z hlediska zabránění nebezpečí oslnění uvažovat následující hlediska
 - Propustnost
 - Stínování
 - Návrh
 - Reflexe
 - Přesměrování
 - Geometrie a dispozice pokojů
- z hlediska denního světla musí být zajištěno, aby průchozí vnitřní zóny a koupelny měly přístup denního světla.

4 METODY ŘEŠENÍ

Metody, které jsem použil při svém zkoumání vedoucím k naplnění cílů méj disertační práce, jsou tyto:

1) Teoretické řešení

- návrh výpočetního modelu dřevostavby pro zkoumání energetické bilance, tepelně-vlhkostních toků a jejich vlivů na TVM,
- stanovení okrajových podmínek pro simulaci.

2) Experimentální část ověřování

- měření teploty vzduchu, vlhkosti vzduchu, rosného bodu a koncentrace CO₂ v interiéru pomocí automatické měřicí ústředny a speciálních čidel,
- individuální hodnocení TVM u uživatelů pomocí dotazníků.

4.1 TEORETICKÉ ŘEŠENÍ

4.1.1 Modelování pomocí počítačového software

Východím řešením bylo vytvoření matematicko-fyzikálního modelu dřevostavby pro řešení typového objektu ve vztahu ke zkoumání energetické bilance objektu, tepelně-vlhkostních toků a jejich vlivů na TVM.

Teoretické chování vnitřního prostředí v dřevostavbách bylo simulováno na vytvořeném modelu v počítačovém programu BSim. Jednou z nejdůležitějších složek počítačového programu BSim použitých pro dosažení co nejrealnějších hodnot vnitřního mikroklimatu byly tzv. systémy. Tyto umožňovaly simulovat teplotní a vlhkostní parametry vnitřního prostředí objektu od různých zdrojů – např. vytápění, větrání, přítomnost osob, zařízení - spotřebiče, atd. Systémem „Osoby“ (PeopleLoad) jsem simuloval ovlivnění vnitřního klimatu osobami v objektu. Byl zadán počet osob a jejich energetický a vlhkostní výdej do okolního prostředí. Systém „Zařízení“ (Equipment) umožnil zohlednit teplotní a vlhkostní zátěž od zařizovacích předmětů a spotřebičů v domě. Pro simulaci tohoto vlivu jsem definoval hodnotu tepelné zátěže zařízení a její části, která se dostane do okolního prostředí. Byl nastaven denní profil vyjadřující procentuální zátěž tímto faktorem v různých časových fázích dne. Jednalo se tedy o zohlednění doby používání těchto spotřebičů nebo zařízení.

Systémem „Osvětlení“ (Lighting) byl vyjádřen vliv na vnitřní prostředí od osvětlení v budově. Zátěž byla definována zadáním parametrů zdroje osvětlení. Systémem „Infiltrace“ (Infiltration) byla vyjádřena netěsnost výplní otvorů ve stěnách objektu. Systém „Přirozené

větrání“ (Venting) umožnil definovat různou míru přirozeného větrání v jednotlivých obdobích dne. Dalším ze systémů s názvem „Vytápění“ (Heating) bylo simulováno vytápění objektu v chladném otopném období, čímž byla významně ovlivněna teplota, ale i relativní vlhkost vzduchu uvnitř budovy. Systémem „Ventilace“ (Ventilation) jsem vyjádřil účinek nucené ventilace, např. odtahu vzduchu v koupelně nebo digestoře v kuchyni. Efektu tohoto systému bylo dosaženo nastavením parametrů intenzity ventilace, příp. vlastností dodávaného vzduchu. Systémem „Vlhkost“ (MoistureLoad) byl zohledněn efekt dodatečných zdrojů vlhkosti v objektu, které nejsou součástí žádného z ostatních modelů systémů. Vlhkostní zátěž byla modelována v kuchyni pro vlhkost, která se dostane do prostředí jako efekt vaření, nebo v koupelně, kde pomocí tohoto systému je zohledněna vlhkost například od sprchování. Systémem „Propustnost výplní otvorů“ (SolarShading) byla regulována propustnost materiálu oken i dalších zasklených konstrukcí. Systém „Stínění otvorů“ (Shutter) mi umožnil omezit prostup slunečního záření do objektu okny prostřednictvím jejich stíněním - např. záclonami, závěsy, žaluziemi, apod.

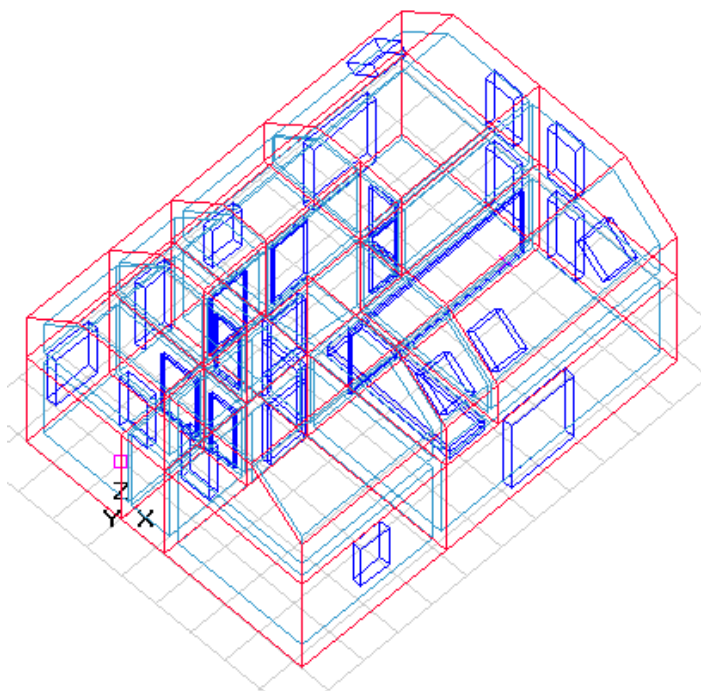
4.1.2 Popis objektu a referenční model

Svislé nosné konstrukce referenčního objektu RD jsou tvořeny nosnou dřevěnou konstrukcí z hranolů profilu 140x140mm, tepelné izolace z minerálního materiálu, OSB deskami, z vnitřní strany SDK na roštu a z venkovní strany fasádním polystyrenem. Celková tloušťka obvodové stěny je 345mm. Nosné vodorovné konstrukce jsou z dřevěných hranolů různých velikostí podle vzdálenosti podpor, OSB desek, záklopu, SDK podhledu a nášlapné vrstvy podlahové konstrukce. Celková tloušťka stropní konstrukce je 395mm. Vnitřní příčky jsou z SDK materiálů, tloušťky 100, resp. 250mm. Nosná konstrukce střechy je dřevěná, s hambálkovou nosnou konstrukcí, s vrcholovou vaznicí a kleštinami. Na horní hraně krokví je umístěno bednění. Mezi krokviemi je provedena tepelná izolace, která je kryta na krokvích umístěným systémem SDK. Střešní krytina je betonová, značky Bramak. Podlahy v koupelně a WC jsou z keramické dlažby, podlahy v ostatních místnostech jsou laminátové.

Dřevo, jakožto hlavní konstrukční prvek nosných prvků dřevostaveb, se vyznačuje relativně nízkou akumulační schopností. Hlavní akumulační funkci v dřevostavbě tedy přebírají jiné, akumulačně schopnější materiály vyskytující se v objektu – např. podlahový beton nebo omítky. Dřevo nicméně jisté akumulační schopnosti rovněž má. Akumulace tepla však, díky jemné buněčné struktuře dřeva, probíhá mnohem pomaleji, více se tedy projevují jeho tepelně izolační vlastnosti. Dřevostavba je tedy například během zimy mnohem rychleji vytopena než stavba zděná. Definování a regulace právě těchto parametrů, tedy akumulačních a izolačních vlastností materiálů, je další možností zvýšení preciznosti simulace vnitřního klimatu stavby. Je možno jednak zcela zaměňovat typy materiálů použitých pro stavbu budovy (např. vápenná omítky vs. dřevěný obklad nebo betonový vs. dřevěný strop), tak i vlastnosti jednotlivých materiálů (např. tepelných odporů).

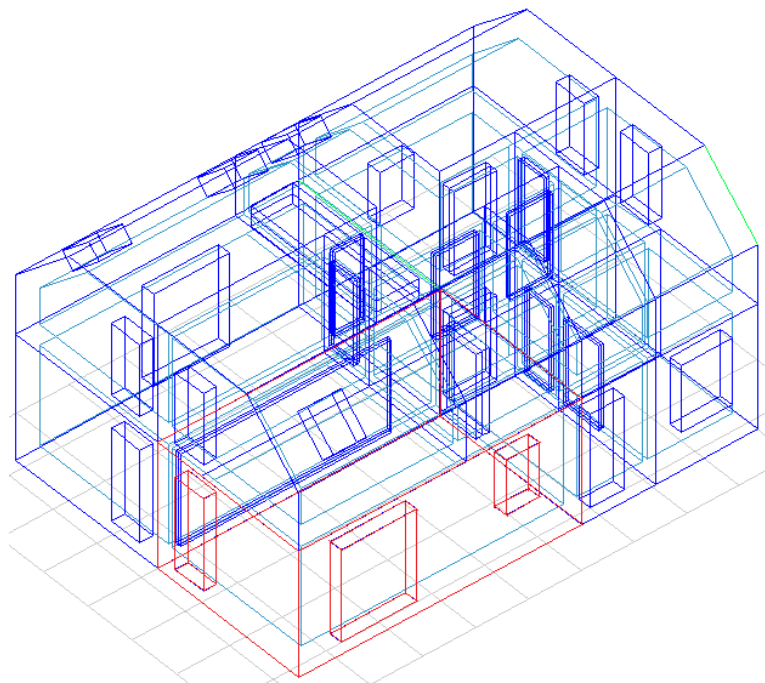
Pro sledování těchto vlivů byl v programu sestaven zjednodušený referenční model dřevostavby. Zjednodušení se týká geometrického modelu, nikoli materiálův konstrukčního

řešení. Model na Obr. 18 byl vytvořen za účelem komplexního řešení rodinného domu, z hlediska celkové energetické bilance a systémů budovy.



Obr. 18 Axonometrie komplexního referenčního modelu

Model na Obr. 19 byl vytvořen pro simulaci konkrétních mikroklimatických podmínek ve vytipované místnosti, která je charakteristická pro posouzení všech vlivů, které významně působí na TVM.



Obr. 19 Vstupní model pro analýzu vnitřního prostředí v dřevostavbách

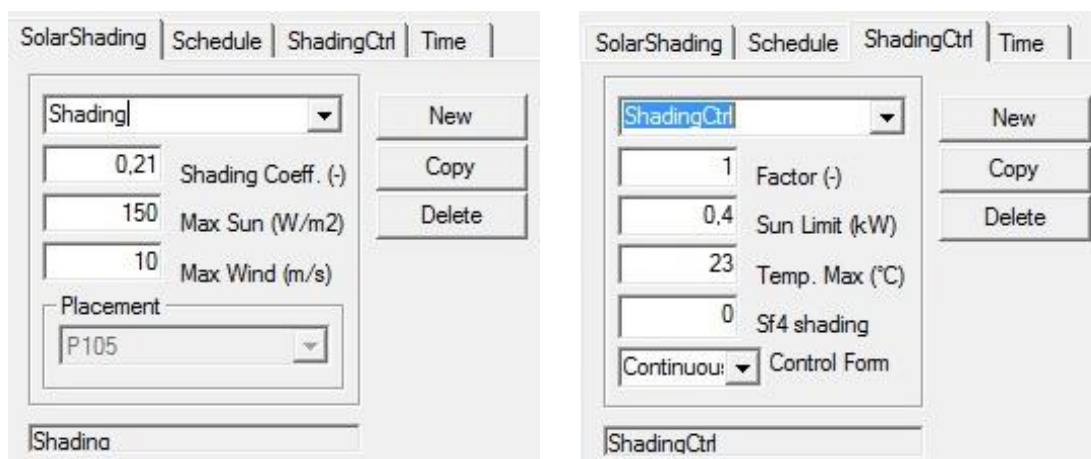
4.1.3 Okrajové podmínky simulace

Model pro počítačovou simulaci vnitřního prostředí byl vytvořen tak, aby co nejlépe vystihoval reálnou stavbu, ve které bylo prováděno měření. Klimatická data byla převzata z referenčního roku v lokalitě Brno Tuřany.

Obvodové nosné konstrukce byly uvažovány jako trojvrstvý systém složený z minerální tepelné izolace, OSB desky a fasádního polystyrenu. Celkový tepelný odpor R tohoto konstrukčního prvku byl $6,18 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$.

Vnitřní stěny byly sádkartonové, tloušťky 0,1 m, s tepelným odporem $R = 0,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$.

Výplně vnějších oken byly modelovány jako skleněné, s parametrem $\lambda = 0,8$. U okenních výplní byla v modelu trvale regulována propustnost systémem SolarShading (viz. Obr. 20).



Obr. 20 Příklad nastavení propustnosti okenních výplní systémem SolarShading

Podlahy v místnostech situovaných v přízemí objektu byly uvažovány jako betonové s mezilehlou polystyrénovou izolací a s povrchovým obkladem keramickou dlažbou. Celková tloušťka této skladby pak byla 0,29 m a tepelný odpor $R = 2,168 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$.

Vodorovným konstrukcím mezi přízemím a místnostmi v obytném podkroví objektu byly přiřazeny vlastnosti trámového stropu s laminátovou nášlapnou vrstvou (v obytných místnostech), resp. keramickou dlažbou v koupelně a ostatních prostorech. Skladby jsou znázorněny na Obr. 21.

BuildingElement
23. Floors
[-] Strop - Laminat
[-] MaterialLayers
[-] i0 - Laminat
[-] i1 - OSB Deska
[-] m10 - Minerální tepelná izolace
[-] i1 - OSB Deska
[-] i2 - Drevený zaklop
[-] i3 - Tramový strop
[-] e0 - Sadrokarton
TotalThickness=0,403
R=2,74103 m,K/W

BuildingElement
23. Floors
[-] Strop - Dlazba
[-] MaterialLayers
[-] g6 - Keramická dlažba
[-] f10 - Beton
[-] i1 - OSB Deska
[-] i2 - Drevený zaklop
[-] i3 - Tramový strop
[-] e0 - Sadrokarton
TotalThickness=0,391
R=1,82092 m,K/W

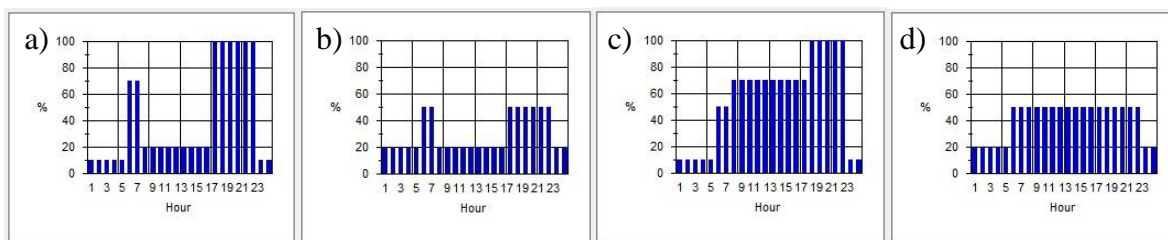
Obr. 21 Skladby podlah 2NP - obytné místnosti (vlevo) a ostatní prostory (vpravo)

„Aktivní“ ovlivňování mikroklimatu dřevostavby bylo modelováno pomocí systémů:

Teplotní a vlhkostní zátěž od zařizovacích předmětů a spotřebičů v domě byly zohledněny systémem *Equipment*, který je součástí programu BSim. Tepelná zátěž od provozu spotřebičů a vybavení domácnosti byla zjednodušena podle vzorce:

$$3 \text{ [W.m}^{-2}\text{]} \cdot 0,2 \cdot \text{podlahová plocha [m}^2\text{]} / 24 \text{ [h]},$$

kde při dosažení podlahové plochy 147 m² byla pro celý objekt získána referenční hodnota 3,675 kW. Tato hodnota pak ještě byla redukována součinitelem 0,1 vyjadřujícím, že pouze 10%ní podíl této tepelné zátěže se dostane do okolního prostředí. Tato zátěž byla uvažována nepřetržitě, po celý rok, 24 hodin denně. Rozdílný stupeň využití spotřebičů v jednotlivých místnostech a různých částech dne byl zohledněn denními profily pro jednotlivé sledované zóny budovy, s rozlišením na pracovní dny a víkendy. Nastavení těchto profilů je znázorněno na Obr. 22.

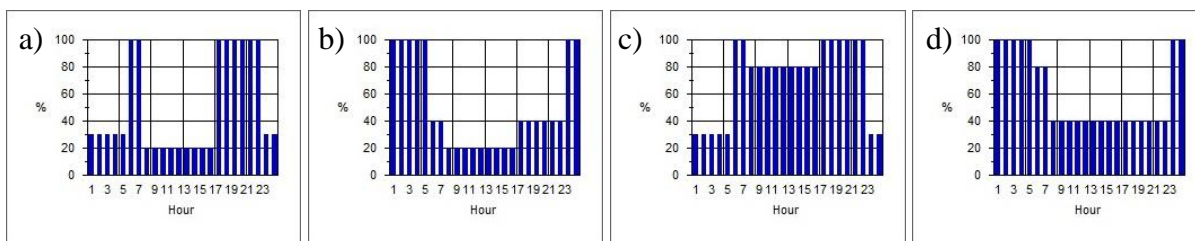


Obr. 22 Denní profily tepelné zátěže činností spotřebičů pro jednotlivé zóny

- a) obývací pokoj – pracovní den, b) ložnice – pracovní den, c) obývací pokoj – víkend, d) ložnice – víkend

Ovlivnění vnitřního klimatu domu přítomností osob bylo vyjádřeno systémem *PeopleLoad*. Simulována byla, v souladu se vstupními reálnými daty, přítomnost 5 osob, kde u každé z těchto osob byla nastavena emise tepla o hodnotě 0,1 kW a vlhkosti 0,06 kg.h⁻¹. Stejně jako u spotřebičů bylo chování osob, tj. jejich předpokládaný výskyt v jednotlivých

místnostech v různých časových obdobích dne, optimalizováno na základě reálných dat nastavením denních profilů – viz Obr. 23.

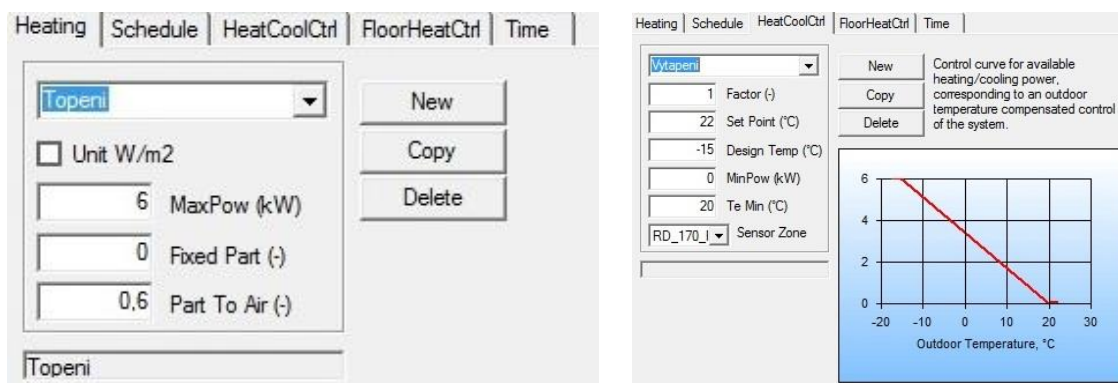


Obr. 23 Denní profily zohlednění přítomnosti osob v jednotlivých zónách

- a) obývací pokoj – pracovní den, b) ložnice – pracovní den, c) obývací pokoj – víkend, d) ložnice - víkend

Co se týká hlavních faktorů přímo ovlivňujících teplotu, ale také vlhkost, vnitřního prostředí, jedná se především o vytápění a větrání.

