

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ



**Rešerše metodik prokazování energetických
úspor dosahovaných regulací v budovách**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Jaroslava Panáková
2019



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Panáková** Jméno: **Jaroslava** Osobní číslo: **465552**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav energetiky**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Rešerše metodik prokazování energetických úspor dosahovaných regulací v budovách

Název bakalářské práce anglicky:

Research of methodologies for evaluation of energy savings in buildings achieved by regulators

Pokyny pro vypracování:

Cílem této práce je rešerše a koncepční návrh způsobu, jak a za jakých podmínek lze prokázat úsporu tepla pro vytápění budovy díky instalaci pokročilé regulace otopného systému. Protože spotřeba tepla na vytápění vždy závisí na mnoha faktorech, které jsou proměnlivé, a navíc navzájem závislé, nelze v praxi přímo porovnávat změřené spotřeby energie.

Seznam doporučené literatury:

K práci budou přednostně využity informace z recenzovaných tištěných a internetových článků, knih a dalších publikací autorů pohybujících v oboru vytápění. Dalšími zdroji informací budou odborné články a studie zveřejněné v celosvětově rozšířených internetových databázích a knihovnách.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

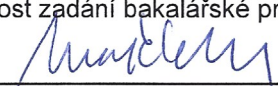
Ing. Jakub Maščuch, Ph.D., ústav energetiky FS

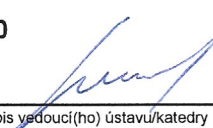
Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

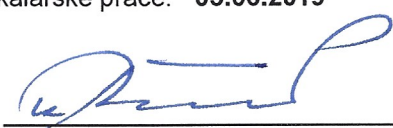
Datum zadání bakalářské práce: **12.04.2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: **05.06.2019**

Platnost zadání bakalářské práce: **31.12.2020**


Ing. Jakub Maščuch, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

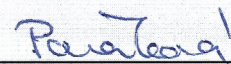

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Studentka bere na vědomí, že je povinna vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.


Datum převzetí zadání


Podpis studentky

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem svoji bakalářskou práci s názvem *Rešerše metodik prokazování energetických úspor dosa-
hovaných regulací v budovách* vypracovala samostatně pod vedením vedoucího práce a že veškeré odborné
literární i další zdroje jsem uvedla v seznamu literatury a v práci citovala v souladu s Metodickým pokynem
o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 30. 5. 2019

.....

Anotační list

Jméno autora:	Jaroslava Panáková
Název práce:	Rešerše metodik prokazování energetických úspor dosahovaných regulací v budovách
Anglický název:	Research of methodologies for evaluation of energy savings in buildings achieved by regulators
Akademický rok:	2018/2019
Ústav:	Ústav energetiky
Vedoucí práce:	Ing. Jakub Maščuch, Ph.D.
Bibliografické údaje:	Počet stran bez příloh: 64 Počet obrázků: 36 Počet tabulek: 15 Počet příloh: 1
Klíčová slova:	spotřeba energie, regulace vytápění, denostupňová metoda, vnitřní teplota
Keywords:	energy consumption, heating control, heating degree day, indoor temperature
Anotace:	Práce se zabývá problematikou prokazování vlivu regulace na úsporu energie při vytápění budov. Nejdříve je provedena rešerše metodik používaných pro vyhodnocení efektivity regulátoru, poté následuje prozkoumání podmínek a předpokladů pro aplikaci metodiky založené na denostupňové metodě. Pro možnost porovnat rozdílné spotřeby energie topného systému dané použitím regulátorů je nezbytné průběžně měřit skutečnou hodnotu vnitřní teploty budovy, respektive místnosti, a to s definovanou přesností. Navzdory jejímu zásadnímu vlivu je tato veličina často ve výpočtech zanedbávána, a proto je v poslední části práce navržen koncept metodiky pro měření reálné hodnoty průměrné teploty místnosti.
Abstract:	This work examines the issue of proving contributions of a regulator to energy savings in building heating. A research on methodologies used for evaluation regulator's effectivity is undertaken and followed by an investigation on conditions of application of a methodology based on heating degree days. For comparison of different energy consumptions of heating system achieved by regulators is essential to continuously measure actual indoor temperature with defined accuracy as it is an important and often neglected variable. For that reason an approach to on-site measurement of mean indoor temperature is proposed at the end of the thesis.

Poděkování

Chtěla bych poděkovat vedoucímu práce Ing. Jakobovi Maščuchovi, Ph.D. nejen za jeho vedení a ochotu, ale i povzbuzování a důvěru v procesu tvorby této práce. Děkuji i své rodině a blízkým přátelům za podporu v tom, co dělám. Musím poděkovat také svému Bohu, protože bez něj bych nejspíš nebyla tam, kde jsem, a určitě ne tím, kým jsem.

Obsah

Úvod	8
1 Srovnání regulací otopného systému	9
1.1 Způsoby porovnání	9
1.1.1 Postupné porovnání	9
1.1.2 Souběžné porovnání	11
1.1.3 Křížové porovnání	12
1.1.4 Kombinace experimentu a simulace	12
1.2 Používané metody	13
1.2.1 Přístupy k tepelným ziskům	13
1.2.2 Výpočty úspory energie	15
1.2.3 Vliv vnitřní teploty	17
1.3 Shrnutí	18
2 Denostupňová metoda	20
2.1 Denostupně	20
2.2 Denostupňová metoda pro zhodnocení spotřeby tepla	20
2.2.1 Vlastnosti denostupňové metody	21
2.3 Zhodnocení	22
3 Výpočet tepelné ztráty	23
3.1 Tepelná ztráta	23
3.1.1 Ztráta tepla prostupem	23
3.1.2 Ztráta tepla infiltrací	23
3.1.3 Výpočtové teploty	24
3.2 Určení tepelné ztráty obálkovou metodou	24
3.2.1 Ztráta tepla prostupem	25
3.2.2 Ztráta tepla infiltrací	26
3.2.3 Určení vnitřní teploty	27
3.3 Určení tepelné ztráty podle ČSN EN 12 831-1 [42] [51] [52]	28
3.3.1 Stanovení vnitřní výpočtové teploty	28
3.3.2 Stanovení teplot okolních prostor	28
3.3.3 Určení součinitelů prostupu a ploch konstrukcí	28
3.3.4 Stanovení měrných ztrát prostupem jednotlivými konstrukcemi	28
3.3.5 Stanovení celkové ztráty prostupem	29
3.3.6 Stanovení tepelné ztráty větráním místnosti	29
3.3.7 Celková tepelná ztráta místnosti	30
3.4 Zhodnocení metod pro výpočet tepelné ztráty	30

4	Měření vnitřní průměrné teploty budovy	31
4.1	Rozložení teplot v místnosti	31
4.2	Vliv způsobu vytápění	32
4.2.1	Konvekční otopná tělesa	32
4.2.2	Velkoplošné vytápění	36
4.2.3	Tepl vzdušné vytápění	37
4.2.4	Shrnutí vlivu vytápění	38
4.3	Vliv ventilace	41
4.3.1	Bez koncepčního řešení (infiltrace spárou okna, otevřené okno)	41
4.4	Vliv konstrukce	43
4.4.1	Okenní plocha	44
4.5	Vliv tepelných zisků	45
4.5.1	Měření vlivu různých zdrojů tepelných zisků na průběh teplot	45
4.5.2	Tepelné zisky ze slunečního záření	46
4.6	Shrnutí vlivů na měřenou hodnotu teploty a závěry	46
4.7	Používané způsoby měření vnitřní teploty	47
4.7.1	Měření průměrné vnitřní teploty místnosti	49
4.7.2	Určení průměrné vnitřní teploty budovy	50
4.7.3	Způsob umístění teplotních čidel	50
4.8	Základní koncept navrhované metodiky pro měření vnitřní teploty budovy	50
4.8.1	Průzkumné měření pro n čidel	51
4.8.2	Charaktery místností	51
4.8.3	Měření vertikálního a horizontálního průběhu teplot	53
	Závěr	54
	Literatura	55
	Seznam obrázků	62
	Seznam tabulek	64
	Přílohy	65
A	Teplotní průběhy naměřené ve zkušební místnosti pro různá konvekční tělesa (Berounský, [60])	65

Úvod

Cílem této práce je zjistit a nastínit, jakým způsobem a za jakých podmínek lze prokázat úsporu nově instalované regulace otopného systému, protože spotřeba energie na vytápění vždy závisí na mnoha faktorech, které jsou proměnlivé, a navíc navzájem závislé, a proto nelze přímo porovnávat změřené spotřeby energie.

Návrhové výpočty se provádí pro konkrétní výpočtové okrajové podmínky, jejichž dlouhodobé dodržení je prakticky nereálné, takže je potřeba pracovat se skutečnými hodnotami veličin popisujících rozhodující podmínky, za kterých regulace funguje, nebo provádět porovnání takovým způsobem, aby byly uváženy a zahrnuty všechny podstatné vlivy na konečné hodnoty spotřeby.

V této práci je proto zkoumán postup tvorby univerzální metodiky pro prokazování úspory energie regulací vytápění, který spočívá ve srovnání regulací pomocí denostupňové metody umožňující zahrnout do porovnání spotřeby energie také měnící se vnější podmínky, od nichž se odvíjí potřeba tepla na vytápění. Pro smysluplnost použití tohoto postupu je také naprosto zásadní schopnost s definovanou přesností určit skutečnou průměrnou vnitřní teplotu řešené budovy, protože tato hodnota je klíčová pro výpočet tepelné ztráty budovy, která figuruje ve výpočtech denostupňové metody, i pro samotnou denostupňovou metodu.

Je žádoucí zjistit, jaké jsou poznatky z praxe srovnávání regulací, a dále vytvořit teoretický a částečně i praktický základ pro zmíněné dílčí fáze výsledného postupu (denostupňová metoda, výpočet tepelné ztráty) tak, aby bylo objasněno, co přesně lze s jejich pomocí určit, podmínky, pro které jsou funkční, předpoklady, které jejich použitím aplikujeme a v neposlední řadě omezení a nedostatky jednotlivých metod. Kromě toho je třeba navrhnout metodiku měření a stanovení průměrné vnitřní teploty budovy.

Informace jsou předně čerpány z recenzovaných tištěných i internetových článků, knih a dalších publikací autorů pohybujících se a publikujících v oboru vytápění a z příslušných norem. Dalšími zdroji informací jsou odborné články a studie zveřejněné v celosvětově rozšířených internetových databázích a knihovnách.

Zadání této práce pochází z reálně řešené problematiky v rámci spolupráce s ČVUT UCEEB. Výstupy budou sloužit jako základ pro navazující komplexní výzkum, který by měl vést k vytvoření konkrétní metodiky pro prokázání energetických úspor dosahovaných regulací, která bude mít definovanou přesnost a bude dostatečně jednoduchá a robustní pro uplatnění v široké praxi.

Kapitola 1

Srovnání regulací otopného systému

Při průzkumu způsobů porovnání regulací otopného systému je důraz kladen především na informace o délce měření podniknutých v rámci experimentů, o způsobu vyrovnání se s nestejnými podmínkami měření a o samotných způsobech vyhodnocení úspory. Není předmětem průzkumu, o jaké typy regulací se jedná, důležitá je pouze metodika stanovení úspory energie plynoucí z nově instalované regulace. Zahrnuta jsou pouze reálná experimentální měření, tedy ne samostatné simulace a teoretické odhady.

Jako „referenční“ regulace je označována regulace původní, ale stejně tak i situace, kdy nebyla instalovaná zatím žádná regulace. „Nová“ regulace je potom regulací, jejíž úspora se zjišťuje v porovnání s referenční regulací.

1.1 Způsoby porovnání

Autoři dále citovaných studií volili různé strategie provedení experimentů, které byly pro přehlednost rozděleny do čtyř kategorií. První a nejčastěji použité je postupné porovnání, kdy se měří spotřeba energie v systému při zapojení referenční a nové regulace zvlášť v po sobě jdoucích časových úsecích. Buď se změří spotřeba energie před a po instalaci nové regulace, nebo pokud je to technicky proveditelné, tak se mezi regulacemi „přepíná“, takže se vystřídají vícekrát.

Další dvě možnosti jsou proveditelné tam, kde jsou k dispozici dva podobné regulovatelné systémy. Regulace mohou běžet současně a obě tedy pracují za stejných podmínek. Eliminaci případných nepřesností způsobených nedokonalou shodností dvou systémů umožňuje křížové porovnání, kdy se po určité době regulace vymění mezi systémy.

Posledním uvažovaným způsobem porovnání efektivity dvou regulací je simulace. Zde jsou zahrnuty pouze simulace, které jsou provedeny spolu s reálným experimentem.

1.1.1 Postupné porovnání

Toto porovnání bylo využito u přibližně poloviny zkoumaných experimentů. Lze využít tam, kde není možné testovat dvě regulace současně, jeho výhodou je tedy univerzálnost. Související komplikací je nutnost kompenzovat nestejné venkovní i vnitřní podmínky. Dále jsou popsány různé způsoby provedení.