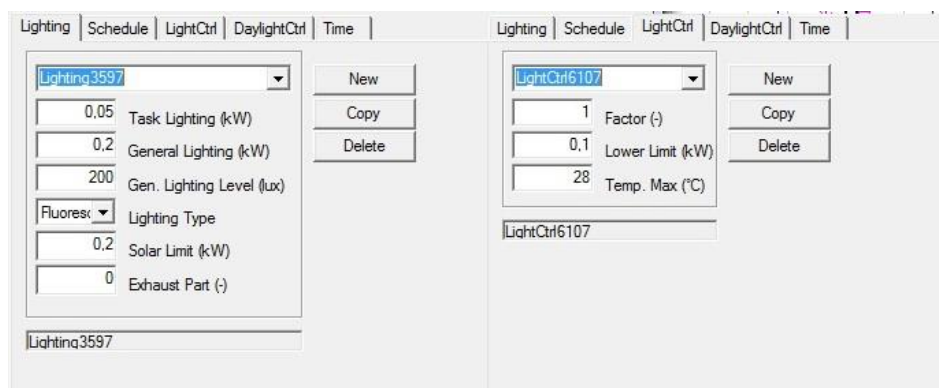
Vytápění bylo charakterizováno zadáním výkonu a další vlastností zdroje tepla a definováním limitní teploty. Nastavené parametry jsou patrné z Obr. 24. Provoz vytápění byl uvažován pouze v tzv. otopné sezóně, tj. od začátku měsíce října do konce dubna.



Obr. 24 Nastavení parametrů vytápění

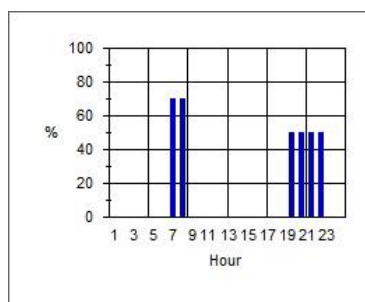
V obytných místnostech bylo simulováno přirozené větrání otevřenými okny systémem *Venting*, a to s faktorem výměny vzduchu $2 \text{ (h}^{-1}\text{)}$. V koupelně byla výměna vzduchu simulována jako nucené větrání systémem *Ventilation*. Výměna vzduchu v rámci infiltrace netěsnostmi okenních výplní byla uvažována $0,2 \text{ (h}^{-1}\text{)}$.

Vliv energie z vnitřního osvětlení byl ponechán na defaultních hodnotách, tj. viz Obr. 25. Provozní doba osvětlení byla uvažována podle ročního období, tedy v závislosti na délce přirozeného slunečního svitu. V období duben až říjen byla provozní doba vnitřního osvětlení nastavena na časové rozmezí 21 – 24h, v období říjen až březen na 6 – 8h a 18 – 24h.



Obr. 25 Parametry vnitřního osvětlení objektu

V koupelně byla simulována také vlhkostní zátěž prostředí od sprchování. Tato zátěž byla definována hodnotou $0,4 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$, byla uvažována pouze v hodinách, ve kterých je předpokládán její reálný vznik (předpokládané časy sprchování) – viz. denní profil na Obr. 26.



Obr. 26 Denní profil vlhkostní zátěže v koupelně objektu

Účelem tohoto modelování bylo zjištění vlivu různých okrajových podmínek na vnitřní klimatická prostředí v dřevostavbách. Pro ověření reálnosti výstupů a vyloučení hrubých chyb modelování byly dílčí výstupy počítačové simulace konfrontovány s daty získanými měření v reálných referenčních objektech. Z hlediska zátěže vnitřního prostředí činnostmi v budově bylo chování osob v objektu rozděleno na dvě fáze:

- členové domácnosti byli přítomni (obvykle večer a noc v pracovní dny, a dále víkendy a dny pracovního klidu),
- členové domácnosti nebyli přítomni (obvykle pracovní dny – cca 8. až 17. hodina).

Zatímco teplota v jednotlivých místnostech budovy byla ovlivněna aktuálním pohybem a činnostmi osob minimálně, vlhkost byla tímto dotčena významně. Naproti tomu činnost spotřebičů a zařízení domu ovlivňovala vnitřní prostředí komplexně, a to velmi výrazně. Významného snížení vnitřních teplot, ale hlavně vlhkosti v obytných místnostech objektu, bylo dosaženo větráním v době přítomnosti osob.

Z pohledu ovlivňování vnitřního klimatu dřevostavby venkovními klimatickými podmínkami bylo možno vyčlenit rozdílné chování v období:

- zimním – reprezentujícím chování vnitřního mikroklimatu objektu v otopné sezóně,

- letním – vyznačujícím se teplotami venkovního prostředí mnohdy i výrazně převyšujícími požadovaný stav uvnitř objektu a intenzivním slunečním svitem
- přechodným – prolínání obou předchozích stavů.

Zatímco v období zimním bylo příhodných klimatických podmínek vnitřního prostředí dosaženo vytápěním objektu, v období letním vycházelo, že by bylo pro dosažení optimálních hodnot nutné účelné ochlazování budovy. V budově nebylo uvažováno se strojním chlazením. Vytápění dřevostaveb bylo, vzhledem k dobrým izolačním vlastnostem dřeva, snadno regulovatelné nastavením intenzity výkonu zdroje tepla. Tímto bylo jednoduše dosaženo požadované vnitřní teploty. Regulace vlhkosti vnitřního prostředí byla provedena přirozeným větráním objektu. Jak již bylo zmíněno, v letním období docházelo vlivem vysokých venkovních teplot k tzv. přehřívání a dosažení optimálního vnitřního prostředí bez jakýchkoliv opatření prakticky nebylo nemožné. Nezbytné bylo rovněž používání stínících prvků – např. žaluzie, po dobu dne s největší sluneční aktivitou. I přes tato opatření bylo modelováním dosaženo vyšších teplot než při měření, a to v řádech jednotek stupňů, resp. až desítek stupňů Celsia v místnostech v obytném podkroví objektu. To se projevilo nejmarkantněji v letním období. Tento trend jsem si vysvětlil skutečností, že reálný objekt je obvykle v prostoru stíněn okolní zástavbou, zelení, příp. členitostí reliéfu krajiny.

4.2 EXPERIMENTÁLNÍ ŘEŠENÍ

Pro posuzování jsem zvolil 4 rodinné domy-dřevostavby, střední velikosti. Jednalo se o obydlené novostavby v různých lokalitách. Označení jednotlivých domů v disertační práci je RD1 – RD4. V jednotlivých RD probíhalo v termínech od 25. 2. 2010 do 23. 3. 2011 měření vlhkosti a teploty, v RD1 a RD2 byly také měření hodnoty CO₂. Vnitřní prostředí v objektech dřevostaveb RD bylo prováděno za pomoci dataloggerů S 3120, které byly umístěné v jednotlivých místnostech. Měřicí přístroje byly označeny čísly č. 1 – č. 4, byla provedena jejich fotodokumentace a zakreslení do půdorysných schémat jednotlivých objektů.

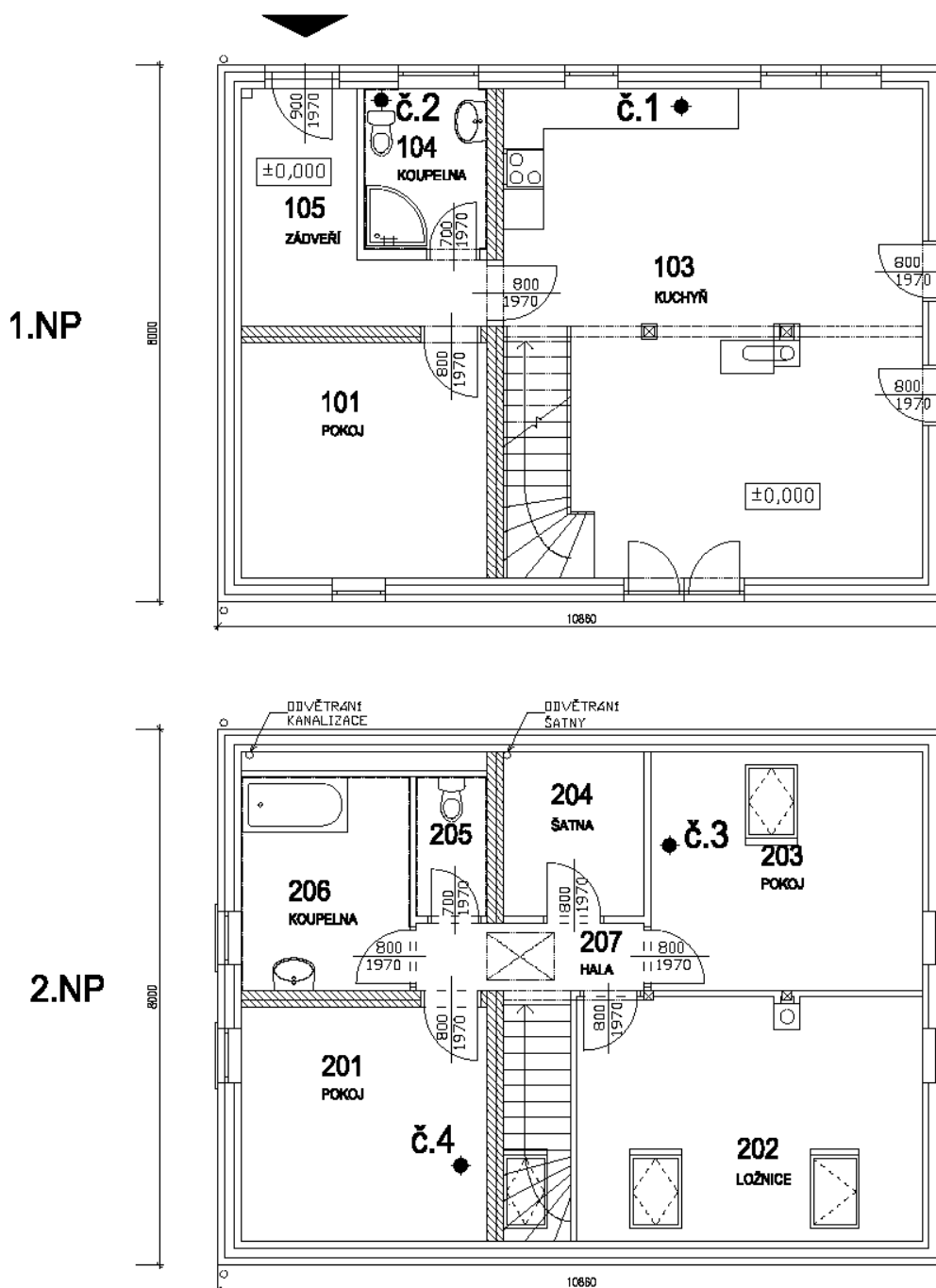
4.2.1 Měření teploty a vlhkosti ve vybraných dřevostavbách

Základní parametry

Jedná se o nepodsklepený objekt RD o jednom nadzemním podlaží s obytným podkrovím. V 1. nadzemním podlaží (1. NP) je při vstupu z uliční části pozemku zádveří, koupelna, místnost pro kotel ÚT, pokoj a obývací pokoj s kuchyňským koutem. V obývacím pokoji s kuchyňským koutem je umístěné schodiště do podkroví. Z obývacího pokoje je také přístup přímo na terasu za domem. Ve 2. nadzemním podlaží (2. NP) je umístěna koupelna se sprchovým koutem a umyvadlem, samostatné WC a 4 pokoje, z toho 2 pokoje s přístupem na terasu, resp. balkon.

Základní parametry – RD1

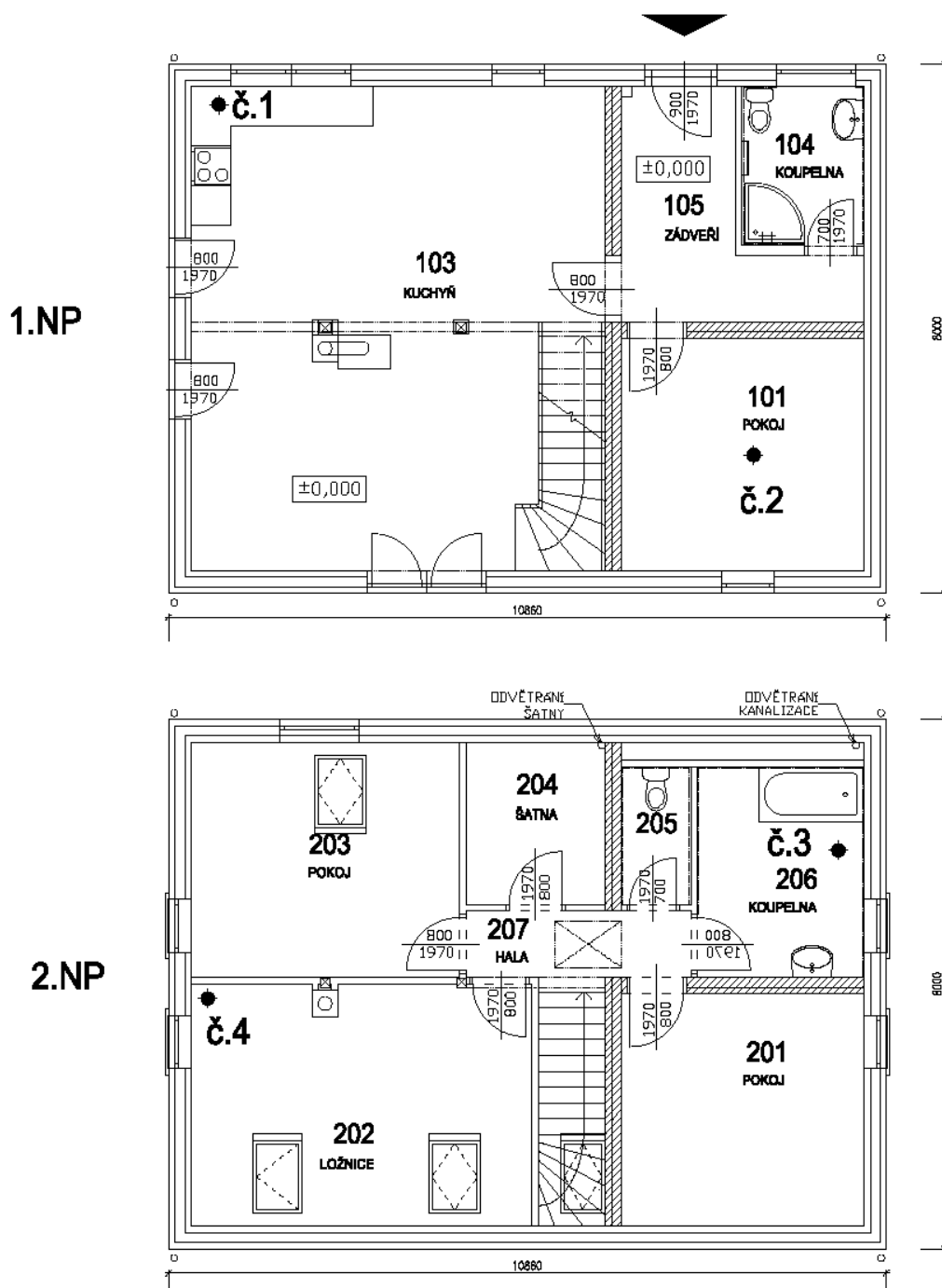
Místo stavby	Drásov, okraj obce
Rok kolaudace	2009
Typ stavby	RD, samostatně stojící
Počet pater	1.NP, podkroví, nepodsklepen
Obytná plocha	147m ²
Počet osob v domě:	2 dospělí, 3 děti
Měření v období:	25.2. – 16.4. 2010, 26.7 – 15. 10. 2010, 19.1. – 24.1. 2011



Obr. 27 Půdorys objektu dřevostavby - RD1.

Základní parametry – RD2

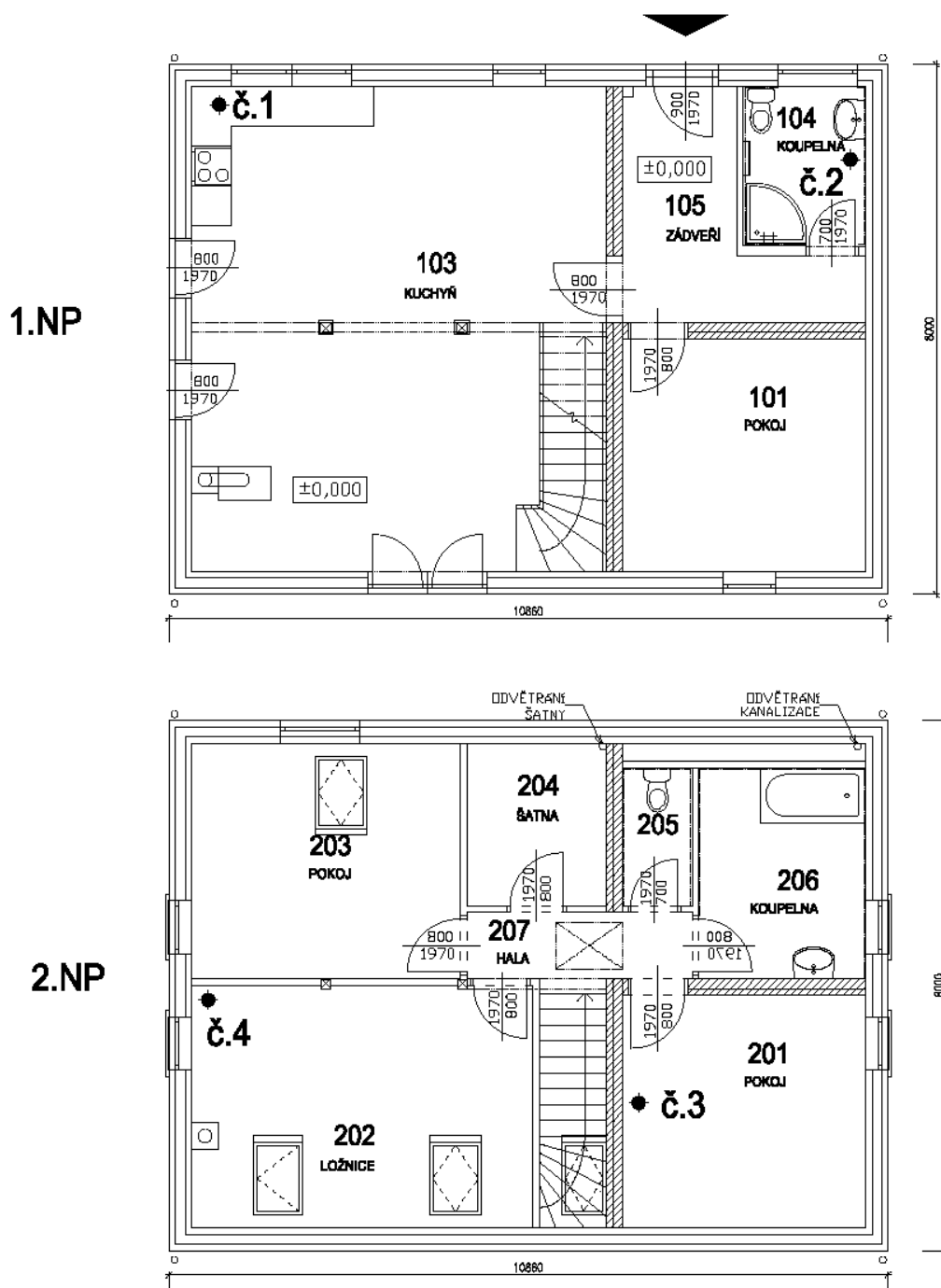
Místo stavby	Drásov, okraj obce
Rok kolaudace	2009
Typ stavby	RD, samostatně stojící
Počet pater	1.NP, podkroví, nepodsklepen
Obytná plocha	147m ²
Počet osob v domě:	2 dospělí, 2 děti
Měření:	9.3. – 16.4. 2010, 26.7 – 15. 10. 2010, 24.1. – 26.1. 2011



Obr. 28 Půdorys objektu dřevostavby – RD2.