A) Nejčastějším postupem je vybrat z delší periody měření spotřeby referenční regulace určité dny, které nejlépe odpovídají několika dnům, kdy je instalovaná nová regulace. Pro porovnatelnost dnů je určující především venkovní teplota. Novou regulaci lze tedy porovnat již po krátké době jejího fungování. Na druhou stranu je nutné mít změřeny hodnoty spotřeby energie a údaje o počasí pro ideálně každý den dostatečně

dlouhého referenčního časového úseku, i když autorům [1] stačilo na 4 dny nové regulace 10 dní regulace referenční. Autoři [2] srovnávali spotřebu energie nové regulace za celou periodu o délce 25 dní se spotřebou dvou zprůměrovaných referenčních stejně dlouhých period, které zvolili podle toho, že se jejich průměrná venkovní teplota lišila od průměrné venkovní teploty porovnávané periody o méně než 1 °C. Ve třech případech byly porovnávány jednotlivé dny (4, 5 nebo 6 dní).

Tabulka 1.1: Postupné porovnání – podobné dny

Regulovaný systém	Data pro referenční regulaci	Data pro novou regulaci	Způsob volby dnů pro srovnání	Určení úspory	Zdroje
1 místnost	10 dní	4 dny	podobná venkovní teplota	přepočteno na model, za den	[1]
12 místností	zhruba rok	6 dní	podobná venkovní teplota, stejný den v týdnu	přímo, za den	[3]
komerční budova	zhruba rok	5 dní	stejný vývoj venkovní teploty	přímo, za den	[4]
kancelářská budova	? (vybrány 2 periody)	25 dní	max. rozdíl průměrné venkovní teploty	přímo, pro 2 periody	[2]
2 kanceláře	? (vybrány 2 týdny)	? (vybrány 2 týdny)	podobné počasí	přímo, za týden	[5]

B) Denostupňová metoda je dalším způsobem. Umožňuje do srovnání zahrnout vliv venkovní teploty, jejíž rozdíl oproti vnitřní teplotě určuje tepelnou ztrátu objektu, ale nezohledňuje tepelné zisky ze slunečního záření a vnitřní tepelné zisky. [6]

Tabulka 1.2: Postupné porovnání – denostupňová metoda

Regulovaný systém	Data pro referenční regulaci	Data pro novou regulaci	Způsob volby dnů pro srovnání	Určení úspory	Zdroje
bloky univerzitní budovy	85 dní	50 dní	podobná průměrná venkovní teplota	přepočteno denostupni	[7] [8] [9] [10]
116 obytných domů	3 měsíce	3 měsíce	stejně měsíce topné sezóny	přepočteno denostupni	[11]
konferenční místnost	1 měsíc	1 měsíc	–	korekce, poměrně	[6]

V prvním uvedeném experimentu jsou denostupně počítány jako suma rozdílů mezi požadovanou vnitřní teplotou a hodinovým průměrem venkovní teploty. Protože ani tato metodika zcela nepotlačí vliv proměnné venkovní teploty, byly pro porovnání vybrány úseky s přibližně podobnou průměrnou venkovní teplotou.

Druhý experiment provedený v jižním Švédsku byl značně rozsáhlý. Zahrnoval více než 100 obytných domů a jejich vnitřní teplota se měřila v intervalu 15 minut v průběhu dvou topných sezón vždy od ledna do března. Změřená energie pro vytápění byla normalizována denostupňovou metodou.

Ve třetím případě autoři provedli experimentální měření pro tři různé regulace v různých částech roku, a aby mohli porovnat naměřené hodnoty, přepočítali spotřeby energie dvou nových regulací pomocí denostupňové metody a dalších korekcí zohledňujících rozdílné vnitřní i venkovní podmínky vzhledem ke spotřebě referenční regulace. Tento postup je detailněji popsán v kapitole 1.2.1 (podkapitola *Započítání tepelných zisků*).

C) Srovnání spotřeby systému řízeného novou regulací se spotřebou, kterou by měl systém řízený referenční regulací, lze provést použitím některé matematické metody. V tab. 1.3 jsou shrnuta nejdříve dvě měření stejných autorů, kteří pro vyhodnocení úspory využívají „energetickou stopu“ budovy, a jedno měření, pro jehož vyhodnocení byl použit matematický po částech lineární model, jehož koeficienty byly stanoveny při referenčním měření. Metody jsou popsány v kapitole 1.2.2. Ve všech případech probíhala měření v rámci minimálně jedné topné sezóny. Zatímco v druhém uvedeném případě byla pro měření každé z regulací vyhrazena jedna celá sezóna, v prvním a třetím případě se v průběhu roku regulace střídaly v jednom systému buď po dvou, nebo po třech týdnech.

Tabulka 1.3: Postupné porovnání – matematické metody

Regulovaný systém	Data pro referenční regulaci	Data pro novou regulaci	Způsob volby dnů pro srovnání	Určení úspory	Zdroje
8 domů a 2 byty	22 – 113 dní	27 – 138 dní	podobná vnitřní teplota	energetická stopa	[12]
obytný dům	topná sezóna	topná sezóna	–	energetická stopa	[13]
4 budovy	116 – 156 dní	108 – 170 dní	–	matematický model	[14]

1.1.2 Souběžné porovnání

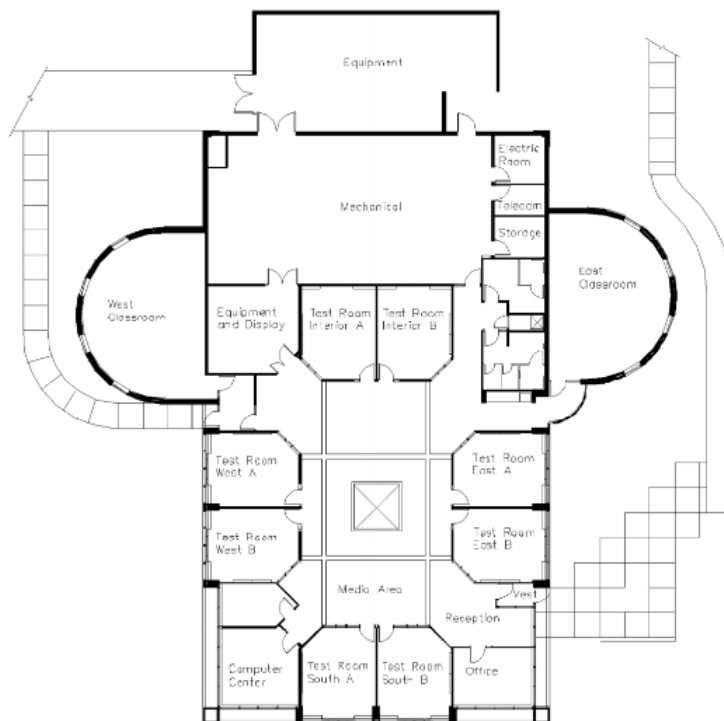
Pokud to podmínky dovolují, je výhodné testovat různé regulace současně při stejných povětrnostních podmínkách. Kromě spotřeby energie lze sledovat například i dobu vytápění a také to, jak se vyvíjí míra úspory pro dny s různou venkovní teplotou. [15]

Tabulka 1.4: Souběžné porovnání

Regulované systémy	Délka měření	Určení úspory	Zdroje
1 a 1 místnost	5x 1 den	přímo	[15]
4 a 4 místnosti	4 dny	přímo	[16]
3 a 2 konferenční místnosti	5 dní	přímo, /m ²	[17]
1 a 2 místnosti	1 den	přímo	[18]

U prvního z experimentů byly zavedeny dva totožné topné systémy pro každou ze dvou místností. Pro eliminaci vlivu rozdílného přímého slunečního záření na východní a západní zeď byly do oken v těchto stěnách instalovány sluneční clony.

Druhé měření bylo uskutečněno v budově speciálně navržené pro podobné experimenty, která disponuje dvěma „sety“ místností (obr. 1.1). Solární zisky byly opět umenšeny sluneční clonou a přítomnost obyvatel byla simulována topnými panely.



Obrázek 1.1: Nákres testovací budovy, Energy Resource Station (ERS) [16]

Porovnávané oblasti ve třetím případě měly různou plochu, a proto byla porovnávána spotřeba energie na metr čtvereční.

U posledního měření byly zkoumány především reakce regulací na přednastavený rozvrh přítomnosti obyvatel a schopnost zaručit tepelný komfort v daných periodách při co nejmenší spotřebě energie.

1.1.3 Křížové porovnání

Údaje o experimentech využívajících křížové porovnání jsou uvedeny v tab. 1.5. Díky aplikaci této metody byla u jedné ze dvou shodných místností mimo jiné objevena větší spotřeba energie způsobená tepelným mostem ve fasádě budovy [19]. Data byla měřena během dvou topných sezón a regulace se střídaly po 2, nebo 3 týdnech. Z porovnání byly vyřazeny dny využitá pro speciální testy a dny, kdy regulace nepracovaly správně.

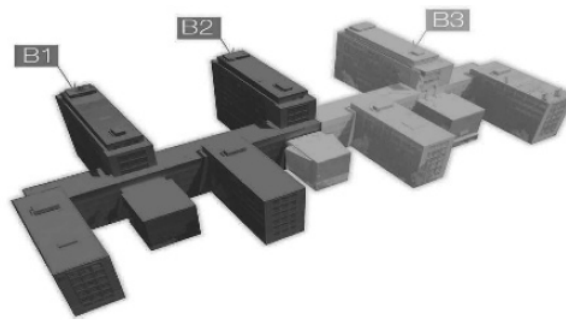
1.1.4 Kombinace experimentu a simulace

Častou praxí je vytvořit a kalibrovat model pro simulaci na základě naměřených dat v reálné budově při skutečných podmínkách. Model je poté použit pro celoroční simulace, nejčastěji s využitím denostupňů, ze kterých je určena spotřeba. [20] [21] [22]

Další využívanou variantou je provést reálný experiment pro určité časové období, ale se zaměřením pouze na zjištění funkčnosti a způsobů vyhodnocování nové regulace. Samotná spotřeba a její porovnání je vyhodnoceno opět na základě celoroční simulace. [6] [23]

Tabulka 1.5: Křížové porovnání

Regulovaný systém	Délky porovnávaných period	Určení úspory	Zdroje
2 bloky univerzitní budovy (obr. 1.2)	2x 1 týden	přímo	[7] [8] [9] [10]
2 kanceláře	80 a 65 dní	spotřeba každé z regulací zprůměrována	[19]



Obrázek 1.2: Budova ČVUT; křížové porovnání bylo provedeno na blocích B1 a B2 [9]

Výhodou celoroční simulace je možnost poměrně přesného porovnání, protože regulace se porovnávají ve stejném období za stejných tepelných zisků. [24]

Použití simulace pro porovnání dvou různých regulací má ale také svá úskalí. Přechodné vlastnosti modelu neodpovídají vlastnostem skutečné budovy, stejně jako učiněné předpoklady. Další překážkou je často různý charakter porovnávaných regulací, kdy například každá využívá jiná vstupní data a vyžaduje tak jiný typ modelu. [2] [25]

1.2 Používané metody

1.2.1 Přístupy k tepelným ziskům

Jelikož se úspora energie vyhodnocuje porovnáním spotřeby energie na vytápění referenční a nové regulace, je žádoucí zahrnout do porovnání vliv vnějších i vnitřních tepelných zisků, které obecně snižují potřebu energie na vytápění, a jejich velikost závisí na mnoha faktorech. Hlavním zdrojem tepelných zisků z vnějšího prostředí je sluneční záření a mezi zdroje tepelných zisků z vnitřního prostředí patří teplo produkované obyvateli a elektrickými spotřebiči. [26] [27]

Nejjednodušším způsobem, jak eliminovat účinek tepelných zisků na vyhodnocenou úsporu, je provést měření spotřeby porovnávaných regulací zároveň za stejných venkovních a vnitřních podmínek, takže se obě regulace budou vyrovnávat se shodnými tepelnými zisky, a není tedy třeba se jimi zaobírat. To je však prakticky možné jen ve výjimečných situacích, a proto je nutné určit vliv tepelných zisků na naměřené spotřeby energie.