Základní parametry – RD3

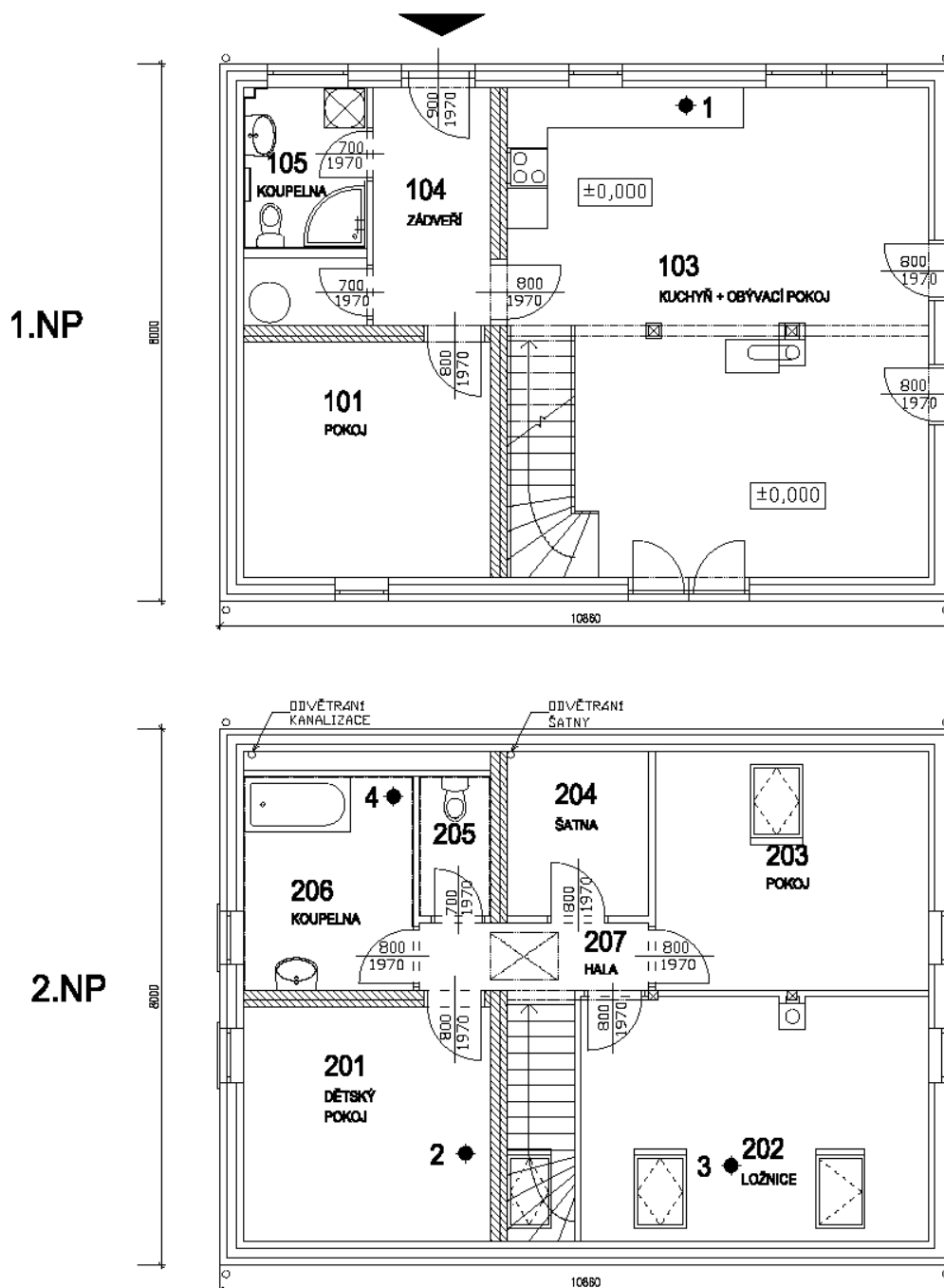
Místo stavby	Boskovice, uvnitř obce
Rok kolaudace	2010
Typ stavby	RD, samostatně stojící
Počet pater	1.NP, podkroví, nepodsklepen
Obytná plocha	147m ²
Počet osob v domě:	2 dospělí, 1 dítě
Měření:	26.7. – 15.10. 2010,



Obr. 29 Půdorys objektu dřevostavby – RD3.

Základní parametry – RD4

Místo stavby	Říčany u Prahy, uvnitř obce
Rok kolaudace	2009
Typ stavby	RD, samostatně stojící
Počet pater	1.NP, podkroví, nepodsklepen
Obytná plocha	147m ²
Počet osob v domě:	2 dospělí, 2 děti
Měření v době:	22.3. – 13.7. 2010, 20.1. – 23.3. 2011



Obr. 30 Půdorys objektu dřevostavby – RD4.

Měření teploty a vlhkosti bylo prováděné datalogery S3120, tento datalogger je určen pro záznam teploty a relativní vlhkosti. Záznam je prováděn do energeticky nezávislé elektronické paměti. Údaje lze přenést do osobního počítače pro další zpracování. Přístroj má velký dvouřádkový displej se speciálními znaky, volitelně lze zobrazovat i minimální a maximální naměřené teploty a každému kanálu lze nastavit teplotní alarm se 2 mezemi, který je indikován na displeji nebo svítkou.



Obr. 31 Pohled na datalogger S3120

zaplnění paměti se záznam zastaví, nebo cyklický - po zaplnění se nejstarší hodnoty nahrazují novými.

Rozměry přístroje bez konektorů jsou 93x64x29mm, hmotnost včetně baterií je 115g. Typ konstrukce prostorový. Měřenou veličinou je relativní vlhkost + teplota, rozsah teploty je v intervalu -30 až +70°C a přesnost měření teploty vnitřním čidlem je $\pm 0.4^\circ\text{C}$. Přesnost měření vlhkosti vzduchu je $\pm 2.5\%$ rh od 5 do 95% při 23°C. Přesnost měření rosného bodu 1.5 °C při okolní teplotě $T < 25^\circ\text{C}$ a $\text{RH} > 30\%$; rozsah -60 do +70 °C. Rozlišení údaje o teplotě a vlhkosti je 0.1°C a 0.1% rh. Interval záznamu je nastavitelný od 10s do 24hod., 1min až 24hod v nízkopříkonovém režimu, 24hod v nízkopříkonovém režimu. Celková kapacita paměti 32000 hodnot teploty v necyklickém záznamu. Volby typu záznamu necyklický - po

Měření CO₂ bylo prováděné ručním snímačem obsahu CO₂ ve vzduchu FYA600-CO2H s měřicím rozsahem: 0...10 000 ppm a s přesností: +/-100 ppm +/-5% z měř. hodnoty. Pracovní teplota je v rozsahu -40 až +60°C. Výsledky měření jsou uvedeny v kapitole 5.2.2.

4.2.2 Individuální hodnocení

Pro individuální hodnocení TVM, subjektivních pocitů a zjištění podrobností pro stanovení okrajových podmínek pro simulace byly pro uživatele RD vytvořeny dotazníky s názvem „Jak hodnotí bydlení uživatelé“, které jsou uvedeny v příloze B.

5 VÝSLEDKY DISERTAČNÍ PRÁCE

5.1 TEORETICKÉ ŘEŠENÍ – RD

Pro zjištění chování objektů RD z hlediska celoročního provozu byly provedeny simulace během celého referenčního roku. Pro kalibraci modelu a hodnocení TVM byly vytypovány kritické a typické časové úseky a typické místnosti v RD1, které souvisí s dobou experimentálního měření. Tyto místnosti byly vybrány na základě vyhodnocení teoretických simulací všech sledovaných objektů a lze je považovat za referenční místnosti při stanovení kritérií pro návrh TVM dřevostaveb.

5.1.1 Sledované parametry

Změny byly sledovány ve dvou zónách odpovídajících hlavním místnostem objektu. V přízemí se jednalo o hlavní obytný prostor (obývací pokoj s kuchyní), v patře objektu bylo sledováno chování klimatu v ložnici.

Hlavními sledovanými parametry byly vnitřní teplota a vlhkost vzduchu v objektu.

Pro účely hodnocení vlivů okrajových podmínek na tyto sledované parametry byly, kromě výchozího modelu, provedeny celkem 4 simulace. Okrajovými podmínkami měněnými v původním modelu byly:

- systém SolarShading - deregulace propustnosti okenních výplní (Simulace 2),
- přirozené větrání objektu otevíráním oken – jeho eliminace (Simulace 3),
- akumulční vlastnosti podlahy v přízemí objektu – zvětšení mocnosti podkladního betonu podlahy o 100 mm (Simulace 4),
- změna vnitřního povrchu stěn a stropu objektu – nahrazení cemento-vápenné omítky obkladem z dřevěných desek z jehličnatého dřeva o tloušťce 20mm (Simulace 5).

Přehled jednotlivých simulací, včetně charakteristiky měněných okrajových podmínek, je v Tab. 16.

Tab. 16 Charakteristika modelovaných simulací.

Název	Výchozí model	Změny výchozího modelu
Simulace 2	Simulace 1	Změna parametru prostupnosti okenních výplní (systém SolarShading) – parametr Shading Coefficient změněn z původní hodnoty 0,21 na 1,0.

Simulace 3	Simulace 1	Deaktivace systému Venting (přirozené větrání otevřenými okny) ve všech místnostech objektu.
Simulace 4	Simulace 1	Změna skladeb podlah v přízemí objektu – zvětšení mocnosti podkladního betonu o 100 mm (z původních 150 mm na 250 mm).
Simulace 5	Simulace 1	Změna vnitřního povrchu stěn a stropu objektu – nahrazení cemento-vápenné omítky obkladem z dřevěných desek z jehličnatého dřeva o tl. 20 mm.

Pro simulaci byly vybrány dva reprezentativní týdny:

- 23. až 29. srpna 2010 – reprezentující letní období a
- 8. až 14. března 2010 – reprezentující zimní období, tedy tzv. otopnou sezónu.

Pro podrobnější vyhodnocení vlivů změn okrajových podmínek pak byly detailně vykresleny průběhy sledovaných parametrů v hlavním obytném prostoru (obývací pokoj s kuchyní), a to v dvoudenních intervalech, kdy pro letní období byly určeny dny:

- 22. až 23. srpna 2010 – reprezentující pracovní dny,
- 27. až 28. srpna 2010 – reprezentující víkendy,

a pro zimní období, tedy tzv. otopnou sezónu, byla určena data:

- 7. až 8. března 2010 – reprezentující pracovní dny,
- 12. až 13. března 2010 – reprezentující víkendy.

5.1.2 Výsledky modelování

SIMULACE 1 – VÝCHOZÍ MODEL

Výchozí model založený na výše popsané konfiguraci určuje srovnávací průběh teplot a vlhkostí v objektu pro znázornění odchylek v jednotlivých simulacích.

Teplotní změny v tomto modelu byly markantnější v letním období, kdy bylo zaznamenáno kolísání teplot o více než 5°C. V zimním období se jedná o kolísání v rozmezí cca 2 až 3°C.

Rapidnějších výkyvů bylo dosaženo u vlhkosti v objektu. Běžně byly vykazovány změny vlhkostí až v desítkách procent, a to ve velmi krátkém časovém úseku.

V zásadě bylo kolísání hodnot sledovaných parametrů výraznější v pracovních dnech.

SIMULACE 2 – SYSTÉM SOLARSHADING

Vliv propustnosti okenních výplní se projevil pouze v letním období. Změny v období zimním jsou zanedbatelné.

V letním období byly výraznější změny zaznamenány v částech dny, kdy v domě nebyli přítomni členové domácnosti. Teploty v těchto fázích dne dosahují zvýšení až o 5°C, u vlhkostí se jedná o snížení do 15 %.

SIMULACE 3 – PŘIROZENÉ VĚTRÁNÍ OBJEKTU OTEVÍRÁNÍM OKEN

Nejvýraznějšího ovlivnění vnitřního mikroklimatu bylo zaznamenáno při zásahu do přirozeného větrání objektu.

Bez větrání vnitřní prostoru bylo dosaženo oproti výchozímu modelu celkově výrazně vyšších teplot, extrémních hodnot nabývaly rovněž hodnoty vlhkosti – především v zimním období, místy až 100%. Tento trend se výrazněji projevil v horním patře objektu. Z průběhů sledovaných parametrů bylo možno také odvodit, že extrémnějších změn bylo dosaženo o víkendech a v pracovní dny v období, kdy jsou členové domácnosti doma.

SIMULACE 4 – AKUMULAČNÍ VLASTNOSTI PODLAHY

Zvětšení mocnosti podkladního betonu podlahy mělo na hodnoty teplot a vlhkostí jen nepatrný vliv.

V letním období se tato změna neprojevila prakticky vůbec. Bylo zaznamenáno pouze nepatrné zvýšení teplot vnitřního prostředí – v řádech desetin °C, naopak vlhkosti byly v řádech desetin % sníženy. Obdobné změny byly zaznamenány i v horní místnosti objektu zimního období.

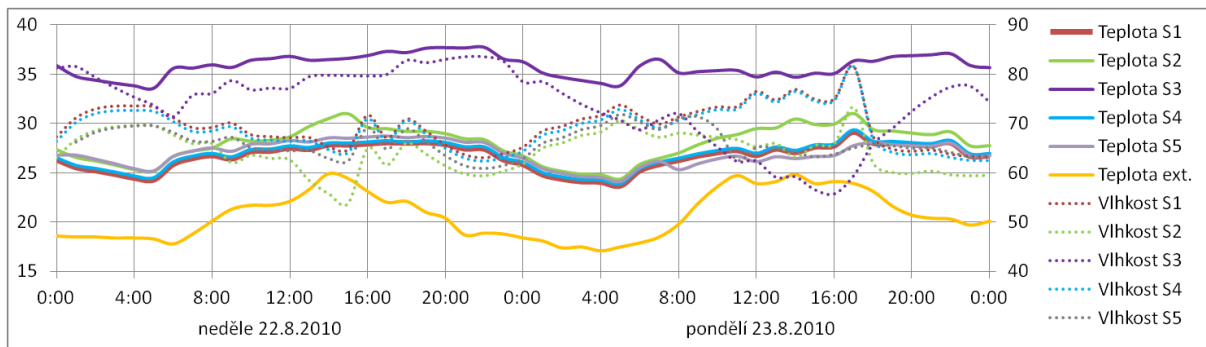
Úprava této okrajové podmínky tedy významně ovlivnila vnitřní prostředí pouze v zimním období, a to ve spodní místnosti objektu. V této konfiguraci bylo dosaženo obecně konstantnějších průběhů sledovaných parametrů než v případě výchozího modelu. U teplot se jednalo celkově o zvýšení v rozsahu do cca 2°C, vlhkosti byly naopak redukovány až o 20 % v pracovní dny, resp. 30 % o víkendech.

SIMULACE 5 – ZMĚNA VLASTNOSTÍ VNITŘNÍHO POVRCHU STĚN A STROPU

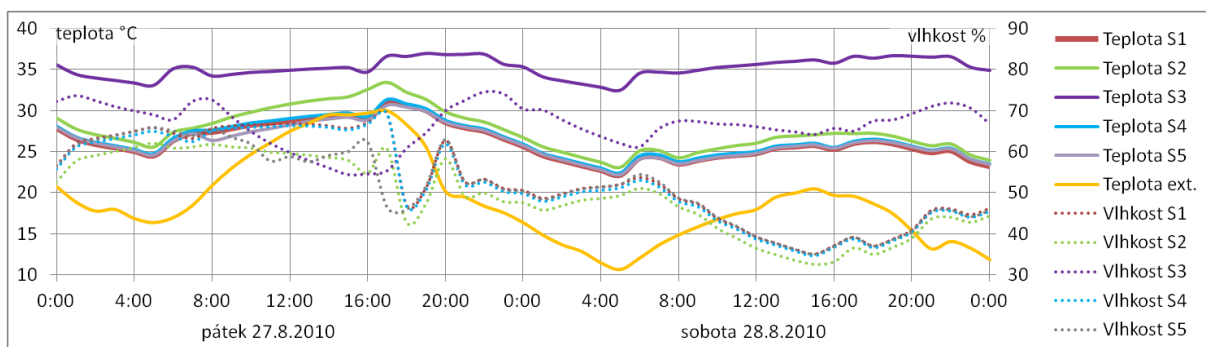
Změna vlastností vnitřního povrchu stěn a stropu měla na hodnoty teplot a vlhkostí ze všech simulací nejmenší vliv.

Ve všech sledovaných obdobích bylo ve vztahu k hodnotám z výchozí simulace dosaženo obdobných výsledků. Teploty se oproti výchozímu stavu v téměř celém sledovaném čase lišily v řádu desetin °C, u vlhkostí se jednalo řádově o jednotky %.

LÉTO 2010

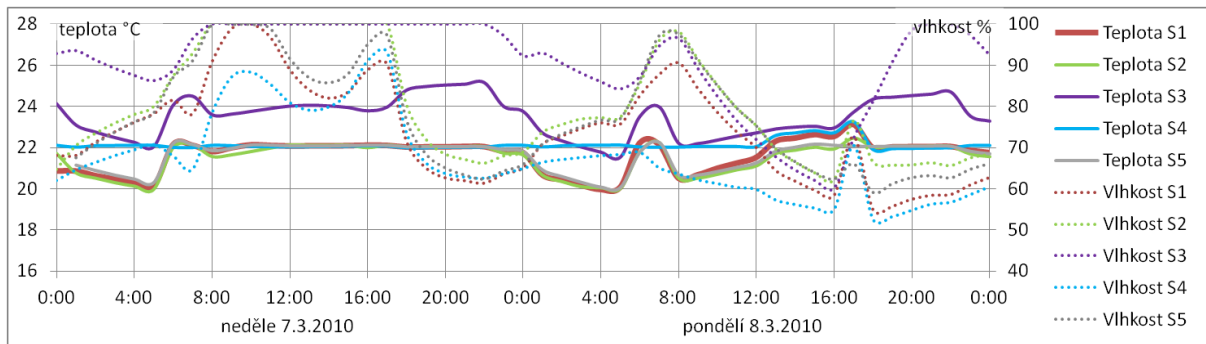


Obr. 32 Začátek pracovních dnů (letní období) – simulované hodnoty v obývacím pokoji

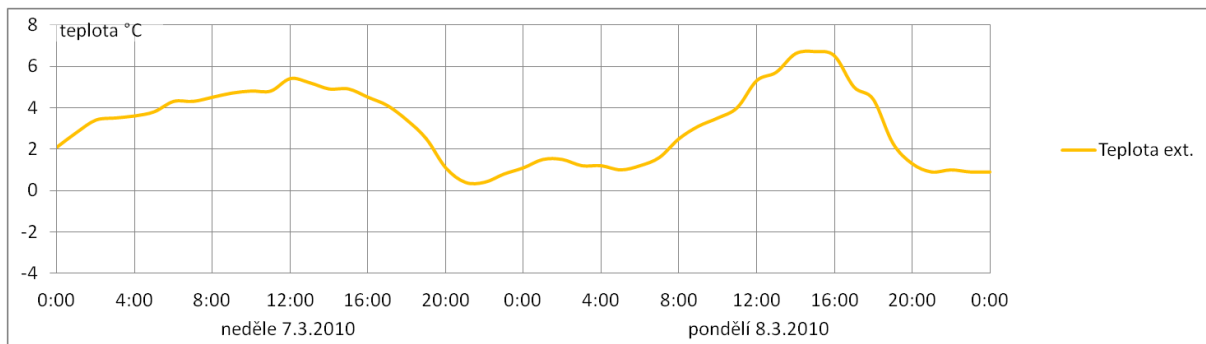


Obr. 33 Začátek víkendových dnů (letní období) – simulované hodnoty v obývacím pokoji

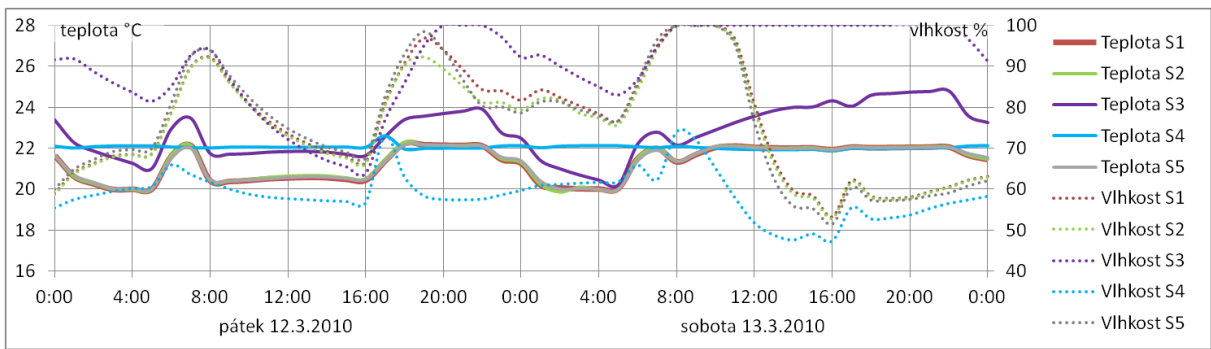
ZIMA 2010



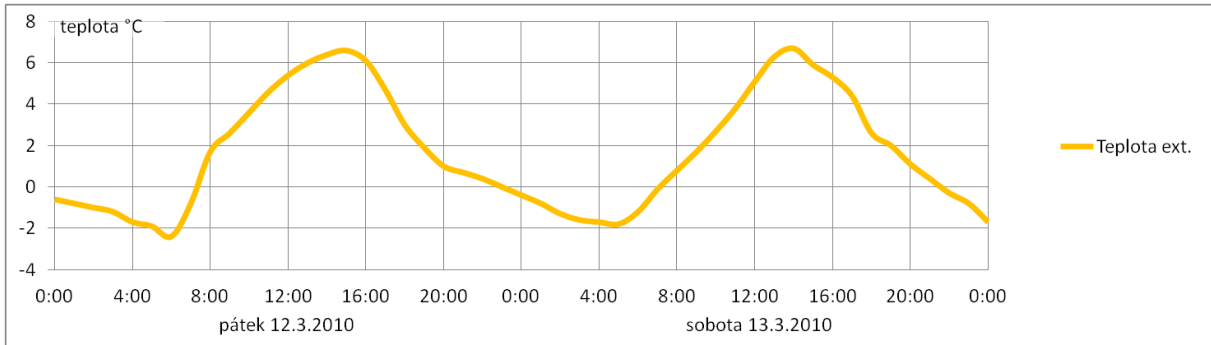
Obr. 34 Začátek pracovních dnů (zimní období) – simulované hodnoty v obývacím pokoji



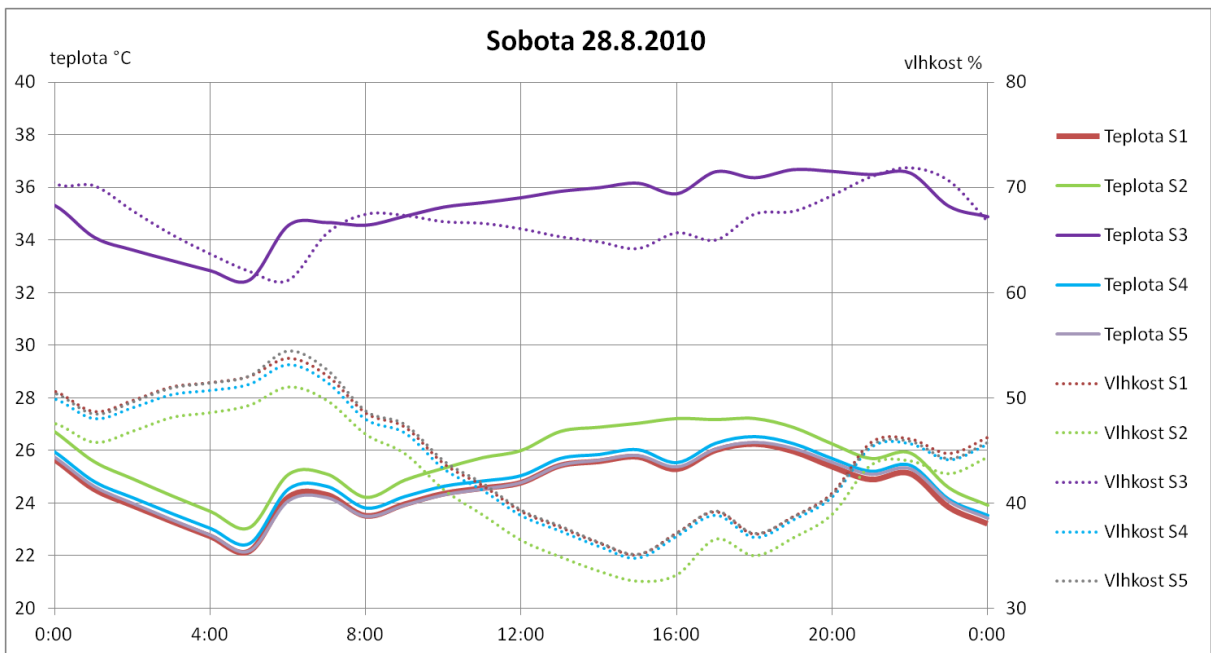
Obr. 35 Začátek pracovních dnů (zimní období) – průběh venkovní teploty



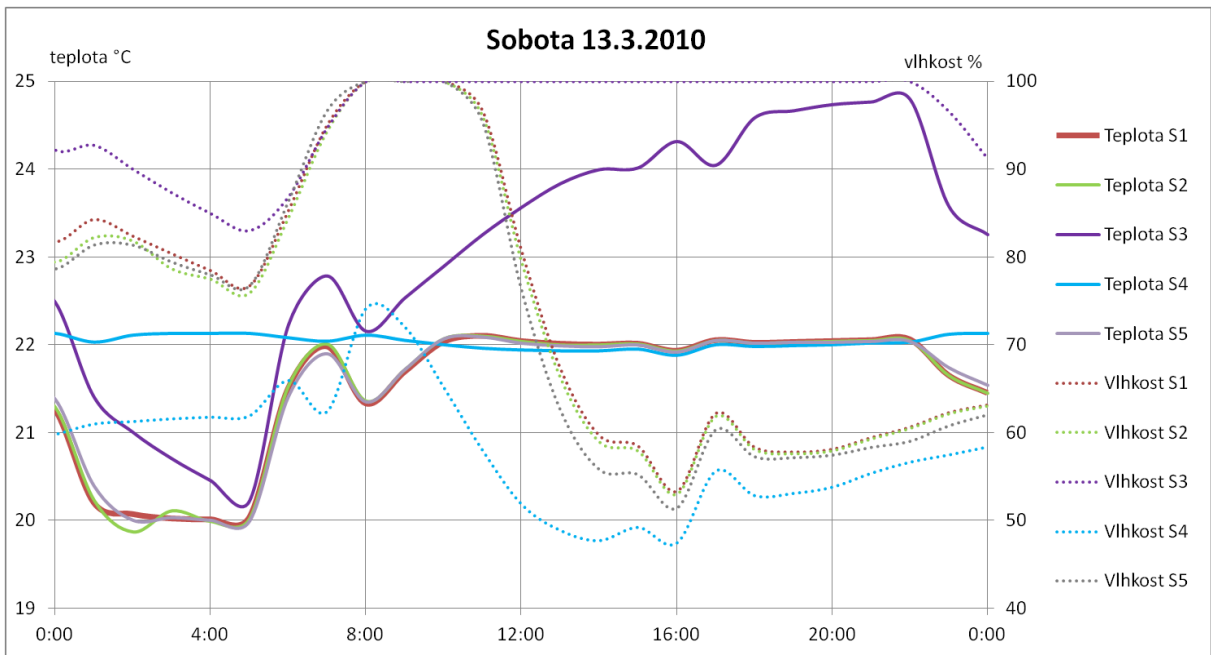
Obr. 36 Začátek víkendových dnů (zimní období) – simulované hodnoty v obývacím pokoji



Obr. 37 Začátek víkendových dnů (zimní období) – průběh venkovní teploty



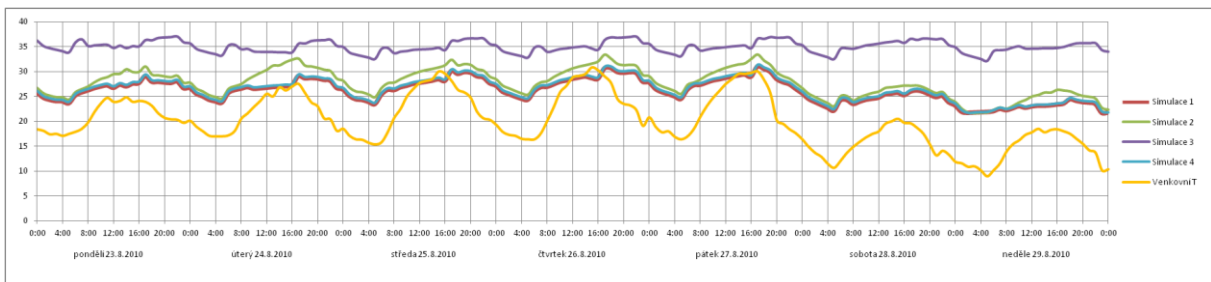
Obr. 38 Víkendový den (letní období) - simulované hodnoty v obývacím pokoji



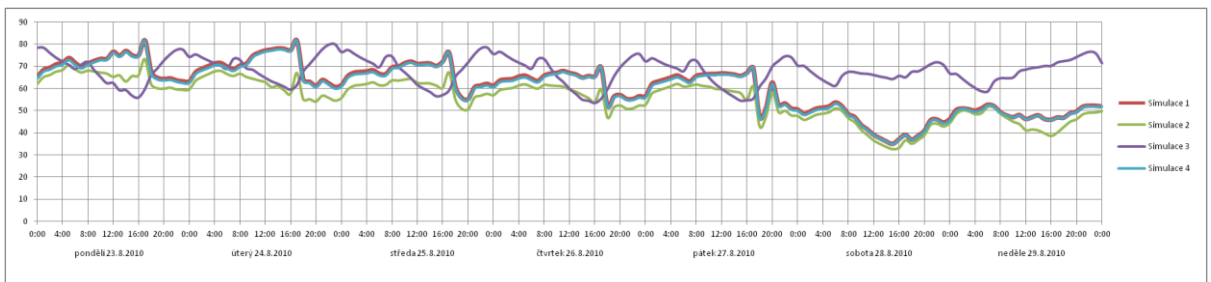
Obr. 39 Víkendový den (zimní období) - simulované hodnoty v obývacím pokoji

LÉTO 2010 (23.8.-29.8.)

OBÝVACÍ POKOJ + KUCHYŇĚ (1.NP)

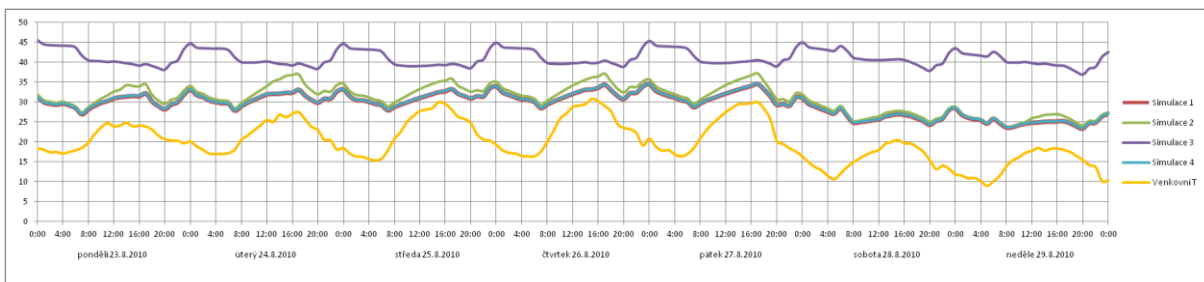


Obr. 40 Simulované hodnoty teploty v obývacím pokoji od 23.8. – 29.8. 2010

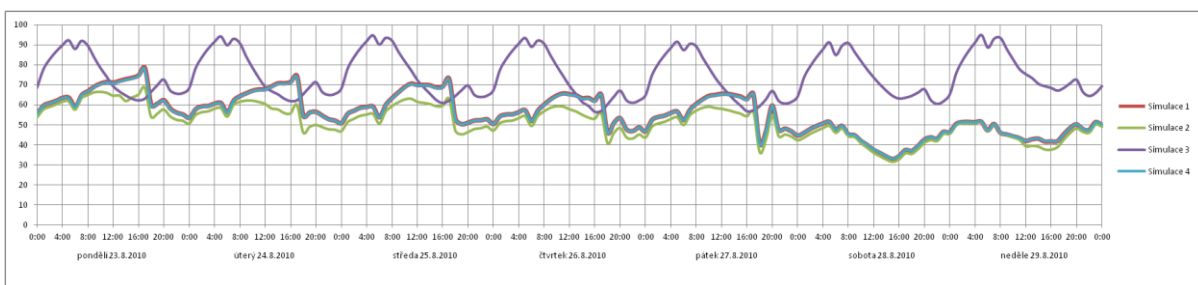


Obr. 41 Simulované hodnoty relativní vlhkosti v obývacím pokoji od 23.8. – 29.8. 2010

LÉTO 2010 (23.8.-29.8.)
LOŽNICE (2.NP)



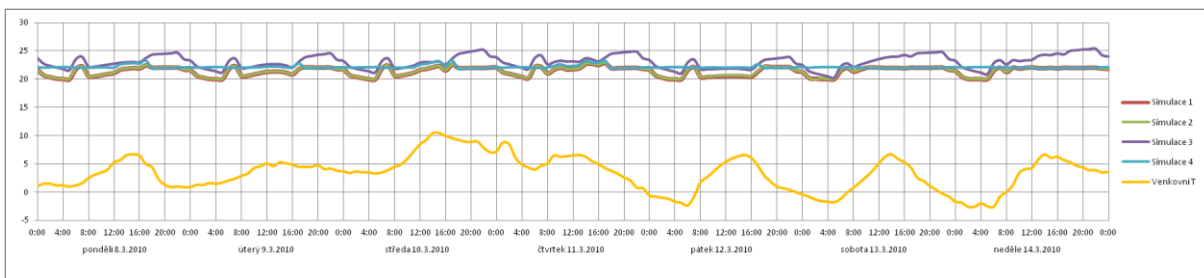
Obr. 42 Simulované hodnoty teploty v ložnici od 23.8. – 29.8. 2010



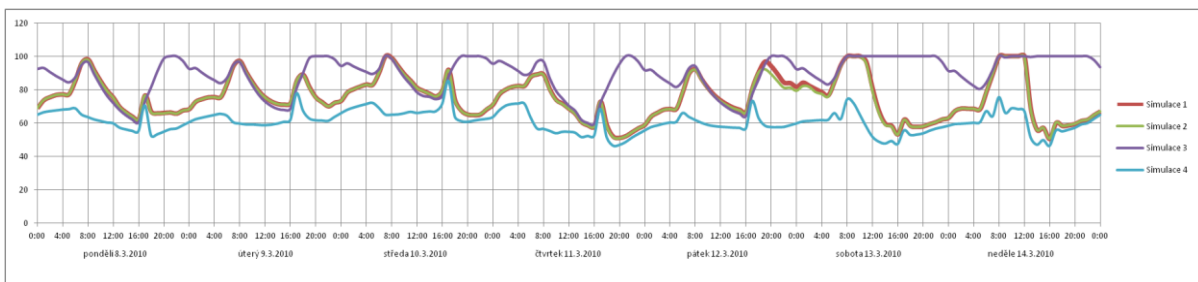
Obr. 43 Simulované hodnoty relativní vlhkosti v ložnici od 23.8. – 29.8. 2010

ZIMA 2010 (8.3.-14.3.)

OBÝVACÍ POKOJ + KUCHYŇĚ (1.NP)

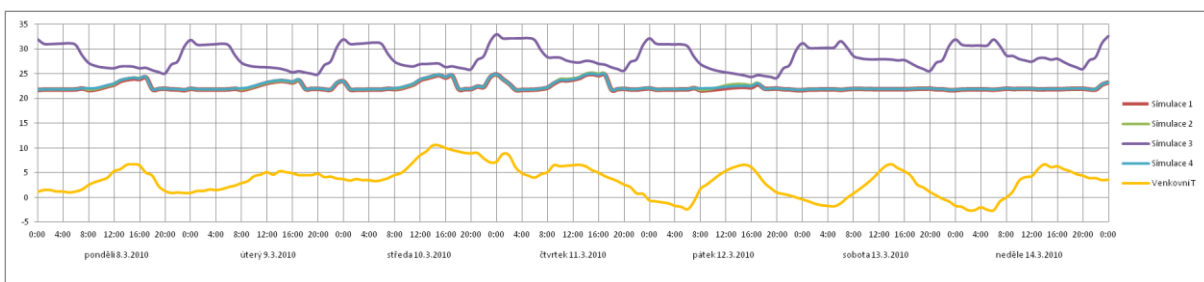


Obr. 44 Simulované hodnoty teploty v obývacím pokoji od 8.3. – 14.3. 2010

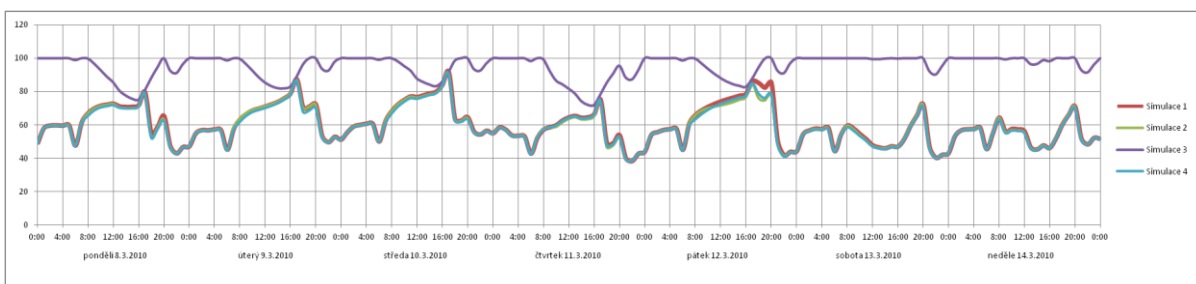


Obr. 45 Simulované hodnoty relativní vlhkosti v obývacím pokoji od 8.3. – 14.3. 2010

ZIMA 2010 (8.3.-14.3.)
LOŽNICE (2.NP)



Obr. 46 Simulované hodnoty teploty v ložnici od 8.3. – 14.3. 2010



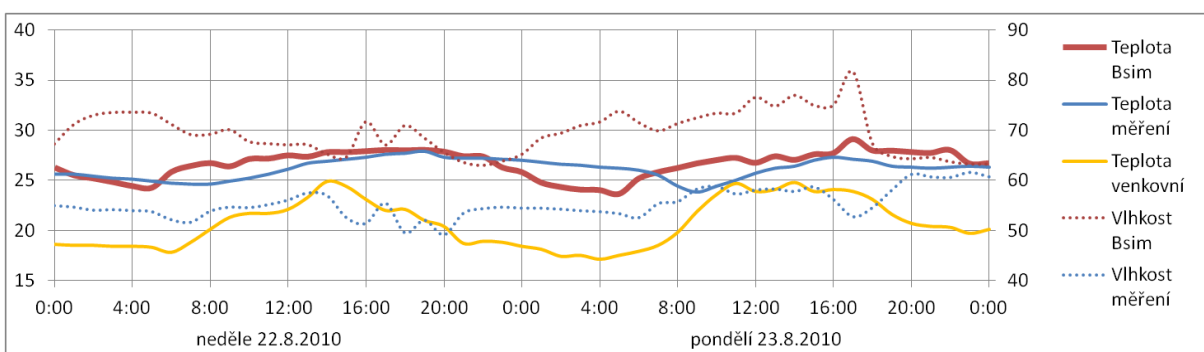
Obr. 47 Simulované hodnoty relativní vlhkosti v ložnici od 8.3. – 14.3. 2010

5.2 EXPERIMENTÁLNÍ ŘEŠENÍ – REFERENČNÍ RD

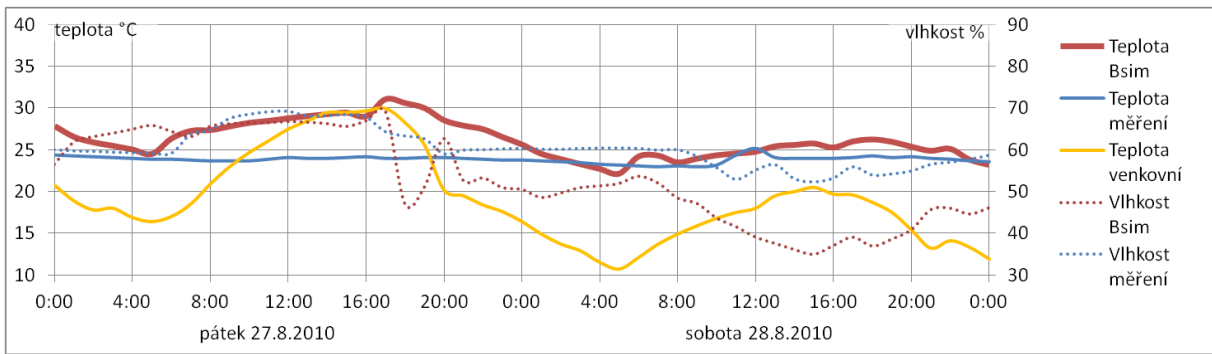
Pro experimentální měření byl vybrán jako vhodný referenční objekt dřevostavby RD1 v obci Drásov. Měření společně s údaji o způsobu používání stavby a chování uživatelů sloužilo k ověření a kalibraci výpočetního modelu pro simulaci.