Započítání tepelných zisků

Jednoduchá metoda použitá autory v [6] uplatňuje při srovnání spotřeby energie na vytápění při různých vnějších a vnitřních podmínkách dvě korekce, pomocí kterých se přepočítá spotřeba energie nové regulace vzhledem k referenční regulaci. Nejprve se určí velikost tepelných zisků Q_{zisky} pro každou z regulací tím, že se integruje suma jednotlivých tepelných výkonů \dot{Q} podle času t , ve kterém regulace fungovala (1.1). Snižují potřebu energie, a proto je jejich rozdíl pro dvě regulace připočten k původní spotřebě. Poté se použije samotná denostupňová metoda pro korekci klimatických podmínek. Autoři počítají sumu rozdílů mezi hodinovou průměrnou venkovní teplotou a nastavenou vnitřní teplotou (1.2). Poměr těchto „hodinostupňů“ h° obou regulací je pak korekčním faktorem tepelné ztráty Q_{ztraty} při operaci nové regulace.

$$Q_{zisky} = \int_0^t \left[\dot{Q}_{zareni}(t) + \dot{Q}_{VZT}(t) + \dot{Q}_{obyvatele}(t) \right] \cdot dt \quad (1.1)$$

$$h^\circ = \sum_{h=0}^h \left[T_{vnitr.nastav.,h} - \left(\frac{T_{venk.max,h} - T_{venk.min,h}}{2} \right) \right] \quad (1.2)$$

Upravená spotřeba tepelné energie $Q_{upraveno}$ nové regulace, kterou lze přímo porovnat se spotřebou referenční regulace, se poté vypočte pomocí vztahu (1.3), který je upraven z rovnic (1.4), kde $Q_{zmereno}$ je skutečná naměřená spotřeba energie novou regulací a Q_{ztraty}^{kor} je korigovaná tepelná ztráta. Veličiny s indexem *ref* se vztahují k období referenční regulace, ostatní veličiny k období po instalaci nové regulace.

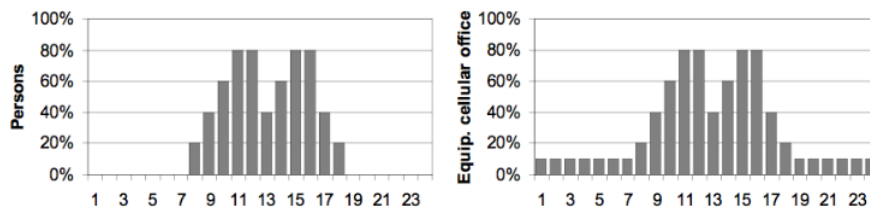
$$Q_{upraveno} = (Q_{zmereno} + Q_{zisky}) \cdot \frac{h_{ref}^\circ}{h^\circ} - Q_{zisky,ref} \quad (1.3)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{upraveno} = Q_{ztraty}^{kor} - Q_{zisky} + (Q_{zisky} - Q_{zisky,ref}) \\ Q_{ztraty}^{kor} = Q_{ztraty} \cdot \frac{h_{ref}^\circ}{h^\circ} \\ Q_{ztraty} = Q_{zmereno} + Q_{zisky} \end{array} \right. \quad (1.4)$$

Přesný postup při určování tepelných výkonů není v této studii bohužel uveden. Pro fungování v tomto případě použité prediktivní regulace byly mimo jiných nainstalovány i senzory snímající solární záření a přítomnost obyvatel, takže pravděpodobně byly tepelné výkony určeny s jejich pomocí.

Typické profily vnitřních tepelných zisků

V rámci projektu OptiControl byly vnitřní zisky určeny pomocí denních profilů hustoty obsazenosti prostor (0 – 100 %) za použití standardizovaných dat pro kancelářské prostory, které pochází od Švýcarské společnosti inženýrů a architektů (SIA) a jsou uvedeny v následující tabulce (tab. 1.6) a grafech (obr. 1.3). Pro víkendy se uvažuje, že nejsou přítomny žádné osoby a zařízení produkují teplo o velikosti odpovídající noční hodnotě.



Obrázek 1.3: Denní profily obsazenosti kancelářských prostor ve vztahu k počtu osob (vlevo) a k činnosti zařízení (vpravo) [27]

Tabulka 1.6: Definice velikosti vnitřních tepelných zisků kancelářských prostor [27]

Parametr	Jednotka	Velikost zisků	
		Malé zisky	Velké zisky
Podlahová plocha na osobu	m^2	14	7,8
Zisky produkované osobami	W/m^2	5	9
Zisky produkované zařízeními	W/m^2	7	15

Pro experiment provedený v kancelářské budově v belgickém městě Hasselt byly stanoveny typické profily tepelných výkonů obyvatel, počítačů a osvětlení na základě informací od majitele budovy a vlastního pozorování. [2]

Pro malé místnosti s malým maximálním počtem obyvatel doporučují autoři [1] použít, dle vlastních slov, „konzervativní přístup“: kdykoli je místnost obývána, předpokládá se, že je obývána maximálním návrhovým počtem osob (v případě tohoto experimentu 2 osoby). Pro měření tak postačuje detektor pohybu.

Snížení rozdílů mezi tepelnými zisky

Cílem je vždy porovnávat časové periody s co nejhodnějšími povětrnostními podmínkami, aby se minimalizoval vliv proměnné venkovní teploty. [7]

Pro autory [4] byly vhodné pro přímé porovnání úseky s venkovními podmínkami zachycenými v grafech na obr. 1.4. Uvádějí, že je žádoucí zvolit k porovnání nejen dny s podobnou průměrnou venkovní teplotou, ale i s podobným průběhem změny venkovní teploty. Příklad dnů s podobným vývojem teploty je v grafu na obr. 1.5.

Za účelem snížení nevyrovnanosti vnitřních tepelných zisků odvíjejících se od přítomnosti a chování obyvatel autoři [3] srovnávají vždy stejné dny v týdnu, což snižuje pravděpodobnost výskytu velkých rozdílů v činnostech obyvatel a v charakteru těchto činností.

Pro provedení pětidenního současného měření dvou regulací byl vybrán listopadový týden mimo jiné proto, že během této roční doby je převážně oblačno a tepelné zisky ze slunečního záření jsou tedy minimální. [17]

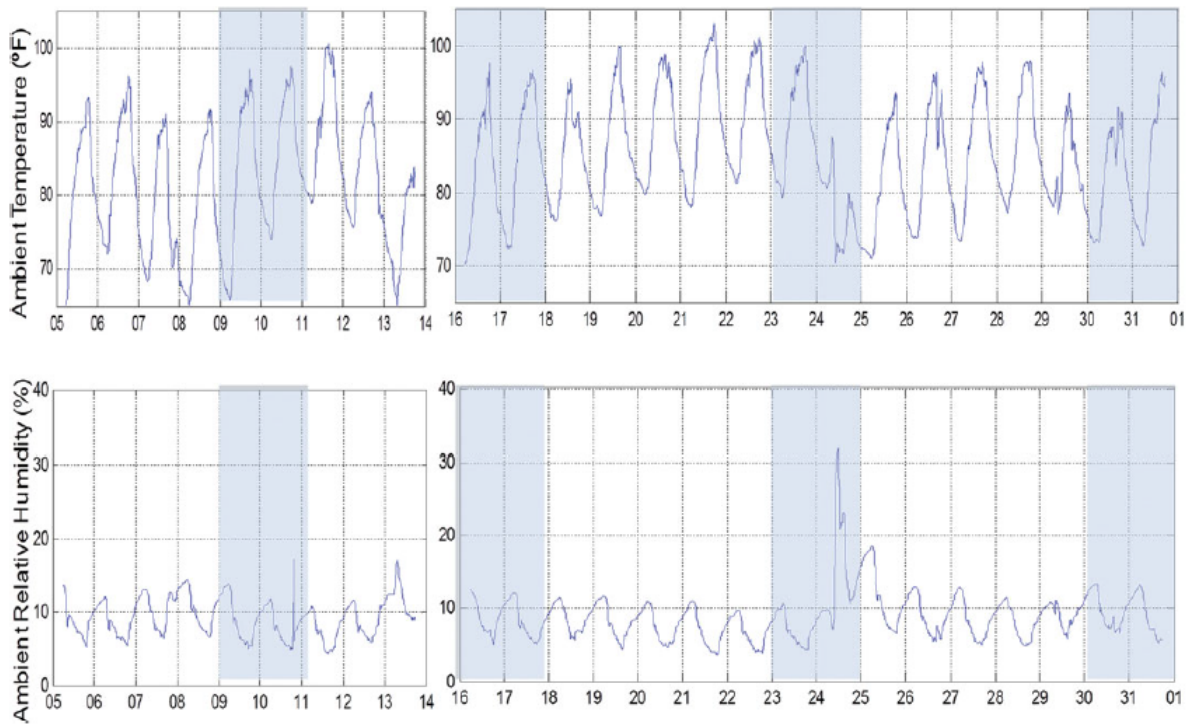
1.2.2 Výpočty úspory energie

Energetická stopa

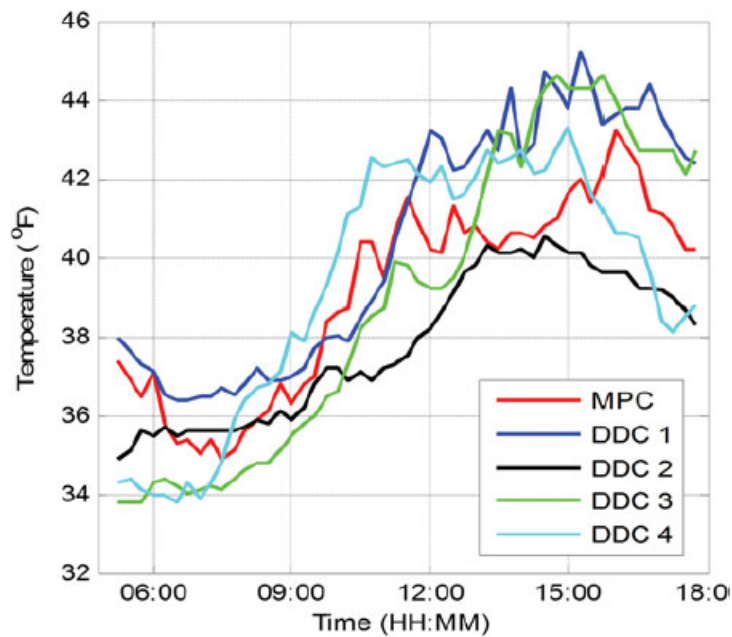
Energetická stopa je v [12] definovaná závislostí denní spotřeby energie na vytápění na průměrné venkovní teplotě (obr. 1.6). Pro každý den se do grafu zanesou příslušná spotřeba a venkovní teplota. Poté se provede lineární regrese těchto bodů, zvlášť pro každou z regulací.

Vztah mezi denní spotřebou energie Q a průměrnou venkovní teplotou t_{es} je popsán rovnicí (1.5). Koeficient α může být interpretován jako přídavná denní potřeba energie na každý stupeň chladu. β je energie potřebná k udržení teploty budovy při venkovní teplotě 0°C . Regulace může ovlivnit pouze směrnici α , protože obecně se β odvíjí od nastavené požadované vnitřní teploty.

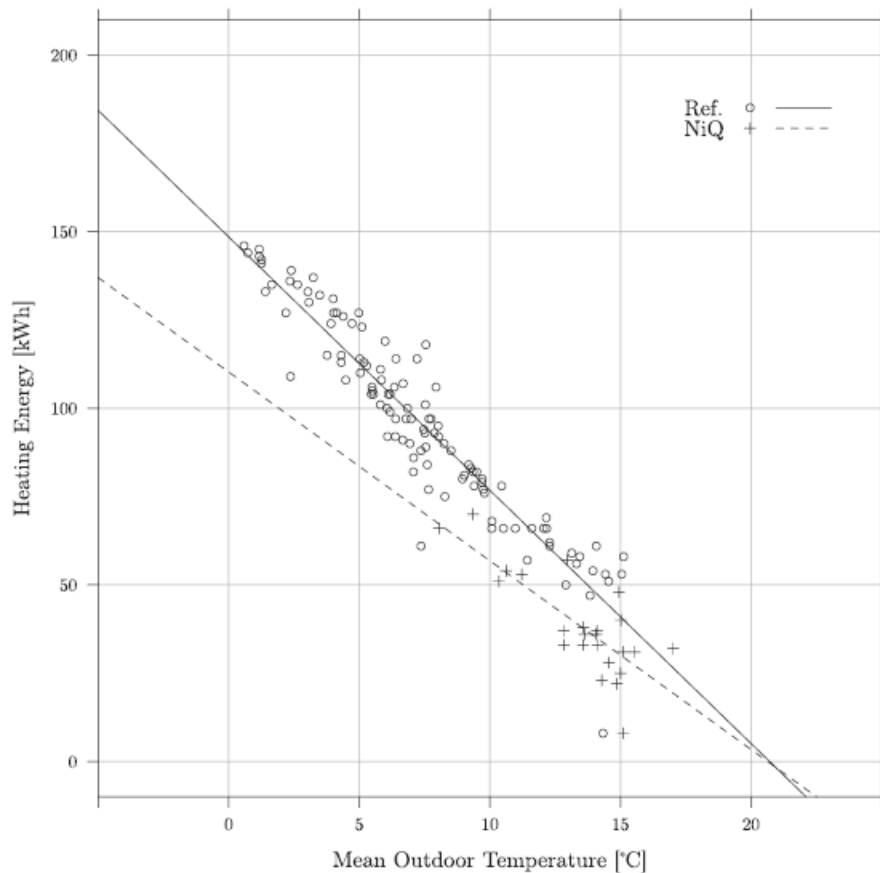
$$Q = \alpha \cdot t_{es} + \beta \quad (1.5)$$



Obrázek 1.4: Venkovní teploty (horní grafy) a relativní vlhkost (dolní grafy) při měření spotřeby referenční (levé grafy) a nové (pravé grafy) regulace; šedé oblasti označují víkendy, které nebyly zahrnuty do porovnání [4]



Obrázek 1.5: Dny se srovnatelnými průběhy venkovních teplot (červeně nová regulace) [4]



Obrázek 1.6: Energetická stopa budovy referenční (plná čára) a nové (přerušovaná čára) regulace [12]

Relativní úspora je poté spočítána ze vztahu (1.6), kde α_{ref} je směrnice pro referenční regulaci a $\Delta\alpha$ je rozdíl směrnic referenční a nové regulace.

$$\text{Relativní úspora} = \frac{\Delta\alpha}{\alpha_{ref}} \cdot 100[\%] \quad (1.6)$$

Matematický model

Energetická spotřeba budovy závisí nejen na venkovní teplotě, ale často i na dnech v týdnu a popisovaná metoda zohledňuje oba tyto faktory. Matematický model vytvořený na základě dat naměřených pro referenční regulaci je promítnut do časového úseku měření nové regulace, aby stanovil, jaká by byla spotřeba systému, pokud by nová regulace nebyla nainstalována. Rozdíl mezi vypočtenou a skutečnou naměřenou hodnotou spotřeby energie je úsporou. Tento model je po částech lineární regrese, která vztahuje energetickou zátěž ke konkrétnímu času týdne a venkovní teplotě. V [14] jsou uvedeny některé varianty modelu spolu se způsobem určení přesnosti matematického modelu.