5.2.1 Porovnání simulovaných a naměřených hodnot

LÉTO 2010



Obr. 48 Začátek pracovních dnů (letní období) – měřené a simulované hodnoty v obývacím pokoji

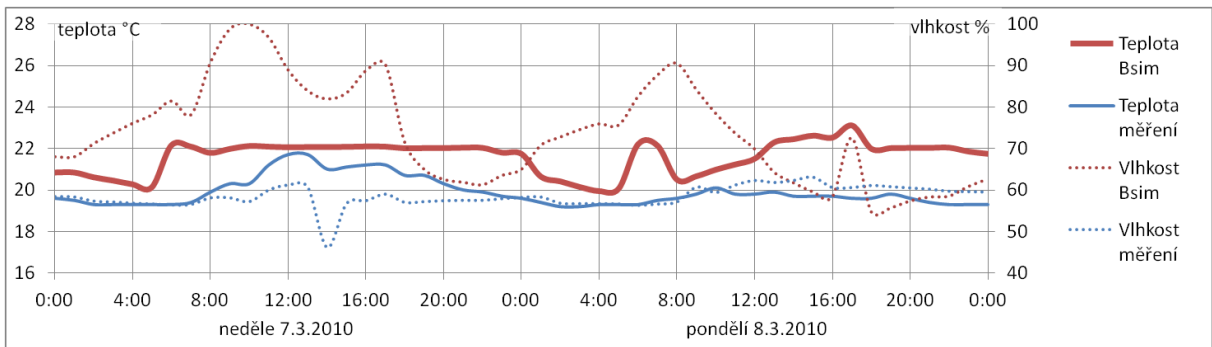


Obr. 49 Začátek víkendových dnů (letní období) – měřené a simulované hodnoty v obývacím pokoji

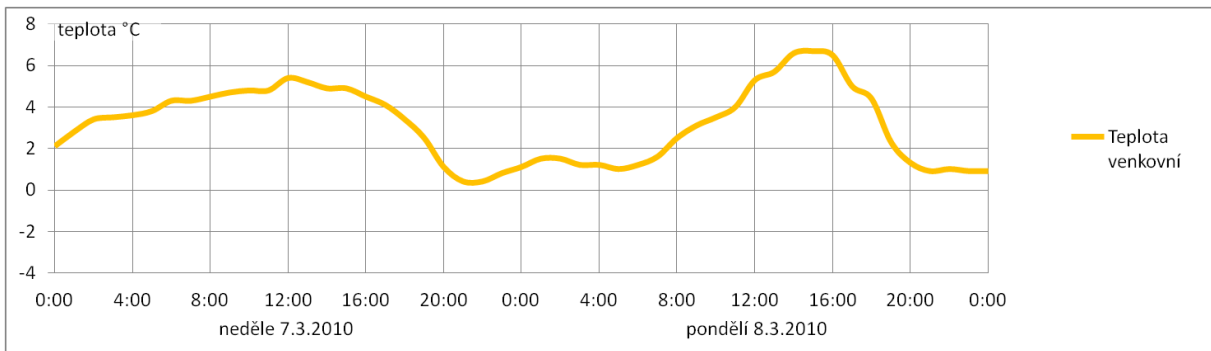
V grafech na obr. 48 a 49 je znázorněn průběh simulovaných a naměřených hodnot teploty a relativní vlhkosti vnitřního vzduchu v letním období a pro možnost porovnání také průběh teploty venkovního vzduchu, který byl použit pro simulaci. Z obr. 48, kde jsou zachyceny průběhy hodnot v neděli a v první pracovní den, je patrné, že z hlediska teploty vzduchu v interiéru bylo dosaženo mezi vypočtenými a naměřenými hodnotami dostatečné shody, ale u relativní vlhkosti je patrný rozdíl přes 10%. Z obr. 49, kde je zachyceno letní období konce pracovního týdne a první víkendový den, je patrné, že naměřená teplota vzduchu v interiéru je po oba dny poměrně stabilní, avšak vypočtené hodnoty, zejména v pátek, jsou během dne až o 5 K vyšší.

Po prověření nastavení provozního stavu a dalších okrajových podmínek pro simulaci byl proveden rozbor možných příčin odlišných průběhů vypočtených a naměřených hodnot. Z hlediska vlhkosti byl rozbor zaměřen na průběh měrné vlhkosti, která lépe vypovídá o reálných vlhkostních poměrech ve vzduchu, a byly také prověřeny výsledky zkoumání obdobných simulací v zahraničí. Z hlediska okrajových podmínek bylo na základě rozboru konstatováno, že simulace budovy nezahrnuje možnost zadání okolního venkovního prostředí s vegetací, terénem a budovami a tak naměřená teplota vzduchu v interiéru je ovlivněna reálným okolním prostředím, které především zastiňuje zkoumaný objekt a reguluje vliv solární radiace působící na objekt.

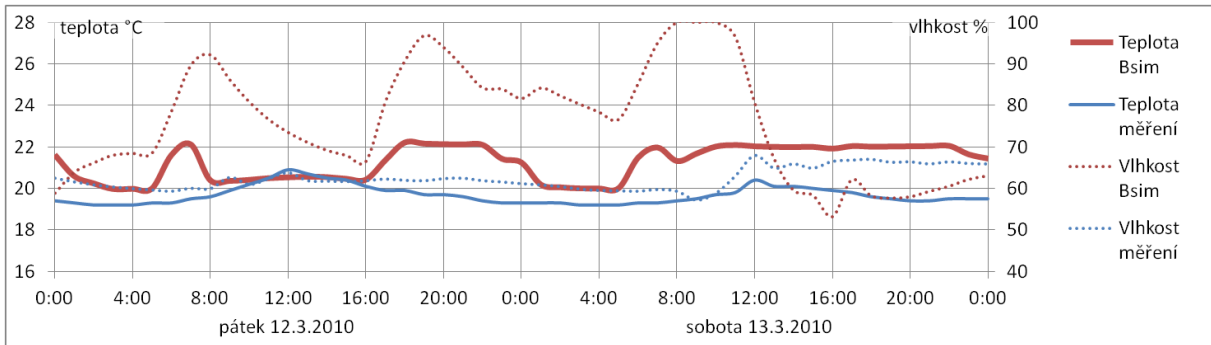
ZIMA 2010



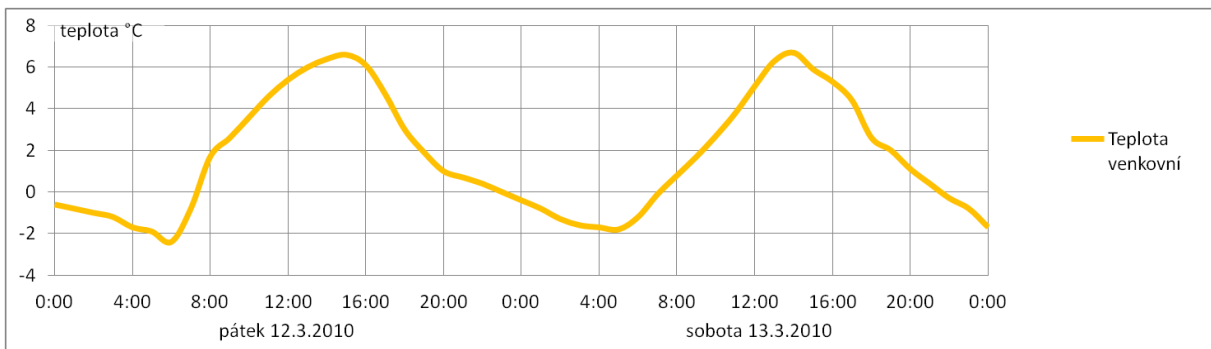
Obr. 50 Začátek pracovních dnů (zimní období) – měřené a simulované hodnoty v obývacím pokoji



Obr. 51 Začátek pracovních dnů (zimní období) – průběh venkovní teploty



Obr. 52 Začátek víkendových dnů (zimní období) – měřené a simulované hodnoty v obývacím pokoji



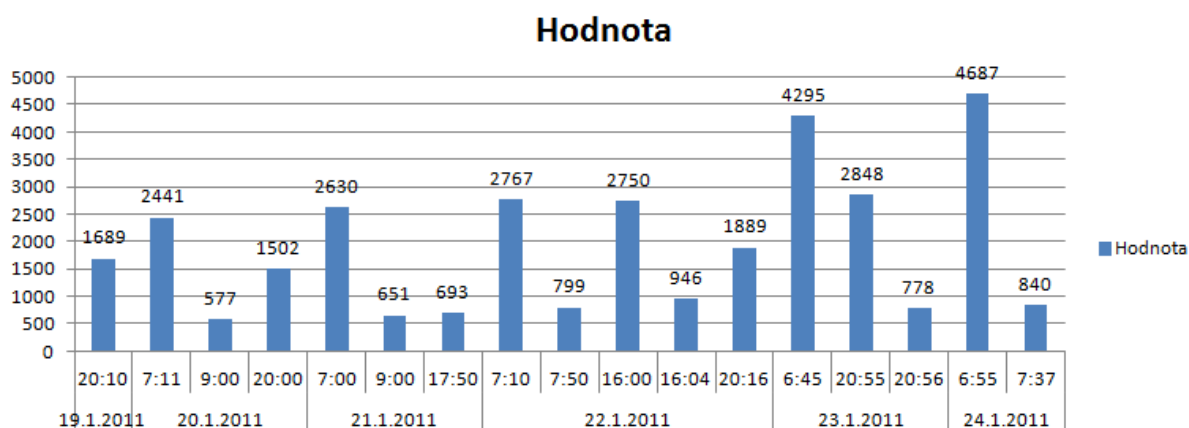
Obr. 53 Začátek víkendových dnů (zimní období) – průběh venkovní teploty

V grafech na Obr. 50 až Obr. 53 je znázorněn průběh simulovaných a naměřených hodnot teploty a relativní vlhkosti vnitřního vzduchu v zimním období a pro možnost porovnání také na samostatných grafech průběh teploty venkovního vzduchu, který byl použit pro simulaci. Z obr. 50, kde jsou zachyceny průběhy hodnot v neděli a v první pracovní den, je patrné, že z hlediska teploty vzduchu v interiéru je mezi vypočtenými a naměřenými hodnotami rozdíl až 3 K. U relativní vlhkosti je výrazný rozdíl až 40%. Z obr. 52, kde je zachyceno zimní období konce pracovního týdne a první víkendový den, je patrné, že naměřená teplota vzduchu v interiéru je po oba dny poměrně stabilní a vypočtené hodnoty jsou, zejména v sobotu, až o 2 K vyšší. Vypočtená relativní vlhkost je během téměř celého období vyšší než naměřená a v sobotu odpoledne je nižší.

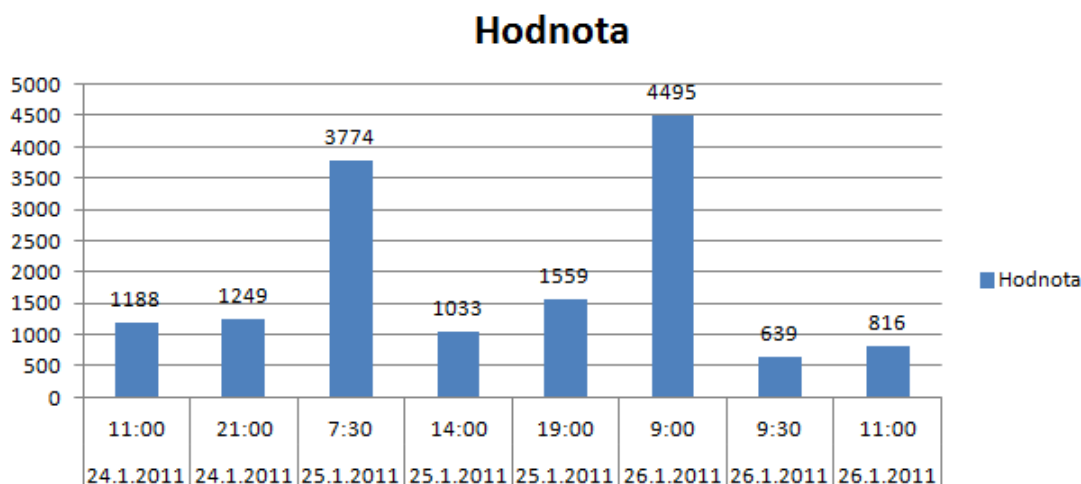
Po prověření nastavení provozního stavu a dalších okrajových podmínek pro simulaci byl proveden rozbor možných příčin odlišných průběhů vypočtených a naměřených hodnot. Z hlediska vlhkosti byl rozbor zaměřen na průběh měrné vlhkosti, a byly také prověřeny výsledky zkoumání obdobných simulací v zahraničí. Z hlediska okrajových podmínek bylo na základě rozboru konstatováno, že simulace budovy nezahrnuje možnost zadání okolního venkovního prostředí s vegetací, terénem a budovami a tak naměřená teplota vzduchu v interiéru je ovlivněna reálným okolním prostředím, které především zastiňuje zkoumaný objekt a reguluje vliv solární radiace působící na objekt. Také chování uživatelů v reálném stavu se plně neshoduje se simulovaným stavem.

5.2.2 Měření koncentrace CO₂

V objektu RD1 a RD2 bylo provedeno měření hodnoty koncentrace CO₂. V obou případech se jednalo o ložnici rodičů. V RD1 bylo měření provedeno v termínu od 19.1. 2011 do 24.1. 2011. Měření bylo zahájeno ve 20:00 hodin a byly zaznamenávány ranní (dopolední) a večerní hodnoty, viz. obr 54. V RD2 bylo měření provedeno v termínu od 24.1. 2011 do 26.1. 2011. Měření bylo zahájeno ve 11:00 hodin a byly zaznamenávány dopolední a večerní hodnoty, viz. obr. 55.



Obr. 54 Měřené hodnoty koncentrace CO₂ v RD1



Obr. 55 Měřené hodnoty koncentrace CO₂ v RD2

V RD1 proběhlo větrání oknem v čase 9:00-9:08 (20.1. 2011), v čase 9:00-9:06 a 17:50-17:53 (21.1. 2011), v čase 7:50-7:54 a 16:04-16:08 (22.1. 2011), v čase 20:56-21:00 (23.1. 2011) a v čase 7:37-7:43 (24.1. 2011).

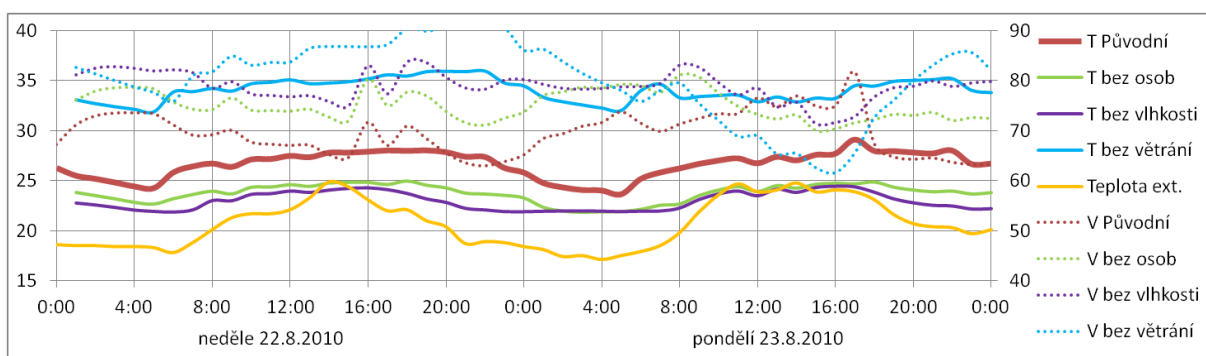
V RD1 proběhlo větrání oknem v čase 14:00-14:12 (25.1. 2011), v čase 9:30-9:38 a v čase 11:00-11:04 (26.1. 2011).

Z porovnání hodnot koncentrace CO₂ v obou RD je patrné jaký význam má i krátké větrání, výměna vzduchu v místnosti, pro snížení koncentrace CO₂, kdy především po nočních hodinách se koncentrace CO₂ v místnosti pohybovala v hodnotách koncentrace nad maximálně přípustnou hodnotou 1500 ppm pro pobytové prostředí dle Vyhlášky č. 20/2012 ze dne 9. 1. 2012.

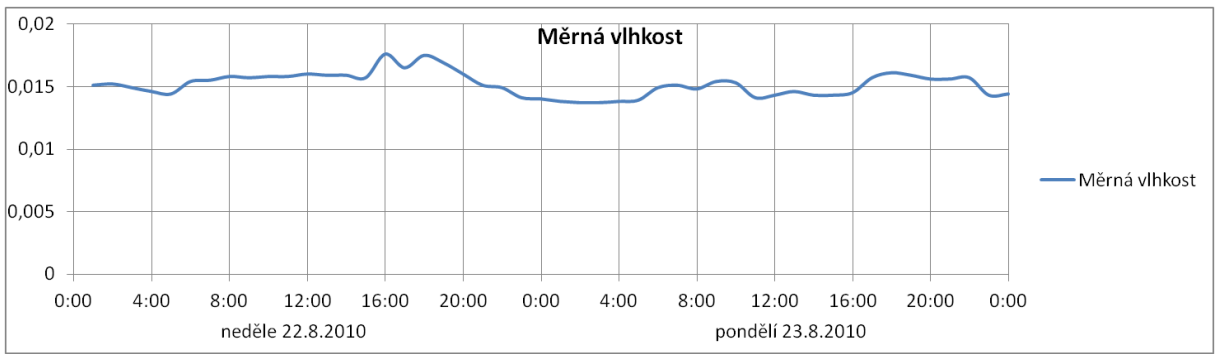
5.2.3 Vyhodnocení simulace vybraných parametrů vnitřního prostředí v RD1.

Pro vyhodnocení vlivu různých okrajových podmínek na TVM byla provedena teoretická simulace. Výsledky simulace jsou uvedeny na obrázcích, viz Obr. 56 – Obr. 63.

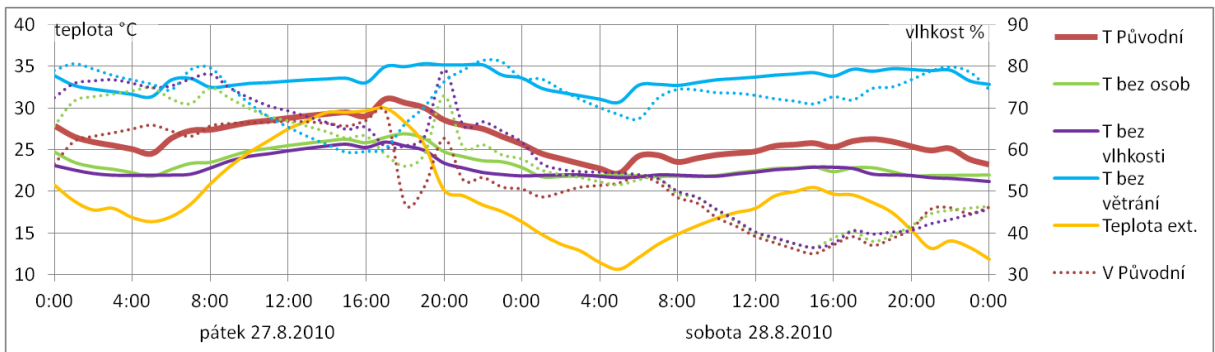
Simulace s označením „T Původní“ je simulací původní, s označením Simulace 1, viz str. 83, Tab. 16. Simulace s označením „T bez osob“ je simulací, při které není předpokládán výskyt osob v uvažovaném prostoru. Simulace s označením „T bez vlhkosti“ je simulace, kdy jsou vypnuté spotřebiče, produkující vlhkost v prostoru, je vypnuto osvětlení a v prostoru není uvažováno s osobami. V simulaci „T bez větrání“ bylo uvažováno, že prostor není okny větrán.



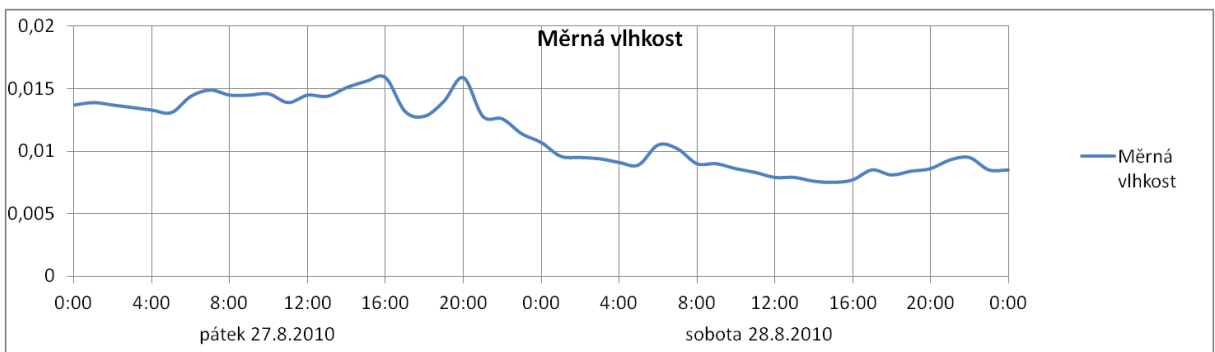
Obr. 56 Začátek pracovních dnů – průběhy teploty vzduchu a relativní vlhkosti při různých okrajových podmínkách v obývacím pokoji ve dnech 22.8-23.8. 2010



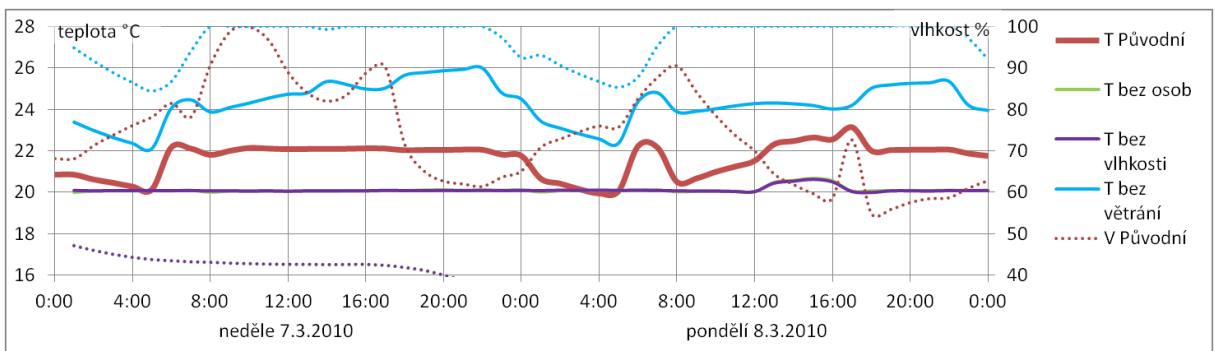
Obr. 57 Začátek pracovních dnů - průběh měrné vlhkosti vzduchu při různých okrajových podmínkách v obývacím pokoji ve dnech 22.8.-23.8. 2010 (pro Simulaci 1).



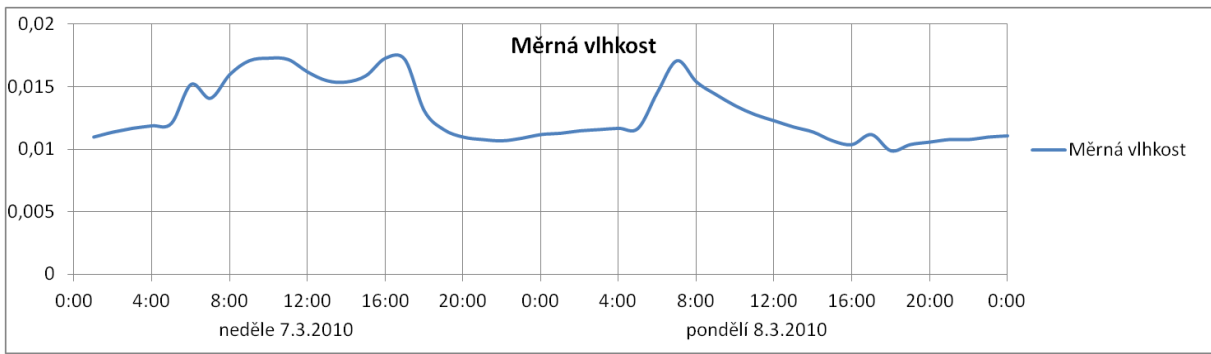
Obr. 58 Začátek víkendových dnů - průběhy teploty vzduchu a relativní vlhkosti při různých okrajových podmínkách v obývacím pokoji ve dnech 27.8.-28.8. 2010.



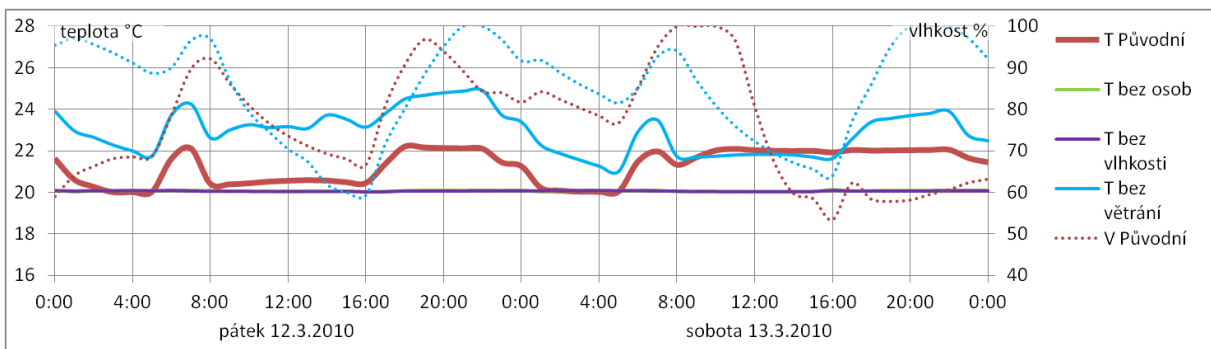
Obr. 59 Začátek víkendových dnů - průběh měrné vlhkosti vzduchu při různých okrajových podmínkách v obývacím pokoji ve dnech 27.8.-28.8. 2010 (pro Simulaci 1).



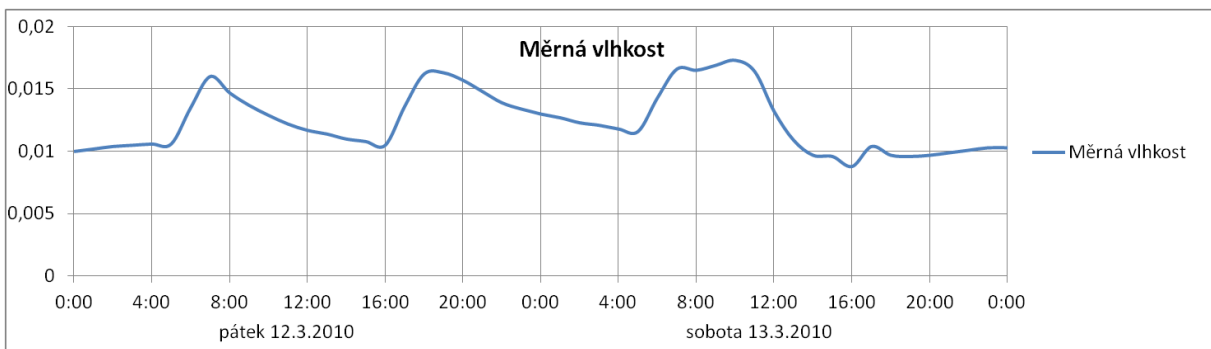
Obr. 60 Začátek pracovních dnů - průběhy teploty vzduchu a relativní vlhkosti při různých okrajových podmínkách v obývacím pokoji ve dnech 7.3.-8.3. 2010.



Obr. 61 Začátek pracovních dnů - průběh měrné vlhkosti vzduchu při různých okrajových podmínkách v obývacím pokoji ve dnech 7.3.-8.3. 2010 (pro Simulaci 1).



Obr. 62 Začátek víkendových dnů - průběhy teploty vzduchu a relativní vlhkosti při různých okrajových podmínkách v obývacím pokoji ve dnech 12.3.-13.3. 2010.



Obr. 63 Začátek víkendových dnů - průběh měrné vlhkosti vzduchu při různých okrajových podmínkách v obývacím pokoji ve dnech 12.3.-13.3. 2010 (pro Simulaci 1).

Ze zákonitostí chování vlhkého vzduchu ve vnitřním prostředí budov vyplývá, že při stoupající teplotě vzduchu v interiéru úměrně klesá relativní vlhkost v téže části objektu, a naopak. O časových úsecích v grafech nevyhovujících tomuto předpokladu lze hovořit jako o anomáliích, které jsou způsobeny produkcí vlhkosti v interiéru a přívodem čerstvého vzduchu z exteriéru, případně přenosem vlhkosti mezi konstrukcemi a vzduchem.

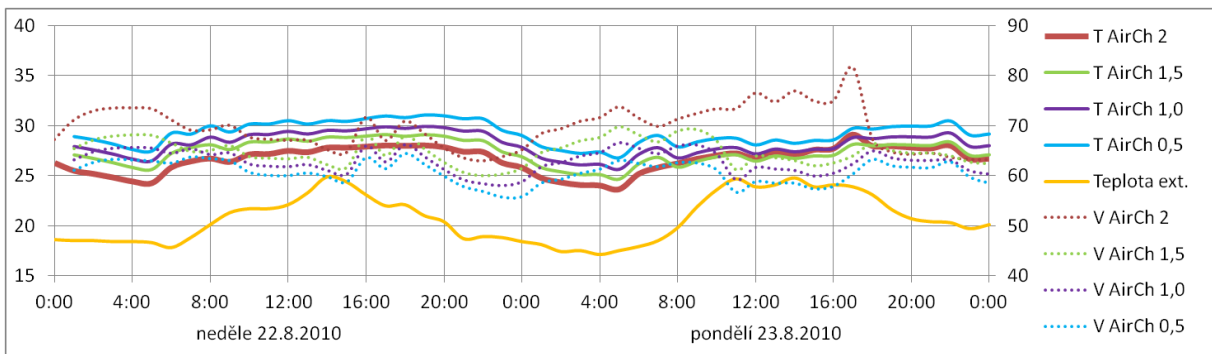
Jak je simulovaných hodnot výše patrné, jedna z takových anomálií nastává v letním období v neděli mezi 13. a 19. hodinou. V tomto časovém úseku dochází k výkyvům vlhkosti při prakticky konstantní teplotě. To může být způsobeno mísením s venkovním vzduchem v té době s patrnou změnou venkovní teploty při současné přítomnosti osob v této místnosti.

Další anomálií je náhlý nárůst vlhkosti, doprovázený nárůstem teploty, kolem 17. hodiny v pracovní den letního období. Tento trend nastává v okamžiku, kdy je v BSimu modelován příchod obyvatel domácnosti. Tento extrém, u teploty i vlhkosti, ihned klesá do standardních podmínek zahájením větrání otevřením oken.

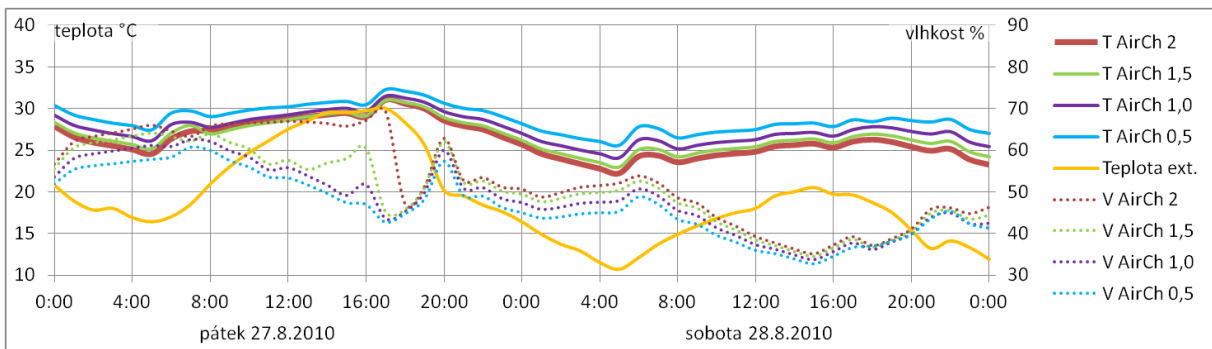
V zimním období jsou z grafů patrné nárůsty teplot, řádově ve stupních, v obdobích dní, kdy je v dané místnosti modelována přítomnost obyvatel domu a současně užívání spotřebičů. V pracovní dny se jedná o cca hodinový úsek před 8. hodinou ranní a pak po 17. hodině až do večera – cca 22. hodiny. O víkendech tento stav nastává prakticky po celý den – od cca 7. do 22. hodiny. V těchto fázích dní dochází i k výraznému nárůstu vlhkosti (až k hodnotám 100%), která posléze pozvolna klesá. Jedná se o důsledek větrání, kdy studený vzduch s vysokým podílem vlhkosti se mísí s teplým a vlhkým vzduchem v místnosti a při teoretickém řešení mísení těchto dvou stavů vzduchu dochází ke kondenzaci vodní páry. Teplota v interiéru je řízena nastavením systému vytápění s přípustným kolísáním kolem nastavené hodnoty. Vlivem pobytu osob dochází k mírnému zvýšení teploty interiéru, která koresponduje s průběhem simulované teploty v místnosti v grafech na Obr. 56 a 58 (červená barva s pobytém osob a zelená barva bez přítomnosti osob). V případě provozu místnosti bez větrání vzroste teplota v interiéru až k 35°C (viz Obr. 56 a 58), z toho vyplývá, že větrání má velký význam pro odvod přebytečného tepla. Relativní vlhkost souvisí s vnitřní teplotou, a proto při omezení počtu osob i zdrojů vlhkosti v místnosti dochází, díky snížení teploty, ke zvýšení relativní vlhkosti oproti původnímu simulovanému stavu v grafu na Obr. 56 i 58. Relativní vlhkost bez větrání dosahuje až 90 % ve večerní době při pobytu všech osob v obývacím pokoji. Simulovaný stav při standardizovaných podmínkách ovlivňuje pobyt osob produkcí vlhkosti a tepla a také větrání. Teplota vzduchu v interiéru v případě, že v místnosti nebudou přítomny osoby, se logicky sníží o 2 až 3°C. Změna relativní vlhkosti je ovlivněna jednak snížením teploty vzduchu v závislosti na tepelných ziscích v místnosti a také vlhkostní zisky. V důsledku toho může relativní vlhkost mírně stoupnout nebo se snížit. V případě eliminace větrání místnosti relativní vlhkost i teplota vzduchu dosáhnou hodnot, které nevyhovují pro vnitřní prostředí obytných budov. Nejmenší rozptyl hodnot je kolem 12. hodiny, největší výkyvy kolem 20. hodiny a největší rozptyl hodnot kolem 16. hodiny v pracovní dny. Stav vnitřního prostředí výrazně závisí na chování uživatelů a způsobu provozu. Potvrzují to výsledky obdobných zahraničních výzkumů pro běžné obytné budovy (např. projekt: Energy Flex House, řešený v Danish Technological Institute).

Pro vyhodnocení vlivu větrání na TVM byla provedena teoretická simulace. Výsledky simulace jsou uvedeny na obrázcích, viz Obr. 64 – Obr. 67.