1.2.3 Vliv vnitřní teploty

Ve většině studií je zdůrazněno, že pro smysluplnost porovnání spotřeb regulací HVAC systémů je nutné zajistit, aby požadovaná vnitřní teplota objektů zůstala nastavená na stejnou hodnotu pro referenční i novou regulaci (např. [4], [11]).

Obecně je pro vyhodnocení fungování regulace nutné spolu se spotřebou energie sledovat i skutečnou vnitřní teplotu vytápěného objektu. Pokud se během měření výrazně mění vnitřní teplota, musí se tato skutečnost uvážit. Může totiž dojít k situaci, kdy se bude podle spotřeby energie jevit jako úspornější referenční regulace, ovšem za cenu toho, že nedokáže udržet vnitřní teplotu ve stanovených mezích komfortu na rozdíl od nové regulace, která zachová požadovanou vnitřní teplotu (např. [5], [6], [12], [27]).

Nedodržení požadované vnitřní teploty může být na druhou stranu způsobeno i chováním obyvatel. Například při testování regulace [23] byla několikrát zaznamenána příliš nízká vnitřní teplota, což bylo způsobeno otevřením oken. Z tohoto důvodu může být vhodné instalovat snímače otevření/ zavření oken.

Zdroj [7] uvádí, že zvýšení vnitřní teploty o 1 °C znamená zvýšení nákladů na vytápění o přibližně 6 % a [11] tvrdí, že rozdíl vnitřní teploty 0,2 °C vede ke zvýšení tepelné potřeby o nejméně 1 %.

1.3 Shrnutí

Délky časových period, při kterých se sleduje regulace v reálné aplikaci, se pohybují od 1 dne až po celé topné sezóny v závislosti především na způsobu porovnávání regulací. Pokud je k dispozici větší množství dat, hlavně co se týče spotřeby a venkovní teploty, z období referenční regulace, stačí jen několik dní za operace nové regulace. K těmto dnům jsou poté vybrány z balíku referenčních dnů ty, které se jim svými venkovními podmínkami nejvíce přibližují. Při použití denostupňové metody se volí pro každou z regulací jeden až několik měsíců a opět se snahou o co nejpodobnější venkovní podmínky. Při použití matematické metody je žádoucí mít data naměřená za několik měsíců, aby výsledky mohly být dostatečně přesné. Nejkratší periodu (několik dní až několik týdnů) lze použít tam, kde lze měřit obě porovnávané regulace současně, protože čelí shodným podmínkám a jejich rozdíly se tedy nemusí eliminovat. Pokud se některý z autorů rozhodne pro určení úspory nové regulace použít simulaci porovnanou s reálnými hodnotami, vyhodnocuje spotřeby za celou topnou sezónu.

Provede-li se konkrétnější analýza chování zkoumané regulace během například jednoho dne nebo týdne, lze vysledovat, jakými kroky dosahuje vyšší efektivity v hospodaření s energiemi, což může pomoci při určování potenciální úspory. [2]

Nutností je měřit kromě spotřeby energie na vytápění také vnitřní teplotu, aby se dalo zjistit, pokud by regulace nedotápěla nebo přetápěla. Další klíčovou veličinou je venkovní teplota, která může být buď měřena, nebo lze údaje o jejím vývoji získat z meteorologické stanice. Velmi vhodné je také měřit sluneční záření, přítomnost obyvatel, jejich manipulaci s okny apod., protože tyto údaje významně pomohou při stanovování vlivu tepelných zisků. Délka intervalů měření závisí především na konkrétní veličině a na zvoleném postupu. U teplot se většinou určuje jejich průměrná denní nebo hodinová hodnota.

Co se týče tepelných zisků, je ideální je měřit a počítat s nimi při prokazování úspory. To je poměrně běžnou praxí pro zisky ze slunečního záření. Existují i způsoby, jak určit tepelné zisky spojené s chováním obyvatel. Pokud je přesné měření jejich výskytu příliš nákladné nebo složité, lze alespoň pro konkrétní budovu nebo zónu určit průměrné profily jejich výskytu s přiřazenými velikostmi tepelných zisků. Dále je velmi důležité brát v úvahu to, jak mohou obyvatelé zasahovat do systému: zda mají a využívají možnost měnit požadovanou vnitřní teplotu, mohou libovolně otevírat a zavírat okna atd. Pokud tepelné zisky nejsou měřeny, je nutné pro porovnání použít časové úseky se stejnými povětrnostními podmínkami a pokud možno i se shodným chováním uživatelů například porovnáváním stejných dnů týdne.

Vícero autorů ([7], [15], [27]) uvádí, že větší úspory bylo dosaženo v období s vyššími venkovními teplotami oproti období s nižšími teplotami a tento jev je vysvětlen tím, že při vyšší venkovní teplotě je větší prostor pro využití vnějších tepelných zisků, což je cílem a schopností většiny nově instalovaných regulací.

Oproti tomu při chladných dnech je potřeba teplo do soustavy dodávat soustavně a snižují se tak možnosti optimalizace vytápění. V konkrétním případě ([7]) byla průměrná úspora MPC regulace, vyhodnocovaná dvěma různými metodami (křížové a postupné porovnání), při venkovních teplotách lišících se o 5 °C vyšší o 10 % v teplejším období. Ke stejným závěrům došli také autoři ([6], [19]), kteří při celoroční simulaci získali větší úsporu v přechodovém období, oproti zimním měsícům. Při porovnávání spotřeby energie na vytápění identických bloků budovy bylo dosaženo podstatně vyšší úspory v zateplených blocích [7].

Kapitola 2

Denostupňová metoda

2.1 Denostupně

Počet denostupňů charakterizuje průměrné teplotní poměry v libovolném zvoleném časovém úseku (topná sezóna, měsíc, týden atd.). Počet denostupňů D° se vypočte podle základního vztahu (2.1), kde d [d] je počet dnů zvoleného časového úseku, t_{is} [$^\circ C$] je střední vnitřní teplota objektu a t_{es} [$^\circ C$] je střední venkovní teplota v tomto časovém úseku. [28]

$$D^\circ = d \cdot (t_{is} - t_{es}) \quad [d \cdot K] \quad (2.1)$$

2.2 Denostupňová metoda pro zhodnocení spotřeby tepla

Denostupňová metoda je jedním z postupů, které slouží pro návrh, vyhodnocování a porovnávání zdrojů a spotřebičů tepla pomocí spotřeby energie. [29]

Pro teoretický výpočet tepla Q_{teor} na pokrytí tepelných ztrát při daných okrajových podmínkách po dobu d dnů se použije vztah (2.2), kde \dot{Q}_z [W] je celková tepelná ztráta objektu vypočtená pro výpočtovou vnitřní teplotu t_i [$^\circ C$] a venkovní výpočtovou teplotu t_e [$^\circ C$], t_{is} [$^\circ C$] je vnitřní průměrná teplota objektu, t_{es} [$^\circ C$] je venkovní průměrná teplota a ϵ [-] je opravný součinitel, jehož možné způsoby navržení budou ukázány dále. [30] [31] [32]

$$Q_{teor} = 24 \cdot 3600 \cdot \dot{Q}_z \cdot \frac{d \cdot (t_{is} - t_{es})}{t_i - t_e} \cdot \epsilon \quad [J] \quad (2.2)$$

Denostupňová metoda umožňuje základní porovnání spotřeby tepla pro vytápění s ohledem na měnící se povětrnostní podmínky. Základem je znalost průběhů venkovních teplot z meteorologických dat a při výpočtu denostupňů se dosazují reálně naměřené hodnoty průměrných venkovních a ideálně i vnitřních teplot. [29] [33]

Poměr spotřebované energie a počtu denostupňů $\frac{Q}{D^\circ}$ ukazuje, jak náročný na vytápění je daný objekt na jeden denostupeň, což je ukazatel, který zahrnuje nejen vliv vnitřních a venkovních teplot, ale také tepelně-technický stav budovy a tepelné zisky a ztráty. [34]

Pro porovnání spotřeby dvou časových úseků lze použít poměr denostupňů daných úseků. Podle vztahu (2.3) se získá přepočtená spotřeba časového úseku B porovnatelná vůči úseku A. [35]

$$\text{spotřeba}'_B = \text{spotřeba}_B \cdot \frac{D_A^\circ}{D_B^\circ} \quad (2.3)$$

Vážený průměr venkovní teploty

Pro zaručení co nejvyšší přesnosti výpočtu je možné použít vážený průměr venkovní teploty. Například při určování roční spotřeby tepla je vhodné spočítat počet denostupňů pro každý měsíc zvlášť pro příslušnou měsíční venkovní průměrnou teplotou a odpovídající počet dní. Předpokládá se, že vnitřní požadovaná teplota t_{is} byla pro všechny měsíce stejná. Poté se vážený průměr venkovní teploty t_{es} , který se následně bude dosazovat do vzorce pro výpočet tepla denostupňovou metodou, získá vyjádřením ze vztahu pro výpočet denostupňů (2.4), kde d je součet vytápěcích dnů všech měsíců a D° je součet denostupňů všech měsíců. Výsledek bude přesnější oproti použití aritmetického průměru průměrných měsíčních teplot. [36]

$$t_{es} = \frac{(d \cdot t_{is}) - D^\circ}{d} \quad [J] \quad (2.4)$$

2.2.1 Vlastnosti denostupňové metody

Denostupňová metoda obecně není schopná postihnout změny v užívání vytápěných místností a ani jejich tepelně-technické vlastnosti, které způsobují změnu teplotních poměrů ovlivňujících počet denostupňů. [33]

Tepelné zisky

Denostupňová metoda předpokládá, že spotřeba energie závisí pouze na rozdílu vnitřní a venkovní teploty. Neuvažuje vliv tepelných zisků ze slunečního záření nebo z chování obyvatel budovy, což způsobuje, že přináší lehce nadhodnocené teoretické potřeby tepla. Pokud je velikost tepelných zisků \dot{Q}_{zisky} [W] známá nebo odhadnuta, lze zisky zahrnout jejich odečtením od uvažované tepelné ztráty a upravený vzorec pro denostupňovou metodu bude mít tvar (2.5). [37] [38] [39]

$$Q_{teor} = 24 \cdot 3600 \cdot (\dot{Q}_z - \dot{Q}_{zisky}) \cdot \frac{d \cdot (t_{is} - t_{es})}{t_i - t_e} \cdot \epsilon \quad [J] \quad (2.5)$$

Vliv slunečního záření

Sluneční záření způsobuje kromě tepelných zisků při průchodu okny také zvýšení teploty vnější stěny oproti okolnímu venkovnímu vzduchu, takže skutečné tepelné podmínky pro přestup tepla stěnou se liší od těch použitých ve výpočtech. [37]

Vliv krátkodobých výkyvů

Čím delší je uvažovaný úsek, tím spolehlivější výsledky denostupňová metoda poskytuje. Snižuje se totiž míra vlivu, kterou by mohl mít některý ne přímo uvažovaný faktor při svém krátkodobém vychýlení z dlouhodobého průměru. [38]

Opravné součinitele

Pro výpočet opravného součinitele ϵ vyjadřujícího vliv nesoučasnosti přírážek pro výpočet tepelných ztrát objektu jsou uvedeny dva způsoby. Může být stanoven jako podíl základní tepelné ztráty objektu prostupem \dot{Q}_p [W] a celkové tepelné ztráty \dot{Q}_z [W], jak ukazuje vzorec (2.6). [32]

$$\epsilon = \frac{\dot{Q}_p}{\dot{Q}_z} \quad [1] \quad (2.6)$$

Alternativou je zahrnout také tepelnou ztrátu větráním \dot{Q}_v [W] podle vzorce (2.7). [31]

$$\epsilon = \frac{\dot{Q}_p + \dot{Q}_v}{\dot{Q}_z} \quad [1] \quad (2.7)$$

Pokud je vytápění přerušované, spotřeba tepla počítaná denostupňovou metodou se vynásobí navíc ještě součinitelem e , který má dvě složky: opravný součinitel na snížení vnitřní teploty e_t a opravný součinitel na zkrácení doby provozu otopné soustavy e_d . Hodnota součinitele se vypočte ze vztahu (2.8), kde $t_{i,snizena}$ [$^{\circ}C$] je vnitřní teplota při přerušení vytápění a d_{vytap} [dny] je celková doba otopného období, kdy vytápění není přerušeno. [32]

$$e = e_t \cdot e_d = \frac{t_{i,snizena} - t_{es}}{t_{is} - t_{es}} \cdot \frac{d_{vytap}}{d} \quad [1] \quad (2.8)$$

Vliv vnitřní teploty

Autoři [40] použili denostupně pro porovnání spotřeby energie otopné soustavy řízené dvěma různými regulacemi ve dvou časových úsecích a do vzorce pro výpočet denostupňů dosadili místo střední vnitřní teploty požadovanou vnitřní teplotu. Při jednom z měření zaznamenali rozdíl průměrné vnitřní teploty jeden stupeň a tuto skutečnost museli zpětně zohlednit při vyhodnocení naměřených hodnot. Pokud není při určování spotřeby tepla za určité období dosazena skutečná průměrná vnitřní teplota, je nutné na to při porovnání a vytváření závěrů vzít ohled, protože různá vnitřní teplota znamená různé podmínky měření spotřeby.

Pro objekt s více místnostmi s různou vnitřní teplotou lze použít vážený průměr vnitřní teploty podle objemu místností. Průměrná vnitřní teplota t_{is} se vypočítá podle vztahu (2.9), kde V_j [m^3] je objem j -té místnosti, t_{ij} [$^{\circ}C$] je vnitřní teplota j -té místnosti a n je počet místností objektu. [32]

$$t_{is} = \frac{\sum_{j=1}^n (V_j \cdot t_{ij})}{\sum_{j=1}^n V_j} \quad [^{\circ}C] \quad (2.9)$$

2.3 Zhodnocení

Denostupňová metoda poskytuje jednoduchý způsob určení tepelné spotřeby otopných systémů v případech, kdy se během sledovaného období příliš nemění vnitřní teplota a velikost tepelných zisků nesouvisejících s topným systémem, využití budovy zůstává přibližně stejné a otopný systém funguje v průběhu celého období, nebo lze takovéto podmínky alespoň předpokládat. [38]

Jednoduchost metody je vyvážená tím, že s její pomocí nikdy nelze s jistotou stanovit přesnou hodnotu spotřebovaného tepla, která se počítá pro okrajové podmínky buď volené anebo měřené a stanovované a s určitou nepřesností. Denostupňová metoda také nezahrnuje některé faktory ovlivňující spotřebu tepelné energie, především tepelné zisky.

Přesto se jedná o metodu velmi vhodnou pro teoretický odhad potřeby tepla, kdy přináší spíš nadhodnocené výsledky, nebo pro zpětné porovnání tepelné náročnosti různých období nebo energetické účinnosti různých otopných systémů při porovnatelných podmínkách. V každém případě je nutné při aplikaci denostupňové metody vzít v úvahu některé její vlastnosti, které byly popsány výše, a na jejich základě zvážit použití této metody v konkrétní situaci.

Kapitola 3

Výpočet tepelné ztráty

3.1 Tepelná ztráta

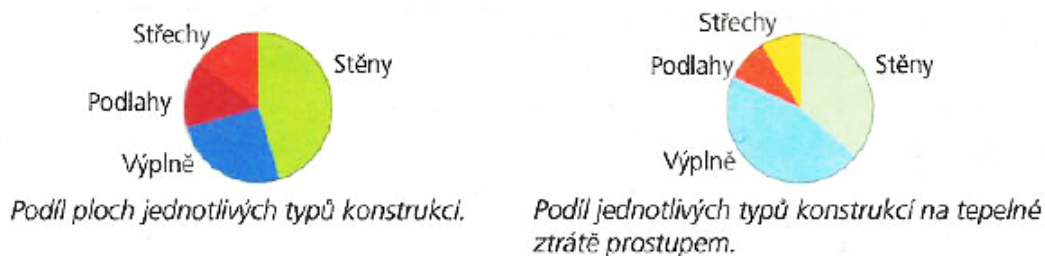
Tepelná ztráta budovy je charakteristikou budovy, která určuje potřebný výkon zdroje tepla tak, aby byl dostatečný i v období nejnižších venkovních teplot. Stanovuje se pro konkrétní klimatické venkovní a požadované vnitřní podmínky (teploty) vyčíslením tepelných toků sdílených z vytápěných místností do chladnějšího vnějšího prostředí. Potřeba tepla pro určité období se zjišťuje z tepelné bilance, kde naproti tepelné ztrátě stojí solární a vnitřní tepelné zisky.

Tepelná ztráta budovy se skládá ze dvou složek, kterými jsou tepelná ztráta prostupem konstrukcemi a tepelná ztráta větráním (infiltrací). [41] [42]

3.1.1 Ztráta tepla prostupem

U většiny starších budov je tato složka tepelné ztráty výraznější. Základní tepelná ztráta prostupem \dot{Q}_{ZP} jednoho typu konstrukce se součinitelem prostupu tepla $k [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$ a plochou konstrukce $S [m^2]$ se pro vnitřní $t_i [^{\circ}C]$ a venkovní $t_e [^{\circ}C]$ výpočtové teploty vypočte podle vztahu (3.1). [41] [42]

$$\dot{Q}_{ZP} = k \cdot S \cdot (t_i - t_e) \quad [W] \quad (3.1)$$



Obrázek 3.1: Podíl ploch jednotlivých typů konstrukcí na součtu všech ploch budovy (vlevo) a jejich podíl na tepelné ztrátě prostupem (vpravo) [41]

3.1.2 Ztráta tepla infiltrací

Spolu se zvyšováním energetické úspornosti budov například zateplováním klesá podíl tepelných ztrát prostupem konstrukcemi a do popředí se postupně dostávají i možnosti snížení tepelných ztrát infiltrací. Minimální

množství přiváděného vzduchu, který je nutné ohřívat, je limitováno potřebou dodávat dostatek čerstvého vzduchu pro zajištění komfortu vnitřního prostředí a pro snížení koncentrace škodlivin a vlhkosti. [41]

3.1.3 Výpočtové teploty

Vnitřní výpočtová teplota t_i se měřením stanoví nejlépe pomocí kulového teploměru, který zahrnuje vliv současného působení teploty vzduchu a teploty stěn na tepelnou pohodu. Venkovní výpočtová teplota t_e se stanovuje jako průměrná teplota pěti za sebou následujících nejchladnějších dnů otopného období na základě dlouhodobých měření pro konkrétní lokalitu. [43] [44]

Další možností je použít normované hodnoty výpočtových teplot. Vnitřní výpočtové teploty pro místnosti obytných budov, administrativních budov, budov pro zdravotnictví, školních budov, budov pro služby, sportovních staveb, průmyslových provozů a dalších jsou uvedeny v ČSN EN 12 831 (platnost do 1. 3. 2018) a jejich výběr je dostupný v [45]. Venkovní výpočtové teploty pro různé lokality jsou také uvedeny v ČSN EN 12 831 a jejich hodnoty pro města nebo okresy ČR podle ČSN 06 0210 (platnost do 1. 9. 2008) lze získat z [46].

3.2 Určení tepelné ztráty obálkovou metodou

Způsob určení tepelné ztráty, kdy se počítá ztráta celkově pro celou budovu, takže se pracuje pouze s konstrukcemi, které oddělují vnitřní vytápěný objem od venkovního prostředí (obálka budovy), se zpravidla označuje jako obálková metoda. Teplené ztráty i zisky mezi jednotlivými vnitřními prostory jsou zanedbány. Tento způsob patří mezi předběžné nebo zkrácené postupy výpočtu tepelných ztrát budov a není dostatečně přesný pro správnou projekci otopné soustavy ve smyslu lokálních zdrojů tepla pro jednotlivé místnosti. [41] [47]

Způsob určení tepelné ztráty obálkovou metodou je přizpůsoben výpočtu potřeby tepla pomocí denostupňové metody, kdy je nutné pro tyto navazující metody uvažovat stejné vnitřní i venkovní výpočtové teploty. Postup uvažuje rovnoměrné rozložení vnitřní teploty v budově v průběhu vytápění. [48] [49]

Následující výpočty tepelné ztráty obálkovou metodou vychází z normy ČSN 73 0540-1 až 4 (dále souhrnně označováno jen jako ČSN 73 0540). V tab. 3.1 je uvedeno dále používané značení některých veličin podle ČSN 73 0540-4 (účinnost od 1. 7. 2005) a ČSN EN 12 831-1 (účinnost od 1. 10. 2018). [50] [51]

Tabulka 3.1: Značení použitých veličin podle [42]

Veličina	Značení v normě	Jednotka
Celková tepelná ztráta	Φ_i	W
Tepelná ztráta prostupem	$\Phi_{T,i}$	W
Tepelná ztráta větráním	$\Phi_{V,i}$	W
Součinitel prostupu tepla	U	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$
Plocha konstrukce	A	m^2
Výpočtová vnitřní teplota	Θ_i	$^{\circ}C$
Výpočtová teplota na vnější straně konstrukce	$\Theta_{e,i}$	$^{\circ}C$
Měrná tepelná ztráta konstrukce prostupem	H_T	$W \cdot K^{-1}$

Celková tepelná ztráta Φ_i je dána součtem ztráty prostupem $\Phi_{T,i}$ [W] a ztráty větráním $\Phi_{V,i}$ [W]. [42]

$$\Phi_i = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} \quad [W] \quad (3.2)$$

V následujících postupech je použita venkovní výpočtová teplota (nejnižší dosahovaná teplota v dané lokalitě) a jedná se tedy o výpočet maximální tepelné ztráty pro návrh otopné soustavy. Pokud by se dosazovala namísto výpočtové průměrná venkovní teplota, lze získat odhad potřeby tepla na vytápění, a pokud naměřená venkovní teplota, obdržíme tepelnou ztrátu odpovídající konkrétní skutečnosti.

3.2.1 Ztráta tepla prostupem

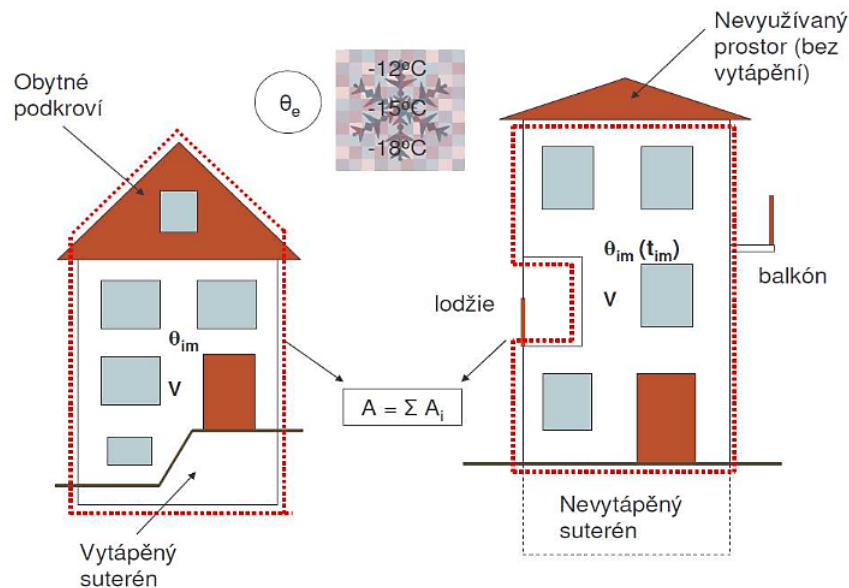
Tepelná ztráta prostupem se stanovuje pouze pro konstrukce vymežující vnější obálku budovy nebo vytápěné zóny, kterými jsou v první řadě obvodové stěny, střecha, výplně otvorů a podlaha na zemině.