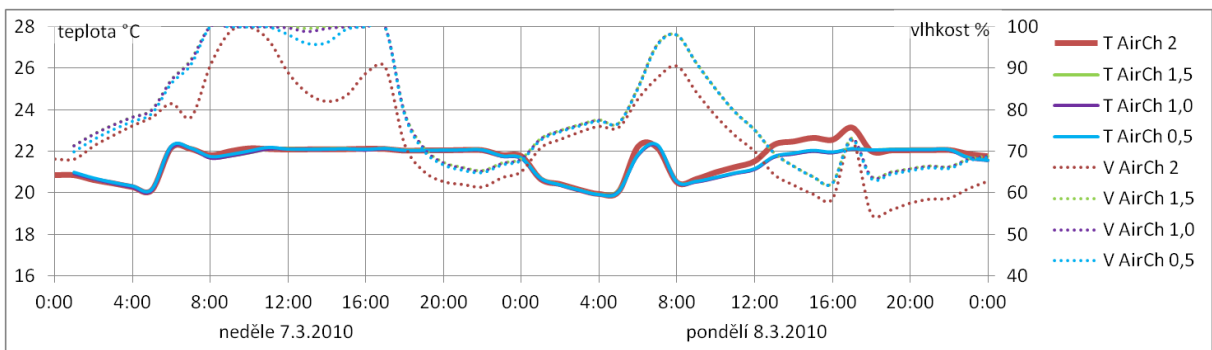
V grafech na Obr. 64 – Obr. 67 jsou provedeny simulace výměny vzduchu v místnosti. Simulace s označením „T AirCh 2“ je původní simulací (s označením Simulace 1), viz str. 78, Tab. 16, kdy bylo simulováno přirozené větrání otevřenými okny systémem Venting, a to s faktorem výměny vzduchu 2 (h^{-1}). Simulace s označením „T AirCh 1,5“ je simulací, při které bylo simulováno přirozené větrání otevřenými okny systémem Venting, a to s faktorem výměny vzduchu 1,5 (h^{-1}), při simulaci „T AirCh 1,0“, resp. „T AirCh 0,5“, byl faktor výměny vzduchu 1,0, resp. 0,5(h^{-1}).



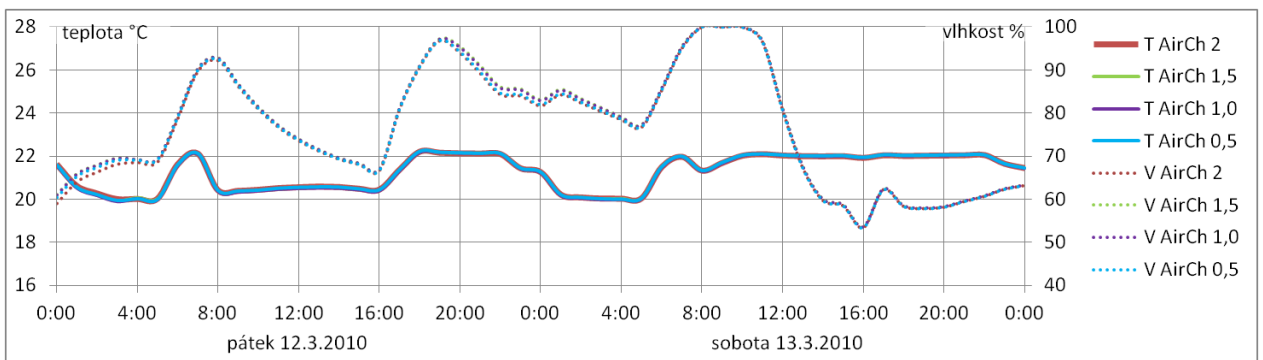
Obr. 64 Začátek pracovních dnů – průběhy teploty vzduchu a relativní vlhkosti při různých okrajových podmínkách (různé intenzitě větrání) v obývacím pokoji ve dnech 22.-23.8. 2010.



Obr. 65 Začátek víkendových dnů - průběhy teploty vzduchu a relativní vlhkosti při různých okrajových podmínkách (různé intenzitě větrání) v obývacím pokoji ve dnech 27.-28.8. 2010.



Obr. 66 Začátek pracovních dnů - průběhy teploty vzduchu a relativní vlhkosti při různých okrajových podmínkách (různé intenzitě větrání) v obývacím pokoji ve dnech 7.-8.3. 2010.



Obr. 67 Začátek víkendových dnů - průběhy teploty vzduchu a relativní vlhkosti při různých okrajových podmínkách (různé intenzitě větrání) v obývacím pokoji ve dnech 12.-13.3. 2010.

Z rozboru grafů na obr. 64 a 65, kde jsou znázorněny průběhy teploty vzduchu a relativní vlhkost v interiéru v teplém období a při různých intenzitách výměny vzduchu v místnosti, vyplývají následující závěry. Zvyšování intenzity větrání z 0,5 až na 2,0 h⁻¹ mírně snižuje teplotu vzduchu v interiéru v rozsahu až 3 K, což koresponduje s teplotou venkovního vzduchu ve sledovaném období. Průběh vnitřní teploty má stejný trend jako průběh venkovní teploty. Na průběh relativní vlhkosti má intenzita větrání výraznější vliv při vyšších venkovních teplotách.

Z rozboru grafů na obr. 66 a 67, kde jsou znázorněny průběhy teploty vzduchu a relativní vlhkost v interiéru v chladném období a při různých intenzitách výměny vzduchu v místnosti, vyplývají následující závěry. Zvyšování intenzity větrání z 0,5 až na 2,0 h⁻¹ s ohledem na regulaci otopné soustavy má minimální vliv na teplotu vzduchu v interiéru. Také průběh relativní vlhkosti je ve všech případech téměř stejný, což potvrzuje platnost fyzikálních zákonů.

5.2.4 Hodnocení bydlení uživateli RD

V rámci hodnocení TVM v jednotlivých RD byli uživatelé formou dotazníku s názvem „Jak hodnotí bydlení uživatelé“ dotazováni na jejich subjektivní pocit z bydlení. Dotazníky pro RD1-RD4 jsou součástí přílohy B této práce.

6 ZÁVĚR DISERTAČNÍ PRÁCE

6.1 VYTVOŘENÍ MODELU DŘEVOSTAVBY

V rámci DP byl vytvořen matematicko-fyzikální model dřevostavby typového objektu RD v počítačovém programu BSim pro teoretické řešení simulace chování dřevostavby a TVM. V rámci aplikace BSim bylo provedeno vhodné rozdělení analyzovaného objektu do zón a tím byla dána možnost řešení každé místnosti nebo části budovy samostatně, avšak při vzájemném ovlivňování prostředím v okolních zónách. Pomocí systémů jsem simuloval teplotní a vlhkostní parametry vnitřního prostředí objektu od různých systémů – např. vytápění, větrání, přítomnost osob, zařízení - spotřebiče, atd. Systémy byly nastaveny pro každou ze zón (resp. pro každý z prvků) na základě analýzy vybraných reálných budov a individuálního chování uživatelů. Jednotlivé systémy uvažované v modelu, které byly v provozu v jednotlivých zónách, jsou popsány v kapitole 4.

Na základě dat z příslušné hydrometeorologické stanice proběhla aktualizace databáze klimatických dat v posuzované lokalitě z důvodu přesnějšího zasazení modelu do konkrétního vnějšího prostředí. Databáze pracovala s hodinovými daty po dobu jednoho referenčního roku.

Při vyhodnocování výsledků simulací a porovnání reálného chování zkoumaných staveb bylo prokázáno, že pro řešení vlhkostních toků je vytvořený model nedokonalý. Pro přesnější výsledky simulace by bylo vhodné použít dokonalejší model (HAM – heat and moisture transfer), který lépe řeší vlhkostní parametry konstrukcí v dřevostavbě. V době řešení práce nebyl k dispozici software, který by tento problém řešil lépe.

6.2 VYUŽITÍ MODELU K ŘEŠENÍ KVALITY VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ DŘEVOSTAVEB

Vytvořený výpočtový model k řešení kvality vnitřního prostředí dřevostaveb se zaměřením na možnosti ovlivnění tepelně vlhkostního mikroklima (TVM) byl po analýzách a kalibraci využit pro řešení plánovaného cíle.

Po vytvoření matematicko-fyzikálního modelu dřevostavby byly nastaveny vybrané okrajové podmínky a simulovány stacionární i nestacionární fyzikální děje se zaměřením na možnosti ovlivnění tepelně vlhkostního mikroklimatu vnitřního prostředí dřevostaveb. V modelu byly vyčleněny čtyři zóny, odpovídající jednotlivým místnostem, ve kterých byly umístěny měřiče při sledování reálného chování mikroklimatu v referenčním RD. Pátou

zónou potom byly zbývající místnosti a vnitřní prostory objektu. Zóny byly charakterizovány stejnou teplotou interiéru a provozním schématem. Účelem modelování bylo zjištění vlivu různých okrajových podmínek na vnitřní klimatická prostředí v dřevostavbách. Hlavními sledovanými parametry byly vnitřní teplota a vlhkost vzduchu v objektu. Dílčí závěry byly shrnuty v kapitole 5.2.3. a projevíly se při stanovení kritérií pro návrh optimálního TVM ve dřevostavbách.

6.3 EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ MODELOVÉHO ŘEŠENÍ

Experimentální ověření modelového řešení a subjektivní hodnocení kvality vnitřního prostředí dřevostaveb je popsáno v kapitole 4.2.. V rámci experimentálního ověření byly vybrány 4 typové RD-dřevostavby střední velikosti. Jednalo se o obydlené novostavby v různých lokalitách. V jednotlivých RD proběhlo v letních a zimních měsících roků 2010-2011 měření vlhkosti a teploty, v RD1 a RD2 také měření hodnoty CO₂. Měření byla zahájena 25. 2. 2010 a byla ukončena 23. 3. 2011. Vnitřní prostředí v objektech dřevostaveb RD bylo prováděno za pomoci dataloggerů S 3120, které byly umístěny v jednotlivých místnostech. Měřicí přístroje byly označeny čísly č. 1 – č. 4, byla provedena jejich fotodokumentace a zakreslení do půdorysných schémat jednotlivých objektů. V rámci hodnocení TVM v jednotlivých RD byli uživatelé formou dotazníku s názvem „Jak hodnotí bydlení uživatelé“ dotazováni na jejich subjektivní pocit z bydlení.

V rámci hodnocení TVM však nebylo přikročeno ke stanovení předpokládaného procentního podílu nespokojených, které je vyjádřeno činitelem PPD. S ohledem na vzorek respondentů (uživatelů) RD, který nebyl v tomto případě reprezentativní skupinou (jednalo se o rodiny se 4, respektive 5 členy), by výsledek neměl pro uživatele statistickou výpovědní hodnotu.

Sledování reálných teplot a vlhkostí vzduchu v interiéru prokázalo dosažení lepších podmínek TVM než vykazovaly simulace. Toto bylo způsobeno jednak osazením reálných budov v terénu a okolí, které v použitém simulačním programu nebylo možné realizovat a také individuálním chováním uživatelů, v mírných rozdílech oproti jimi uvedenému způsobu používání budov a zařízení v dotaznících.

6.4 STANOVENÍ KRITÉRIÍ PRO TVORBU OPTIMÁLNÍHO TVM V DŘEVOSTAVBÁCH

Stanovení kritérií pro tvorbu optimálního TVM v dřevostavbách s aktivními dřevěnými plochami umístěnými ve stavbě bylo provedeno na základě teoretické simulace a také měření vlastností vzduchu v interiéru.

V návaznosti na úroveň tepelné ochrany a těsnosti budov se stanovují požadavky na vytápění a větrání dřevostaveb. Systém vytápění musí být navržen tak, aby během otopného období zajišťoval tepelnou pohodu vnitřního prostředí stavby a zdroje energie byly optimálně využívány. Požadavky na teploty v interiéru v otopném období, účinnost zdroje tepla, měrnou spotřebu tepla a další parametry jsou definovány ve vyhláškách k zákonu o hospodaření energií. Tyto požadavky jsou obecně závazné i pro malé stavby typu rodinných domů a je vhodné je i u těchto staveb dodržovat. Pro efektivitu provozu otopných systémů je nutné zvažovat využití obnovitelných zdrojů energie aktivním i pasivním způsobem. Významným faktorem je snižování ekologické zátěže a vytváření kvalitního a zdravého vnitřního prostředí.

Také systém větrání dřevostaveb musí splňovat požadavky na ochranu zdraví, bezpečnost a provozní spolehlivost. Většina staveb může při vhodných podmínkách využívat přirozené větrání. V ostatních případech se navrhuje mechanické větrání, které může být doplněno o systém zpětného získávání tepla z odpadního vzduchu. Zdrojem tepla pro ohřev větracího vzduchu v chladném ročním období jsou obdobné zdroje energie jako pro vytápění. Mechanické větrání vyžaduje také elektrickou energii pro pohon ventilátorů. Požadavky na množství větracího vzduchu a kvalitu vnitřního vzduchu jsou uvedeny v právních předpisech k zákonu o ochraně veřejného zdraví a závisí na mnoha faktorech.

Zásady pro návrh a hodnocení dřevostaveb včetně kritérií TVM jsou uvedeny v kapitole 3.4.

7 VÝZNAM PRÁCE PRO PRAXI

Disertační práce řeší základní problematiku koncepce návrhu a zajištění TVM v budovách pro bydlení s konstrukcemi na bázi dřeva.

Výsledky formované do kritérií jsou použitelné v projekční praxi při návrhu koncepce budov s nízkou a téměř nulovou spotřebou energie a to jak pro dřevostavby, tak pro další konstrukční systémy. Posílí tak, pro nejrozšířenější budovy pro individuální – rodinné domy a pro trend používání dřeva k výstavbě těchto budov, kvalitu projektování staveb s kvalitním TVM a kvalitním bydlením.

8 MOŽNOSTI DALŠÍHO VÝZKUMU

Teoretické řešení tvorby TVM ve dřevostavbách v této práci ukázalo, že je potřeba zaměřit na vývoj dokonalejšího simulačního nástroje, který bude lépe respektovat přenos zejména vlhkosti mezi vzduchem a konstrukcemi (dřevem).

Vytvořený model a provedené simulace umožňují využití k dalším zkoumání dřevostaveb (energetika, chování systémů, apod.).

LITERATURA

- [1] Zákon č. 258/2000 sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících předpisů, účinnost od 1.1. 2001.
- [2] Nařízení vlády č. 68/2010 Sb., kterým se mění nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci ze dne 22.2. 2010.
- [3] Nařízení vlády č. 93/2012 Sb., kterým se mění nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci, ve znění nařízení vlády č. 68/2010 Sb., ze dne 29.2. 2012.
- [4] Nařízení vlády č. 9/2013 Sb., kterým se mění nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci, ve znění nařízení vlády č. 68/2010 Sb., č. 93/2012 Sb., ze dne 20.12. 2012.
- [5] Vyhláška Ministerstva zdravotnictví č. 6/2003, kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb. Účinnost od 1.7. 2003.
- [6] Vyhláška č. 410/2005 Sb., o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých, účinnost od 16.11. 2005
- [7] Vyhláška č. 268/2009, o technických požadavcích na stavby, ze dne 12.8. 2009.
- [8] Vyhláška č. 20/2012, kterou se mění vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby, ze dne 9.1. 2012.
- [9] ČSN EN ISO 7730 Ergonomie tepelného prostředí – Analytické stanovení a interpretace tepelného komfortu pomocí výpočtu ukazatelů PMV a PPD a kritéria místního tepelného komfortu.
- [10] ČSN EN ISO 7730 Ergonomie tepelného prostředí – Přístroje pro měření fyzikálních veličin.
- [11] ČSN 73 0540-1 Tepelná ochrana budov. Část 1: Terminologie.
- [12] ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov. Část 2: Požadavky.
- [13] ČSN 73 0540-3 Tepelná ochrana budov. Část 3: Návrhové hodnoty veličin.
- [14] ČSN 73 0540-4 Tepelná ochrana budov. Část 4: Výpočtové metody.
- [15] ČSN 73 4301 Obytné budovy.

- [16] ČSN EN 12831 Tepelné soustavy v budovách – Výpočet tepelného výkonu.
- [17] ČSN EN 12 792 Větrání budov – Značky, terminologie a grafické značky.
- [18] ČSN EN 13 053 Větrání budov – Vzduchotechnické manipulační jednotky – Hodnocení jednotek, prvků a částí.
- [19] ČSN EN 13 142 Větrání budov – Součásti/výrobky pro větrání bytů – Požadované volitelné výkonové veličiny.
- [20] ČSN EN ISO 15 929 Tepelně vlhkostní chování budov – výpočet a uvádění klimatických dat.
- [21] ČSN EN 15251 Vstupní parametry vnitřního prostředí pro návrh a posouzení energetické náročnosti budov s ohledem na kvalitu vnitřního vzduchu, tepelného prostředí, osvětlení a akustiky, účinnost od 1.3. 2011.
- [22] ČSN EN 15 665 Větrání budov – Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov, vydáno 1.11. 2009.
- [23] Jokl, M. . Teorie vnitřního prostředí budov, Praha 2011.
- [24] VALCHÁŘ J. a kol.. Základy sušení. Praha: SNTL, 1967.

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK

ZNAČKA	POPIS	JEDNOTKA
θ_0	operativní teplota	[°C]
θ_g	teplota kulového teploměru (výsledná teplota)	[°C]
θ_i	výpočtová vnitřní teplota	[°C]
θ_r	střední radiační teplota	[°C]
θ_{sim}	vážený průměr povrchových teplot	[°C]
θ_{pr}	rovinná radiační teplota	[°C]
$\Delta\theta_{pr}$	asymetrie radiační teploty	[°C]
θ_{korig}	korigovaná teplota	[°C]
θ_w	teplota mokrého teploměru	[°C]
θ_d	teplota rosného bodu	[°C]
θ_p	střed. teplota povrchu oblečeného člověka	[°C]
θ_k	průměrná teplota pokožky	[°C]
θ_a	teplota vzduchu	[°C]
θ_p	teplota podlahy	[°C]
θ_s	povrchová teplota	[°C]
θ_{ai}	optimální teplota vzduchu v interiéru	[°C]
θ_{cl}	povrchová teplota oděvu	[°C]
v_{ai}	rychlost proudění vzduchu v interiéru	[m.s ⁻¹]
v_a	rychlost proudění vzduchu	[m.s ⁻¹]
rh	relativní vlhkost vzduchu	[%]
RQ	měrná tepelná kapacita	[J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]
$\Delta\theta$	rozdíl teplot	[K]
h_c	součinitel přestupu tepla konvencí	[W.m ⁻² .K ⁻¹]
θ_i	relativní drsnost potrubí	[-]
q_m	metabolický tepelný tok	[W.m ⁻²]
RQ	respirační kvocient	[-]
q_c	tepelný tok sdílený prouděním	[W.m ⁻²]
q_r	tepelný tok sdílený sáláním	[W.m ⁻²]
T_p	teplota povrchu oblečeného člověka	[K]

T_u	účinná teplota okolních ploch	[K]
q_w	celkový tepelný tok odváděný z těla vypařováním	[W.m ⁻²]
λ	součinitel tepelné vodivosti	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]
p_D	parciální tlak vodních par	[Pa]
p_i	parciální tlak vodní páry vnitřního vzduchu	[Pa]
A_k	plocha těla	[m ²]
h_a	entalpie vdechovaného vzduchu	[kJ.kg ⁻¹]
h_v	entalpie vydechovaného vzduchu	[kJ.kg ⁻¹]
q_M	hustota tepelného toku při metabolismu	[W.m ⁻²]
q_w	hustota tepelného toku při aktivitě osob	[W.m ⁻²]
I	intenzita sálání	[W.m ⁻²]
DR	stupeň obtěžování průvanem	[-]
SR	intenzita pocení	[g/h]
T_u	místní intenzita turbulence	[%]
M	energetický výdej člověka	[W.m ⁻²]
W	vnější mechanický výkon	[W.m ⁻²]
R_{cl}	tepelný odpor oděvu	[m ² .K.W ⁻¹]

SEZNAM ZKRATEK

DP	disertační práce
VZT	vzduchotechnika
CHL	chlazení
VYT	vytápění
RD	rodinný dům
TZB	technická zařízení budov
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
TVM	tepelně vlhkostní mikroklíma

SEZNAM TABULEK

Tab. 1	<i>Přehled hodnot faktorů ovlivňujících vnitřní prostředí obytných budov aplikovaných v praxi</i>	- 14 -
Tab. 2	<i>Hlavní zdroje vlhkosti v obytných budovách viz. str. 28 dle [23]</i>	- 15 -
Tab. 3	<i>Požadavky na mikroklimatické podmínky na nevenkovním pracovišti s neudržovanou teplotou přirozeně větraném, na němž je k větrání použito kombinované nebo nucené větrání, na pracovišti s udržovanou teplotou jako technologickým požadavkem dle [3].</i>	- 19 -
Tab. 4	<i>Přípustné mikroklimatické podmínky pro jednotlivé druhy práce z hlediska tepelné pohody pro vybrané třídy práce dle [2].</i>	- 20 -
Tab. 5	<i>Požadavky na výslednou teplotu kulového teploměru pro typy pobytových místností podle vyhlášky [5].</i>	- 21 -
Tab. 6	<i>Teploty a množství odváděného vzduchu pro hygienická zařízení u pobytových místností dle [5]</i>	- 22 -
Tab. 7	<i>Limity koncentrací CO₂ v pobytovém prostředí</i>	- 24 -
Tab. 8	<i>Povrchová teplota některých částí lidského těla při různých teplotách okolního prostředí</i>	- 31 -
Tab. 9	<i>Přípustné podmínky mikroklimatických podmínek pro celý rok viz. [3].</i>	- 37 -
Tab. 10	<i>Optimální operativní teploty, relativní vlhkosti a minimální výměny vzduchu v sanitárních zařízeních a v ostatních nebytových místnostech (upraveno dle DIN 1946-2 a ČSN 06 0210).</i>	- 38 -
Tab. 11	<i>Tepelná izolace běžného oděvu podle [9].</i>	- 45 -
Tab. 12	<i>Výpočtová vnitřní teplota θ_i ve vytápěných místnostech, upraveno podle [16].</i>	- 51 -
Tab. 13	<i>Kritéria pro optimální světloteknické podmínky dřevostavby</i>	- 60 -
Tab. 14	<i>Kritéria pro vytvoření optimálního tepelně vlhkostního prostředí dřevostavby</i>	- 61 -
Tab. 15	<i>Kritéria pro optimální kvalitu vzduchu v prostředí dřevostavby</i>	- 62 -
Tab. 16	<i>Charakteristika modelovaných simulací.</i>	- 78 -

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1	Činitelé ekosystémového komplexu působící na člověka	- 12 -
Obr. 2	Rovnovážná vlhkost dřeva v závislosti na teplotě a vlhkosti okolního vzduchu podle [24]	- 16 -
Obr. 3	Základní tvorba tepla člověka - metabolické bazální teplo	- 28 -
Obr. 4	Korekční faktor $(\theta_g - \theta_o)$ pro stanovení operativní teploty v závislosti na rozdílu $(\theta_g - \theta_{ai})$ a rychlosti proudění vzduchu v_{ai}	- 36 -
Obr. 5	Vztah parametru f a rychlosti proudění vzduchu v_{ai}	- 36 -
Obr. 6	Přípustné podmínky mikroklimatických podmínek pro celý rok ve smyslu nařízení vlády č. 361/2007 Sb.	- 37 -
Obr. 7	Korekce operativní teploty $\Delta\theta_o$ v závislosti na rychlosti proudění vzduchu a pracovní třídě.....	- 39 -
Obr. 8	Křivky referenčních hodnot WBGT pro různé cykly “práce - odpočinek”. Energetický výdej je stanovený pro standardní osobu s plochou těla $1,8 \text{ m}^2$ ve W a ve $W \cdot m^{-2}$	- 41 -
Obr. 9	Vztahy mezi činiteli PMV a PPD [9]	- 44 -
Obr. 10	Energetický výkon (výdej) člověka podle [9]	- 44 -
Obr. 11	Optimální operativní teplota jako funkce oděvu a činnosti pro kategorii A [9] -	47 -
Obr. 12	Optimální operativní teplota jako funkce oděvu a činnosti pro kategorii B [9] -	47 -
Obr. 13	Optimální operativní teplota jako funkce oděvu a činnosti pro kategorii C [9] -	48 -
Obr. 14	Vztahy mezi rychlostí proudění vzduchu, oděvem, činností a optimální vnitřní teplotou $1,00 \text{ clo} = 0,16 \text{ m}^2 \cdot K \cdot W^{-1}$, $1 \text{ met} = 58 \text{ W} \cdot m^{-2}$, $\varphi_{ai} = 50 \%$	- 49 -
Obr. 15	Charakteristika mikroklimatických kategorií stanovených podle indexů PMV a PPD.....	- 49 -
Obr. 16	Vertikální průběh teploty vzduchu ve středu místnosti při různých způsobech vytápění.	- 54 -
Obr. 17	Radarový graf hodnocení kvality dřevostaveb	- 59 -
Obr. 18	Axonometrie komplexního referenčního modelu.....	- 67 -
Obr. 19	Vstupní model pro analýzu vnitřního prostředí v dřevostavbách	- 67 -
Obr. 20	Příklad nastavení propustnosti okenních výplní systémem SolarShading	- 68 -
Obr. 21	Skladby podlah 2NP - obytné místnosti (vlevo) a ostatní prostory (vpravo)	- 69 -
Obr. 22	Denní profily tepelné zátěže činností spotřebičů pro jednotlivé zóny.....	- 69 -
Obr. 23	Denní profily zohlednění přítomnosti osob v jednotlivých zónách	- 70 -
Obr. 24	Nastavení parametrů vytápění	- 70 -
Obr. 25	Parametry vnitřního osvětlení objektu.....	- 71 -
Obr. 26	Denní profil vlhkostní zátěže v koupelně objektu.....	- 71 -
Obr. 27	Půdorys objektu dřevostavby - RD1.....	- 73 -
Obr. 28	Půdorys objektu dřevostavby – RD2.....	- 74 -
Obr. 29	Půdorys objektu dřevostavby – RD3.....	- 75 -
Obr. 30	Půdorys objektu dřevostavby – RD4.....	- 76 -

Obr. 31	Pohled na datalogger S3120.....	- 77 -
Obr. 32	Začátek pracovních dnů (letní období) – simulované hodnoty v obývacím pokoji.....	- 81 -
Obr. 33	Začátek víkendových dnů (letní období) – simulované hodnoty v obývacím pokoji.....	- 81 -
Obr. 34	Začátek pracovních dnů (zimní období) – simulované hodnoty v obývacím pokoji.....	- 81 -
Obr. 35	Začátek pracovních dnů (zimní období) – průběh venkovní teploty	- 81 -
Obr. 36	Začátek víkendových dnů (zimní období) – simulované hodnoty v obývacím pokoji.....	- 82 -
Obr. 37	Začátek víkendových dnů (zimní období) – průběh venkovní teploty	- 82 -
Obr. 38	Víkendový den (letní období) - simulované hodnoty v obývacím pokoji.....	- 82 -
Obr. 39	Víkendový den (zimní období) - simulované hodnoty v obývacím pokoji	- 83 -
Obr. 40	Simulované hodnoty teploty v obývacím pokoji od 23.8. – 29.8. 2010	- 83 -
Obr. 41	Simulované hodnoty relativní vlhkosti v obývacím pokoji od 23.8. – 29.8. 2010-	- 83 -
Obr. 42	Simulované hodnoty teploty v ložnici od 23.8. – 29.8. 2010.....	- 84 -
Obr. 43	Simulované hodnoty relativní vlhkosti v ložnici od 23.8. – 29.8. 2010.....	- 84 -
Obr. 44	Simulované hodnoty teploty v obývacím pokoji od 8.3. – 14.3. 2010	- 84 -
Obr. 45	Simulované hodnoty relativní vlhkosti v obývacím pokoji od 8.3. – 14.3. 2010 .	- 84 -
Obr. 46	Simulované hodnoty teploty v ložnici od 8.3. – 14.3. 2010.....	- 85 -
Obr. 47	Simulované hodnoty relativní vlhkosti v ložnici od 8.3. – 14.3. 2010.....	- 85 -
Obr. 48	Začátek pracovních dnů (letní období) – měřené a simulované hodnoty v obývacím pokoji	- 85 -
Obr. 49	Začátek víkendových dnů (letní období) – měřené a simulované hodnoty v obývacím pokoji	- 86 -
Obr. 50	Začátek pracovních dnů (zimní období) – měřené a simulované hodnoty v obývacím pokoji	- 86 -
Obr. 51	Začátek pracovních dnů (zimní období) – průběh venkovní teploty	- 87 -
Obr. 52	Začátek víkendových dnů (zimní období) – měřené a simulované hodnoty v obývacím pokoji.....	- 87 -
Obr. 53	Začátek víkendových dnů (zimní období) – průběh venkovní teploty	- 87 -
Obr. 54	Měřené hodnoty koncentrace CO ₂ v RD1	- 88 -
Obr. 55	Měřené hodnoty koncentrace CO ₂ v RD2	- 88 -
Obr. 56	Začátek pracovních dnů – průběhy teploty vzduchu a relativní vlhkosti při různých okrajových podmínkách v obývacím pokoji ve dnech 22.8-23.8. 2010	- 89 -
Obr. 57	Začátek pracovních dnů - průběh měrné vlhkosti vzduchu při různých okrajových podmínkách v obývacím pokoji ve dnech 22.8.-23.8. 2010 (pro Simulaci 1).	- 90 -
Obr. 58	Začátek víkendových dnů - průběhy teploty vzduchu a relativní vlhkosti při různých okrajových podmínkách v obývacím pokoji ve dnech 27.8.-28.8. 2010.	- 90 -
Obr. 59	Začátek víkendových dnů - průběh měrné vlhkosti vzduchu při různých okrajových podmínkách v obývacím pokoji ve dnech 27.8.-28.8. 2010	

	<i>(pro Simulaci 1).</i>	- 90 -
Obr. 60	<i>Začátek pracovních dnů - průběhy teploty vzduchu a relativní vlhkosti při různých okrajových podmínkách v obývacím pokoji ve dnech 7.3.-8.3. 2010. ...</i>	- 90 -
Obr. 61	<i>Začátek pracovních dnů - průběh měrné vlhkosti vzduchu při různých okrajových podmínkách v obývacím pokoji ve dnech 7.3.-8.3. 2010 (pro Simulaci 1).</i>	- 91 -
Obr. 62	<i>Začátek víkendových dnů - průběhy teploty vzduchu a relativní vlhkosti při různých okrajových podmínkách v obývacím pokoji ve dnech 12.3.-13.3. 2010.</i>	- 91 -
Obr. 63	<i>Začátek víkendových dnů - průběh měrné vlhkosti vzduchu při různých okrajových podmínkách v obývacím pokoji ve dnech 12.3.-13.3. 2010 (pro Simulaci 1).</i>	- 91 -
Obr. 64	<i>Začátek pracovních dnů – průběhy teploty vzduchu a relativní vlhkosti při různých okrajových podmínkách (různé intenzitě větrání) v obývacím pokoji ve dnech 22.-23.8. 2010.</i>	- 93 -
Obr. 65	<i>Začátek víkendových dnů - průběhy teploty vzduchu a relativní vlhkosti při různých okrajových podmínkách (různé intenzitě větrání) v obývacím pokoji ve dnech 27.-28.8. 2010.</i>	- 93 -
Obr. 66	<i>Začátek pracovních dnů - průběhy teploty vzduchu a relativní vlhkosti při různých okrajových podmínkách (různé intenzitě větrání) v obývacím pokoji ve dnech 7.-8.3. 2010.</i>	- 93 -
Obr. 67	<i>Začátek víkendových dnů - průběhy teploty vzduchu a relativní vlhkosti při různých okrajových podmínkách (různé intenzitě větrání) v obývacím pokoji ve dnech 12.-13.3. 2010.</i>	- 93 -

PŘÍLOHA A: FOTODOKUMENTACE



Foto č. 1 Celkový pohled na RD 1



Foto č. 2 Pohled na umístění dataloggeru v objektu RD 1



Foto č. 3 Celkový pohled na RD 2



Foto č. 4 Pohled na umístění dataloggeru v objektu RD 2

PŘÍLOHA B: DOTAZNÍKY

RD1

Místo stavby Drásov, okraj obce
Počet pater 1.NP, podkroví, nepodsklepen
Počet osob v domě: 2 dospělí, 3 děti

DOTAZNÍK: „JAK HODNOTÍ BYDLENÍ UŽIVATELÉ“

OBECNÉ ÚDAJE

Budova: dřevostavba jiná
Poloha budovy v obci: okraj obce střed obce
Poloha budovy: řadová samostatně stojící
Orientace vchodu budovy: V Z S J
 JV JZ SV SZ
Počet osob v domě:5..... (dospělí2....., děti3.....)

Doma jsme většinou: celý všední den (*pracujeme doma, mateřská dovolená*)
 ve všední den po práci (navečer, večer)
 celý víkend
 o víkendu většinou nejsme doma

SUBJEKTIVNÍ HODNOCENÍ

Náš názor na bydlení v domě:

- vyhovuje mi bydlení v dřevostavbě
- jsem spokojený s celkovým komfortem bydlení
- z finančního hlediska (ušetříme náklady na vytápění, elektřinu ...)
- nevyhovuje mi bydlení v dřevostavbě z důvodu

V domě je nám v zimním období většinou :

- horko (přestože regulujeme radiátory)
- příjemně
- zima
- používáme doplňkový zdroj tepla typ: ...kamna.....
 - kdy používáme? ...navečer.....
 - kde používáme?.....obývací místnost

Teplota v domě v zimním období je asi :

- méně než 20°C 20°C 22°C 24°C 26°C více

A to: celý den jen pokud jsme doma

Dochází v letním období k přehřívání místnosti:

- ano ne

Vnitřní prostředí v domě v letním období udržujeme:

- nevětráme
- využíváme větrání okny – 1x denně po 20 minutách
- využíváme větrání okny - 2x denně po 20 minutách
- využíváme větrání okny - 3x denně po 20 minutách
- máme většinou dlouhodobě pootevřené okno
- používáme mikroventilaci – kde?:
- cítíme průvan z větracích otvorů v těchto místnostech:
.....

Vlhkost a pachy z kuchyně a hygienického zařízení se:

- vyvětrají dost rychle
- pocít'ujeme je delší dobu, jsou problémy s odvětráním
- v době vaření používáme digestoř
- vaříme denně: oběd
 večeře
 oběd a večeře
- vaříme o víkendu: oběd
 večeře
 oběd a večeře
- cítíme pachy a to hlavně: v kuchyni
 v koupelně, na záchodě
 jinde

Hluk ze vzduchotechnického zařízení

Slyšíme hluk a to: stále
 hlavně v noci a pokud je v domě klid

Plísně vyskytují se: - kde?
 - kdy?
 nevyskytují se

RD2

Místo stavby Drásov, okraj obce
Počet pater 1.NP, podkroví, nepodsklepen
Počet osob v domě: 2 dospělí, 2 děti

DOTAZNÍK: „JAK HODNOTÍ BYDLENÍ UŽIVATELÉ“

OBECNÉ ÚDAJE

- Budova:** dřevostavba jiná
Poloha budovy v obci: okraj obce střed obce
Poloha budovy: řadová samostatně stojící
Orientace vchodu budovy: V Z S J
 JV JZ SV SZ
Počet osob v domě:2..... (dospělí2....., děti)
Doma jsme většinou: celý všední den (*pracujeme doma, mateřská dovolená*)
 ve všední den po práci (navečer, večer)
 celý víkend
 o víkendu většinou nejsme doma

SUBJEKTIVNÍ HODNOCENÍ

Náš názor na bydlení v domě:

- vyhovuje mi bydlení v dřevostavbě
 jsem spokojený s celkovým komfortem bydlení
 z finančního hlediska (ušetříme náklady na vytápění, elektřinu ...)
 nevyhovuje mi bydlení v dřevostavbě z důvodu

V domě je nám v zimním období většinou :

- horko (přestože regulujeme radiátory)
 příjemně
 zima
 používáme doplňkový zdroj tepla typ:krb.....
 kdy používáme?zřídka.....
 kde používáme?.....obývací pokoj

Teplota v domě v zimním období je asi :

- méně než 20°C 20°C 22°C 24°C 26°C více

DOTAZNÍK: „JAK HODNOTÍ BYDLENÍ UŽIVATELÉ“

OBEČNÉ ÚDAJE

- Budova:** dřevostavba jiná
- Poloha budovy v obci:** okraj obce střed obce
- Poloha budovy:** řadová samostatně stojící
- Orientace vchodu budovy:** V Z S J
 JV JZ SV SZ
- Počet osob v domě:**3..... (dospělí2....., děti1.....)
- Doma jsme většinou:** celý všední den (*pracujeme doma, mateřská dovolená*)
 ve všední den po práci (*navečer, večer*)
 celý víkend
 o víkendu většinou nejsme doma

SUBJEKTIVNÍ HODNOCENÍ

Náš názor na bydlení v domě:

- vyhovuje mi bydlení v dřevostavbě
- jsem spokojený s celkovým komfortem bydlení
- z finančního hlediska (ušetříme náklady na vytápění, elektřinu ...)
- nevyhovuje mi bydlení v dřevostavbě z důvodu

V domě je nám v zimním období většinou :

- horko (přestože regulujeme radiátory)
- příjemně
- zima
- používáme doplňkový zdroj tepla typ:krb.....
 - kdy používáme?zřídka.....
 - kde používáme? ...obývací pokoj

Teplota v domě v zimním období je asi :

- méně než 20°C 20°C 22°C 24°C 26°C více

A to: celý den jen pokud jsme doma

Dochází v letním období k přehřívání místnosti:

- ano ne

Vnitřní prostředí v domě v letním období udržujeme:

- nevětráme

DOTAZNÍK: „JAK HODNOTÍ BYDLENÍ UŽIVATELÉ“

OBEČNÉ ÚDAJE

- Budova:** dřevostavba jiná
- Poloha budovy v obci:** okraj obce střed obce
- Poloha budovy:** řadová samostatně stojící
- Orientace vchodu budovy:** V Z S J
 JV JZ SV SZ
- Počet osob v domě:**4..... (dospělí2....., děti2.....)
- Doma jsme většinou:** celý všední den (*pracujeme doma, mateřská dovolená*)
 ve všední den po práci (navečer, večer)
 celý víkend
 o víkendu většinou nejsme doma

SUBJEKTIVNÍ HODNOCENÍ

Náš názor na bydlení v domě:

- vyhovuje mi bydlení v dřevostavbě
- jsem spokojený s celkovým komfortem bydlení
- z finančního hlediska (ušetříme náklady na vytápění, elektřinu ...)
- nevyhovuje mi bydlení v dřevostavbě z důvodu

V domě je nám v zimním období většinou :

- horko (přestože regulujeme radiátory)
- příjemně
- zima
- používáme doplňkový zdroj tepla typ:
 - kdy používáme?
 - kde používáme?

Teplota v domě v zimním období je asi :

- méně než 20°C 20°C 22°C 24°C 26°C více

A to: celý den jen pokud jsme doma

Dochází v letním období k přehřívání místnosti:

- ano ne

Vnitřní prostředí v domě v letním období udržujeme:

- nevětráme

- využíváme větrání okny – 1x denně po 20 minutách
- využíváme větrání okny - 2x denně po 20 minutách
- využíváme větrání okny - 3x denně po 20 minutách
- máme většinou dlouhodobě pootevřené okno
- používáme mikroventilaci – kde?:
- cítíme průvan z větracích otvorů v těchto místnostech:

.....

Vlhkost a pachy z kuchyně a hygienického zařízení se:

- vyvětrají dost rychle
- pocitujeme je delší dobu, jsou problémy s odvětráním
- v době vaření používáme digestoř
- vaříme denně:
 - oběd
 - večeře
 - oběd a večeře
- vaříme o víkendu:
 - oběd
 - večeře
 - oběd a večeře
- cítíme pachy a to hlavně:
 - v kuchyni
 - v koupelně, na záchodě
 - jinde

Hluk ze vzduchotechnického zařízení

Slyšíme hluk a to: stále

- hlavně v noci a pokud je v domě klid

Plísně

- vyskytují se:
 - kde
 - kdy
- nevyskytují se