Základní tepelná ztráta prostupem konstrukce jednoho typu se součinitelem prostupu tepla U se vypočítá podle vztahu (3.3). [42]

$$\Phi_{T,i} = U \cdot A \cdot (\Theta_i - \Theta_{e,i}) = H_T \cdot (\Theta_i - \Theta_{e,i}) \quad [W] \quad (3.3)$$

Vymezení konstrukcí tvořících obálku budovy

Obálku budovy tvoří konstrukce sousedící s exteriérem, zeminou a nevytápěnými zónami, jak je znázorněno červenou přerušovanou čarou na obr. 3.2.



Obrázek 3.2: Vymezení obálky budovy – vnější obrys vytápěné zóny [43]

Pro každý typ použité konstrukce se určí její celková plocha v obálce. Tím se do výpočtu zahrnou rozdílné tepelně-technické vlastnosti různých druhů konstrukcí. [42]

Tepelné mosty

V obálce reálné budovy se nachází tepelné mosty, což jsou místa s deformovaným teplotním polem, kde je ztráta prostupem vyšší než u zbytku konstrukce. Jejich vliv lze jednoduše zahrnout do výpočtu formou přírážky ΔU

k hodnotě součinitele prostupu tepla U s ohledem na tepelně-technické vlastnosti konstrukcí podle tab. 3.2. [42]

Tabulka 3.2: Přirážka na tepelné mosty [42]

Konstrukce	$\Delta [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
Zcela bez tepelných mostů	0,00
Téměř bez tepelných mostů	0,02
S mírnými tepelnými mosty	0,05
S běžnými tepelnými mosty	0,10
S výraznými tepelnými mosty	0,20

Činitel teplotní redukce

Aby se ve výpočtu zohlednila skutečnost, že na druhé straně konstrukce mohou být jiné než exteriérové podmínky, hodnota měrné tepelné ztráty prostupem H_T se přenásobí činitelem teplotní redukce b [1]. Pokud dochází k přestupu tepla přímo do exteriéru, $b = 1$. V případě, že dochází k tepelné ztrátě přes nevytápěný prostor nebo pokud obálka přiléhá k zemině, musí se hodnota teplotního redukčního činitele stanovit podle postupu uvedeného v ČSN 73 0540 (viz kapitola 3.3.4). [42] [50]

Výpočet tepelné ztráty prostupem

Měrná tepelná ztráta prostupem tepla $H_{T,j}$ se pro j -tou konstrukci použitou v obálce budovy na ploše A_j se stanoví zahrnutím přirážky ΔU_j k součiniteli prostupu tepla a činitele teplotní redukce b_j podle vztahu (3.4).

$$H_{T,j} = A_j \cdot (U_j + \Delta U_j) \cdot b_j \quad [W \cdot K^{-1}] \quad (3.4)$$

Celková měrná tepelná ztráta prostupem obálkou budovy H_T se poté získá součtem měrných ztrát pro jednotlivé konstrukce použité v obálce (obr. 3.3).

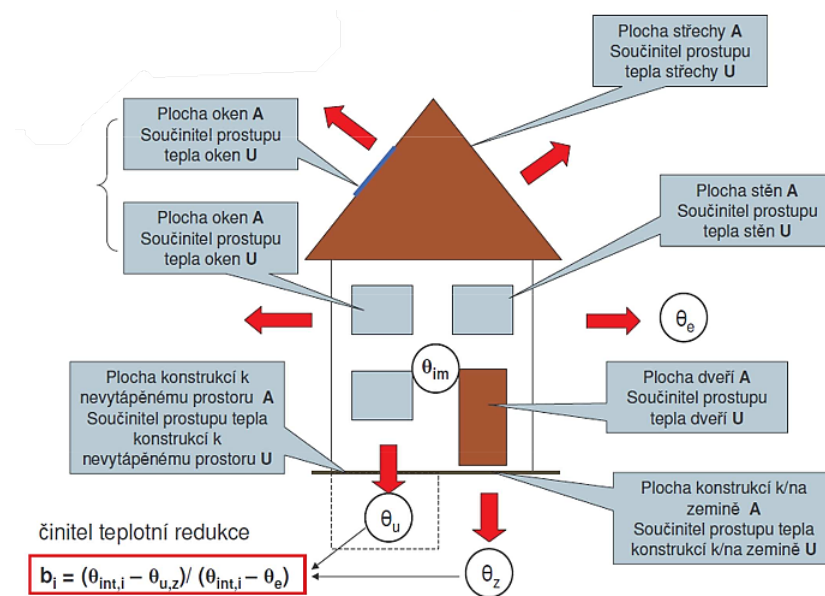
$$H_T = \sum H_{T,j} \quad [W \cdot K^{-1}] \quad (3.5)$$

Nakonec se určí tepelná ztráta prostupem obálkou budovy $\Phi_{T,i}$ podle vzorce (3.6), kde $\Theta_{m,i} [^{\circ}C]$ je průměrná návrhová vnitřní teplota ve vytápěném prostoru a $\Theta_e [^{\circ}C]$ je výpočtová venkovní teplota dle teplotní oblasti. [42]

$$\Phi_{T,i} = H_T \cdot (\Theta_{m,i} - \Theta_e) \quad [W] \quad (3.6)$$

3.2.2 Ztráta tepla infiltrací

Stanovení tepelné ztráty infiltrací se odvíjí od koncepce větrání budovy. Z tohoto hlediska lze domy rozdělit na ty bez větracího systému a s větracím systémem. U budov spadajících do první kategorie je výměna vzduchu zajišťována spárovou průvzdušností oken a venkovních dveří, netěsnostmi obvodového pláště a větráním uživateli otevíráním oken. Vnitřní vzduch je tedy vyměňován za venkovní vzduch o venkovní teplotě a jeho ohřev na vnitřní teplotu zajišťuje otopný systém. Oproti tomu u budov s nuceným přívodem i odvodem vzduchu může být přiváděný vzduch ohříván systémem rekuperace, dohřevem na vnitřní teplotu místnosti, nebo na teplotu vyšší (teplovzdušné vytápění). Metodika pro stanovení tepelné ztráty větráním musí být uzpůsobena řešení větracího systému. [42]



Obrázek 3.3: Charakteristika energeticky významných údajů ochlazovaných konstrukcí pro tepelnou ztrátu postupem [43]

3.2.3 Určení vnitřní teploty

Do výpočtu tepelné ztráty obálkovou metodou vstupuje pouze jedna hodnota vnitřní teploty, i když obecně může být vnitřní teplota různých místností odlišná. Je proto nutné stanovit průměrnou vnitřní teplotu nebo převažující vnitřní teplotu. Norma ČSN EN 12 831-1 udává výpočtové vnitřní teploty pro některé typy budov a jejich část je uvedena v tab. 3.3. [43]

Tabulka 3.3: Vnitřní výpočtové teploty pro některé typy budov podle ČSN EN 12 831-1 [51]

Typ budovy	θ_i [$^{\circ}C$]
Obytná	20
Restaurace/ kavárna	20
Konferenční místnosti	20
Třídy	20
Kostel	15
Muzeum/ galerie	16

Další možností uplatnitelnou v některých případech je uvažovat, že v rámci budovy existuje více obálek tvořených souvisejícími částmi budovy se stejnou vnitřní teplotou. Například v bytovém domě bude jedna obálka tvořena obytnou částí a jiná schodištěm. [48]

3.3 Určení teplené ztráty podle ČSN EN 12 831-1 [42] [51] [52]

Přesný výpočet teplené ztráty podle normy ČSN EN 12 831-1 stanoví teplenou ztrátu každé jednotlivé místnosti v budově a celková ztráta je poté jejich součtem. Exteriér je charakterizován venkovní výpočtovou teplotou a interiér vnitřní výpočtovou teplotou jednotlivých místností podle druhu objektu a charakteru místností. [42]

3.3.1 Stanovení vnitřní výpočtové teploty

Vnitřní výpočtová teplota Θ_i se zvolí podle účelu a využití místnosti. Norma ČSN EN 12 831 obsahuje výpočtové vnitřní teploty pro odlišné místnosti různých typů budov. V tab. 3.4 jsou uvedeny některé výpočtové teploty místností vytápěného trvale užívaného obytného domu.

Tabulka 3.4: Výpočtové teploty místností obytného domu podle ČSN EN 12 831 [45]

Typ místnosti	Θ_i [$^{\circ}C$]
Obývací místnosti	20
Kuchyně	20
Koupelny	24
Vytápěné vedlejší místnosti	15
Vytápěná schodiště	10

3.3.2 Stanovení teplot okolních prostor

Je třeba určit teploty okolních vytápěných místností a teplotu venkovního prostředí, pokud s ním místnost sousedí. Tepelná ztráta se stanoví pro venkovní výpočtovou teplotu, jejíž hodnota se zvolí podle lokality, ve které se nachází řešený objekt.

3.3.3 Určení součinitelů prostupu a ploch konstrukcí

Pro jednotlivé konstrukce obklopující místnost se vypočítají hodnoty součinitelů prostupu tepla a velikost ploch těchto konstrukcí. Plochy oken a dveří se určí ze skladebných rozměrů včetně rámu a zárubní.

3.3.4 Stanovení měrných ztrát prostupem jednotlivými konstrukcemi

Měrná tepelná ztráta z vytápěného prostoru do venkovního prostředí $H_{T,ie}$ pro prvky konstrukce tvořící hranici mezi vytápěným interiérem a exteriérem, jako jsou stěny, okna, dveře a střecha, a pro tepelné mosty se vypočítá ze vztahu (3.7), kde A_k [m^2] je plocha k-té konstrukce, U_k [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$] je součinitel prostupu tepla k-té konstrukce, ψ_i [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$] je lineární číselník prostupu tepla i-tého lineárního tepelného mostu, l_i [m] je délka lineárního tepelného mostu a χ_j [$W \cdot K^{-1}$] je bodový číselník j-tého bodového tepelného mostu.

$$H_{T,ie} = \sum_k (A_k \cdot U_k) + \sum_i (\psi_i \cdot l_i) + \sum_j \chi_j \quad [W \cdot K^{-1}] \quad (3.7)$$

Tepelné mosty lze zohlednit také zjednodušeným způsobem korekcí součinitele prostupu tepla U_{kc} , jak je popsáno v kapitole 3.2.1 a znázorněno vzorcí (3.8) a (3.9).

$$U_{kc} = U_k + \Delta U \quad [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}] \quad (3.8)$$

$$H_{T,ie} = \sum_k (A_k \cdot U_{kc}) \quad [W \cdot K^{-1}] \quad (3.9)$$

Měrná tepelná ztráta skrze konstrukce mezi sousedními vytápěnými prostory s odlišnou teplotou $H_{T,ij}$, kterými jsou vnitřní příčky, vnitřní stěny, vnitřní dveře, podlahy a stropy, se stanoví podle vztahu (3.10), kde b_{ij} [1] je redukční teplotní činitel zahrnující rozdíl mezi teplotou přilehlého prostoru a venkovní výpočtovou teplotou stanovený podle vztahu (3.11), kde $\Theta_{int,i}$ [$^{\circ}C$] je vnitřní výpočtová teplota v řešené místnosti, Θ_j [$^{\circ}C$] je vnitřní výpočtová teplota v sousední vytápěné místnosti a Θ_e [$^{\circ}C$] je venkovní výpočtová teplota.

$$H_{T,ij} = \sum_k (b_{ij} \cdot A_k \cdot U_k) \quad [W \cdot K^{-1}] \quad (3.10)$$

$$b_{ij} = \frac{\Theta_{int,i} - \Theta_j}{\Theta_{int,i} - \Theta_e} \quad [1] \quad (3.11)$$

Měrná tepelná ztráta ven přes nevytápěný prostor se vypočítá podle vztahu (3.12), nebo zjednodušeně podle vztahu (3.13) s korekcí součinitele prostupu tepla pro přítomnost tepelných mostů (3.8), kde b_u [1] je redukční teplotní činitel. Je-li známá teplota přilehlého nevytápěného prostoru Θ_u [$^{\circ}C$], součinitel redukce teploty se stanoví podle vztahu (3.14), a pokud není, stanoví se pomocí měrných tepelných ztrát zúčastněnými konstrukcemi.

$$H_{T,iue} = \sum_k (A_k \cdot U_k \cdot b_u) + \sum_i (\psi_i \cdot l_i \cdot b_u) + \sum_j (\chi_j \cdot b_u) \quad [W \cdot K^{-1}] \quad (3.12)$$

$$H_{T,iue} = \sum_k (A_k \cdot U_{kc} \cdot b_u) \quad [W \cdot K^{-1}] \quad (3.13)$$

$$b_u = \frac{\Theta_{int,i} - \Theta_u}{\Theta_{int,i} - \Theta_e} \quad [1] \quad (3.14)$$

Měrná tepelná ztráta do zeminy $H_{T,ig}$ podlahou nebo přiléhající stěnou se určí zjednodušeným způsobem podle ČSN EN 12 831-1. Postup přesného výpočtu uvádí EN ISO 13 370 (účinnost od 1. 4. 2018).

3.3.5 Stanovení celkové ztráty prostupem

Pro řešenou místnost se sečtou všechny tepelné toky prostupem a vypočte se celková tepelná ztráta prostupem $\Phi_{T,i}$.

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) \cdot (\Theta_{int,i} - \Theta_e) \quad [W] \quad (3.15)$$

3.3.6 Stanovení tepelné ztráty větráním místnosti

V rámci metodiky výpočtu tepelné ztráty infiltrací se rozlišují objekty s přirozeným větráním a objekty s větracím systémem. Na rozdíl od případu přirozeného větrání nemá přiváděný vzduch pomocí větracího systému parametry venkovního vzduchu. Tepelná ztráta místnosti infiltrací se vypočte ze vztahu (3.16), kde $H_{V,i}$ [$W \cdot K^{-1}$] je měrná tepelná ztráta větráním, která se získá z výrazu (3.17), kde \dot{V}_i [$m^3 \cdot h^{-1}$] je objemový tok vzduchu, ρ [$kg \cdot m^{-3}$] je hustota vzduchu a c [$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$] je měrná tepelná kapacita vzduchu.

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\Theta_{int,i} - \Theta_e) \quad [W] \quad (3.16)$$

$$H_{V,i} = \frac{1}{3600} \cdot \dot{V}_i \cdot \rho \cdot c = \dot{V}_i \cdot 0,33 \quad [W \cdot K^{-1}] \quad (3.17)$$

3.3.7 Celková tepelná ztráta místnosti

Celková tepelná ztráta místnosti Φ_i je součtem ztráty tepla prostupem $\Phi_{T,i}$ a ztráty tepla větráním $\Phi_{V,i}$.

$$\Phi_i = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} \quad [W] \quad (3.18)$$

3.4 Zhodnocení metod pro výpočet tepelné ztráty

Postupy výpočtu tepelné ztráty budovy obálkovou metodou a podrobnější metodou podle aktuální normy ČSN EN 12 831-1 se odlišují především tím, že zatímco obálková metoda počítá pouze se ztrátou tepla z vnitřního prostoru do exteriéru skrze obálkové konstrukce bez zahrnutí vnitřních ztrát a zisků, metoda popsaná v normě stanovuje celkovou tepelnou ztrátu budovy jako součet tepelných ztrát jednotlivých místností. Zjednodušeně by se dalo říci, že postup je stejný, ale obálková metoda poskytuje zkrácení výpočtů tím, že uvažuje celou budovu (nebo její část) jako „jednu místnost“.

Tepelné ztráty prostupem i infiltrací jsou ovlivněny mnoha fyzikálními procesy a jsou citlivé na jakékoli změny okrajových podmínek. Nezanedbatelným faktorem ovlivňujícím ztrátu prostupem jsou teplené mosty, které se ne vždy dají odhalit a dostatečně přesně popsat. U obou popsaných metod lze použít různé stupně zjednodušení pro tyto jevy pomocí uvedených součinitelů a dalších korekčních veličin, například přírážek. Většinou jsou buďto tabelované, nebo je jejich podrobný a často komplikovaný výpočet uveden normou. Míru správnosti volby těchto parametrů někdy lze určit z normy, kde je uvedena přesnost hodnot nebo způsob jejího určení. Určit jejich vliv na celkový výsledek vypočtené tepelné ztráty by bylo velmi náročné, hlavně pro jejich velký počet, ale už také proto, že každá budova má podle způsobu zateplení a koncepce větrání jiný podíl ztrát prostupem vůči ztrátám infiltrací, které v součtu tvoří celkovou tepelnou ztrátu.

Zatímco venkovní výpočtové nebo změřené teploty lze získat s poměrně spolehlivou přesností, určit vnitřní výpočtovou teplotu může být problematické především u obálkové metody, kdy mají místnosti budovy různé vnitřní teploty. Je zde třeba stanovit průměrnou nebo převažující hodnotu, anebo použít hodnotu normovanou. Tyto hodnoty nemusí vždy dostatečně odpovídat realitě, a je proto třeba zvážit jejich volbu vzhledem k dalšímu použití výpočtu tepelné ztráty.

Kapitola 4

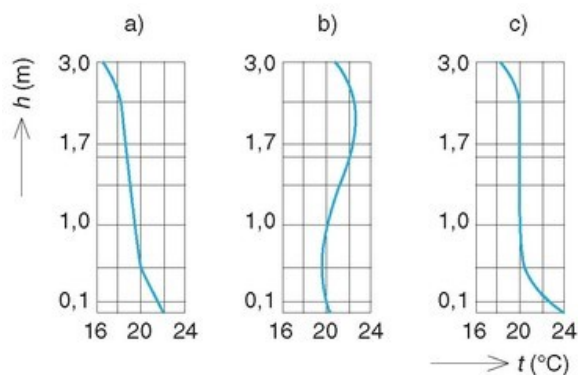
Měření vnitřní průměrné teploty budovy

Cílem této kapitoly je navrhnout přístup k metodice měření průměrné teploty vnitřního vzduchu budovy tak, aby změřená a vyhodnocená hodnota věrně a s popsitelnou přesností odpovídala skutečné střední teplotě celého vnitřního vytápěného prostoru budovy. Do měření je tedy nutné nějakým způsobem zahrnout všechny vytápěné místnosti a způsob měření musí reflektovat odlišnost naměřených hodnot teplot v různých místech budovy, respektive faktory, které určují tuto různost teplot v rámci jednoho prostoru.

Měřená hodnota teploty vzduchu bude různá pro různé body objemu místnosti. Konkrétní hodnota teploty je určena mnoha navzájem provázanými faktory. Pokud bude známo, jakým způsobem ovlivňují teplotu v místnosti, její dlouhodobé rozložení i krátkodobé výkyvy, bude možné eliminovat měření nevyhovujících hodnot, a naopak měřit právě ty hodnoty, které jsou relevantní.

4.1 Rozložení teplot v místnosti

V místnosti lze pozorovat určitý dlouhodobý teplotní profil (obr. 4.1). Charakteristický je vždy ve vertikálním a v horizontálním řezu, které se zobrazují nejčastěji v rovinách procházejících středem místnosti a kolmých na stěny s některými významnými prvky, jako jsou otopná tělesa, okna apod., aby bylo možné znázornit měnící se vliv těchto prvků na různé vzdálenosti.



Obrázek 4.1: Vertikální teplotní profil místnosti s různými systémy vytápění: a) ideální profil, b) radiátorové vytápění, c) podlahové vytápění [53]

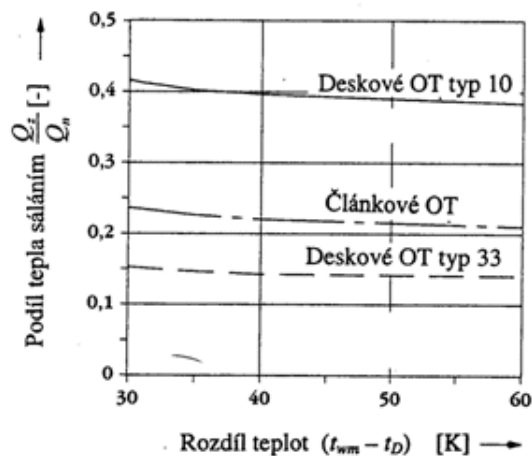
Nerovnoměrnost teplotního profilu je daná zejména způsobem přívodu tepla, nestejnoměrným ochlazováním jednotlivých stěn a venkovní teplotou. Rozložení teploty se za tepelně ustáleného stavu, především tedy bez větrání, ustálí. [28] [54] [55]

4.2 Vliv způsobu vytápění

Odlíšné teplotní profily jsou důsledkem různého proudění vzduchu v místnosti, jehož rychlost a směr závisí zejména na umístění a velikosti otopných ploch ve vztahu k umístění a velikosti ochlazovaných ploch. [56]

4.2.1 Konvekční otopná tělesa

Při vytápění konvekcí ohřívají otopná tělesa konvekční složkou svého tepelného výkonu vnitřní vzduch, který poté spolu se sálavou složkou předává teplo okolním ochlazovaným stěnám. Pokud převažuje konvekční složka tepelného výkonu, je teplota vzduchu vyšší než střední teplota vnitřního povrchu stěn. Mezi konvekční otopná tělesa jsou zde zahrnuty článková otopná tělesa, desková otopná tělesa, konvektory a případně trubková otopná tělesa, jejichž společným znakem je převládání konvekční složky předávaného tepelného výkonu. Podíl sálavé složky výkonu některých konvekčních otopných těles v závislosti na rozdílu střední teploty otopné vody a teploty vzduchu v místnosti je vyneseno do grafu na obr. 4.2.



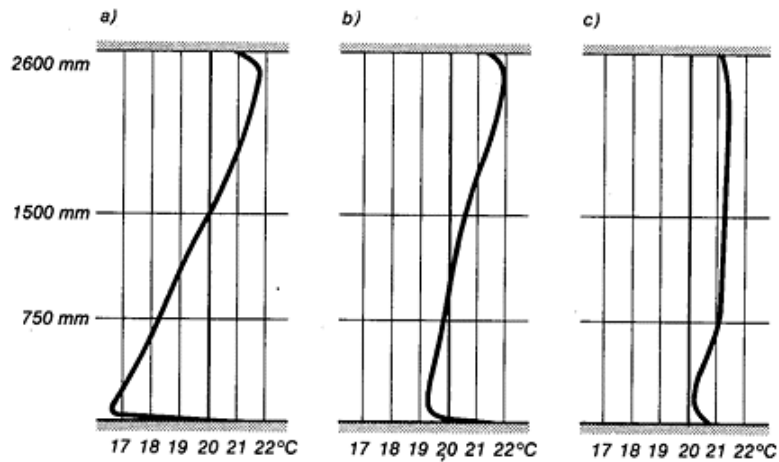
Obrázek 4.2: Podíl tepla sdíleného sáláním Q_z v závislosti na rozdílu teplot $(t_{wm} - t_D)$ [57]

Rozměry otopného tělesa

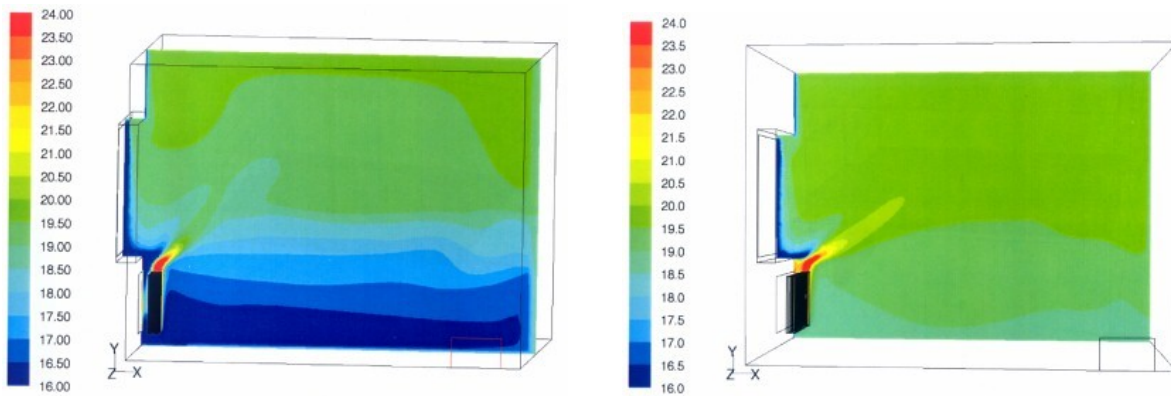
Parametry otopného tělesa, které mají hlavní vliv na tepelný stav místnosti, jsou druh, velikost, způsob instalace a ochlazení teplotnosné látky na otopném tělese. Otopné těleso instalované pod oknem bude v závislosti na rozměrech (hloubka H , délka L) a střední teplotě (t_m) působit různé teplotní profily zobrazené na obr. 4.3 a 4.4. Je to dáno tím, že teplé konvekční proudy od tělesa umístěného pod oknem brání chladným padajícím proudům z okna dostat se až k zemi a směšují se s nimi, jak je znázorněno na obr. 4.5. [58]

Umístění otopného tělesa

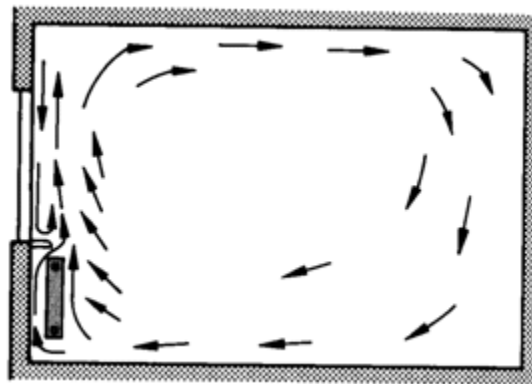
Na teplotní rozložení má kromě délky otopného tělesa zásadní vliv také jeho umístění. Na obr. 4.6 jsou porovnány výsledky simulace použití otopných těles kratších než okno instalovaných na různých místech v rámci místnosti a tělesa stejně širokého jako okno instalovaného pod oknem. Aby porovnávaná tělesa předávala stejný tepelný výkon, jejich různá velikost je kompenzována změnou střední teploty otopné vody.



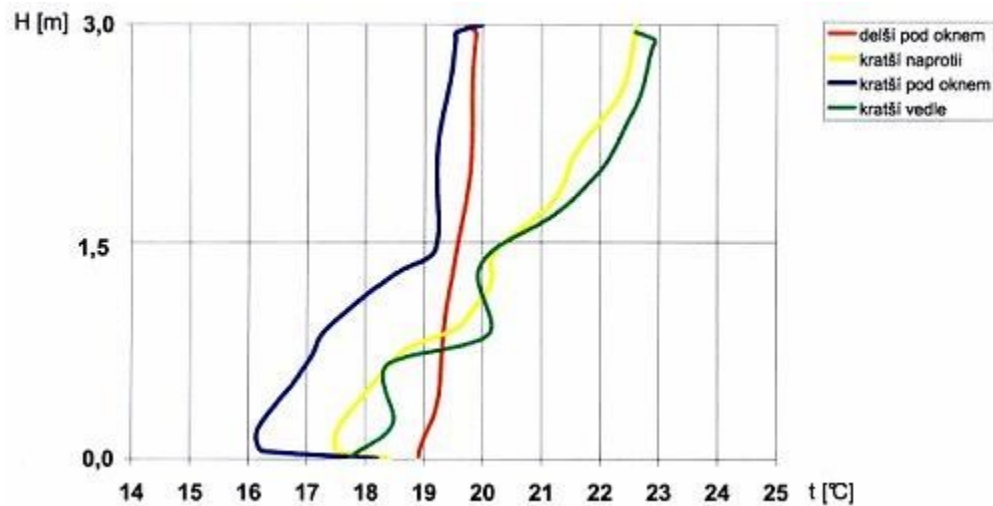
Obrázek 4.3: Vertikální teplotní profil při vytápění deskovým otopným tělesem s různými parametry: a) $H = 920 \text{ mm}$, $L = 1500 \text{ mm}$, $t_m = 82,0 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_{okna} = 5,9 \text{ }^\circ\text{C}$ b) $H = 920 \text{ mm}$, $L = 1500 \text{ mm}$, $t_m = 53,9 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_{okna} = 12,9 \text{ }^\circ\text{C}$ c) $H = 495 \text{ mm}$, $L = 2500 \text{ mm}$, $t_m = 57,5 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_{okna} = 11,5 \text{ }^\circ\text{C}$ [58]



Obrázek 4.4: Teplotní pole ve vertikálním řezu středem místnosti: šířka okna $1,6 \text{ m}$, délka otopné plochy $0,9 \text{ m}$ (vlevo) nebo $1,6 \text{ m}$ (vpravo) [59]



Obrázek 4.5: Proudění vzduchu v uzavřeném vytápěném prostoru s otopným tělesem pod ochlazenou plochou [58]



Obrázek 4.6: Vertikální teplotní profil ve středu místnosti pro různé umístění otopných těles [59]

Porovnávací měření konvekčních těles

Berounský [60] provedl sérii reálných měření ve zkušební místnosti pro porovnání různých typů konvekčního vytápění z hlediska podílu konvekční a sálavé složky předávaného tepelného výkonu a jejich vlivu na teplotní rozložení vzduchu v místnosti. Zvenku izolované stěny zkušební místnosti jsou sestaveny z ocelových panelů, na jejichž zadní straně jsou přivařeny smyčky z ocelových trubek s oběhem vody pro regulaci teploty stěn. Teploty stěn byly určeny na základě výpočtových okolních teplot. Rozměry místnosti a měřené body jsou naznačeny na obr. 4.7.

Naměřené teploty pro různá otopná tělesa v podélné ose místnosti ve vzdálenostech od okna 1 a 3 m jsou zaznamenány v tab. 4.1. Graficky znázorněné vertikální průběhy v příčném řezu I ve vzdálenosti 0,5 m od okna pro různá otopná tělesa jsou seřazeny v tab. 4.2. Grafická znázornění naměřených hodnot ve zbylých řezech naznačených na obr. 4.7 jsou v příloze A. Na základě získaných hodnot lze konstatovat, že od určité vzdálenosti od okna zůstávají horizontální průběhy beze změny.

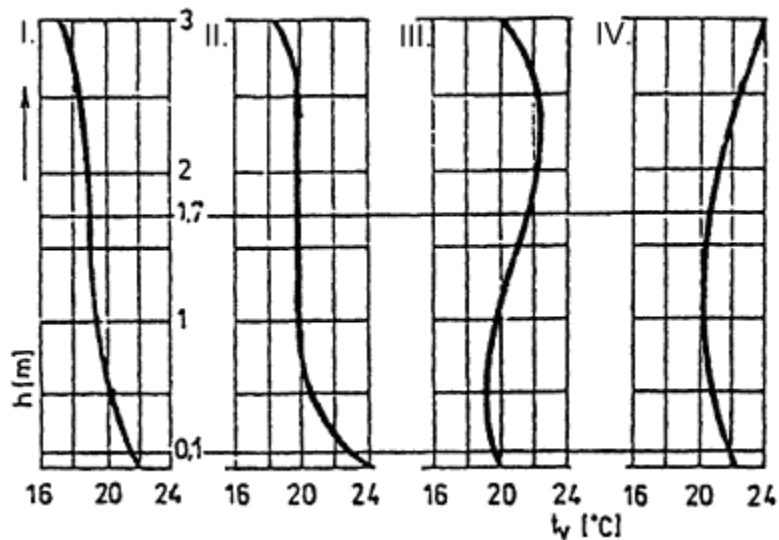
Tabulka 4.1: Změřené teploty na podélné ose místnosti ($b = 1,8\text{ m}$) pro různá konvekční otopná tělesa [60]

Výška měření [m]	Naměřené teploty na podélné ose místnosti [$^{\circ}\text{C}$]					
	1 m od okna			3 m od okna (střed místnosti)		
	Deskové (panel)	Článekové (radiátor)	Konvektor	Deskové (panel)	Článekové (radiátor)	Konvektor
1,7	19,5	19,5	20,2	19,7	19,9	20,6
0,3	21,4	19,5	18,8	19,0	18,3	18,5
$t_{1,7} - t_{0,3}$ [$^{\circ}\text{C}$]	-2,2	0,0	+1,4	+0,7	+1,6	+2,1

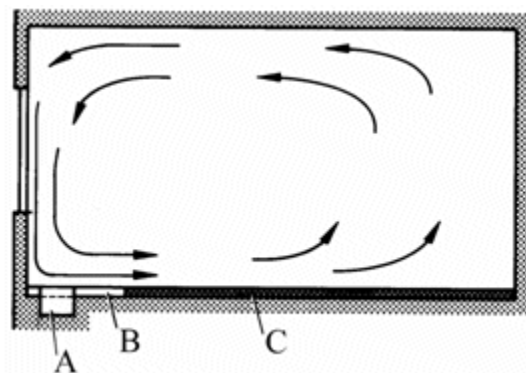
4.2.2 Velkoplošné vytápění

Velkoplošné vytápění, například podlahové nebo stropní, umožňuje sdílení tepla do vytápěné místnosti v první řadě sáláním, kdy jsou vlivem osálení vnitřní povrchové teploty konstrukcí vyšší než teplota vzduchu.

Díky tomu, že u podlahového vytápění je povrchová teplota otopné plochy ze všech druhů vytápění nejnižší, je vertikální rozložení teplot téměř ideální (obr. 4.8), zatímco u ostatních druhů vytápění může být vertikální průběh teplot poměrně nerovnoměrný. Teplota v úrovni hlavy je maximálně o 2 až 3 °C vyšší než v oblasti kotníků a nad zónou pobytu směrem nahoru pouze klesá. Horizontální průběh teplot je téměř rovnoměrný, blíží se ideálnímu, až na úzkou oblast u ochlazované konstrukce (obr. 4.13). Chladný proud z okenní plochy totiž padá přímo k podlaze a až hlouběji v místnosti se ohřívá, obrací vzhůru a proudí kolem vnitřních stěn ke stropu a zpět k ochlazované stěně přibližně podle obr. 4.9. [56] [58]



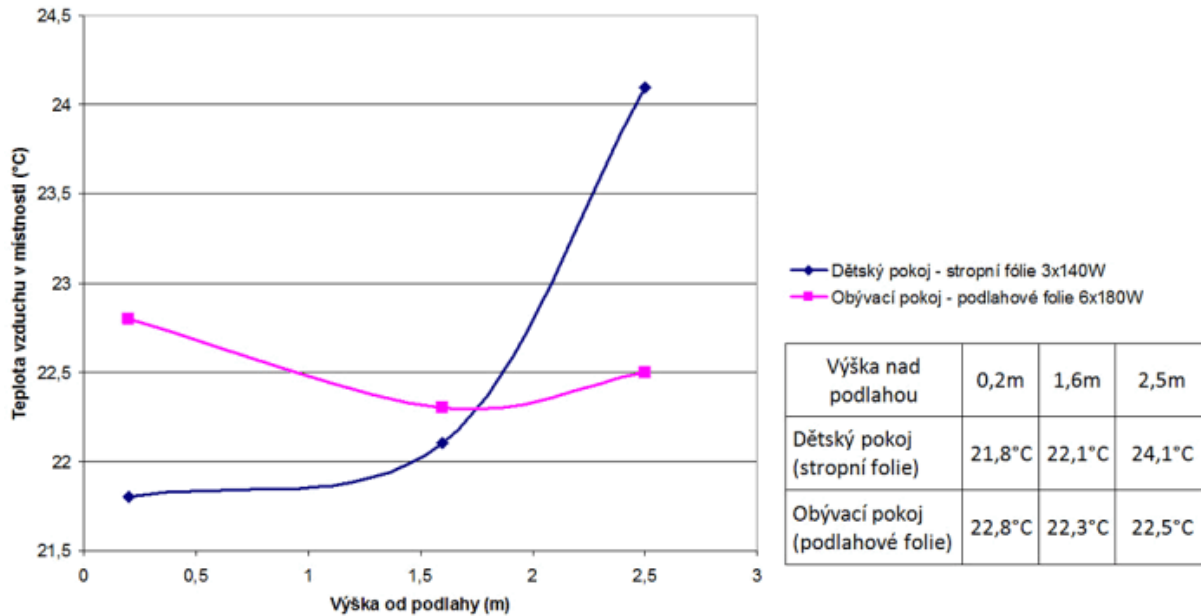
Obrázek 4.8: Vertikální průběh teploty vzduchu ve vytápěné místnosti při jejím různém způsobu vytápění: I. ideální průběh, II. podlahové vytápění s ochlazovaným stropem, III. článkové otopné těleso, IV. stropní vytápění [56]



Obrázek 4.9: Proudění vzduchu v prostoru vytápěném podlahovou otopnou plochou [58]

Měření rozdílu mezi podlahovým a stropním vytápěním

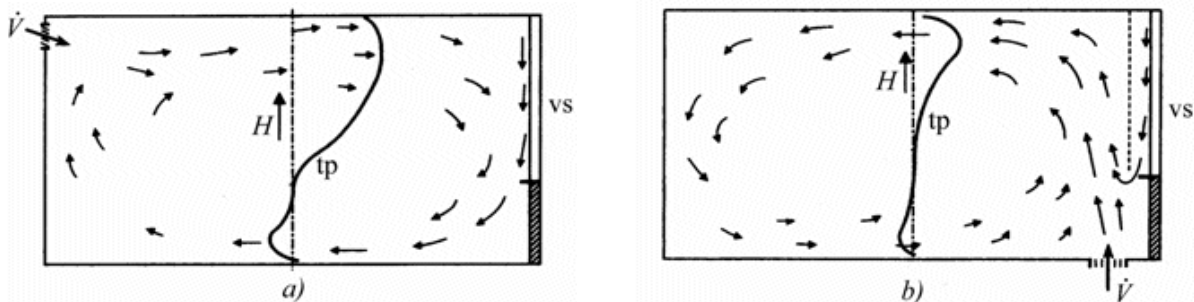
Rozdíl mezi podlahovým a stropním vytápěním (obr. ??) byl měřen výrobcem elektrického vytápění v pasivním domě, kde v dětském pokoji bylo instalováno elektrické stropní vytápění (modrá křivka) a v obývacím pokoji podlahové (růžová křivka). Teploty vzduchu byly měřeny ve výškách 20, 160 a 250 cm od podlahy v průběhu jednoho dne a zprůměrovány. I přes malý počet teplotních senzorů je zřejmé, že podlahové vytápění způsobuje výrazně rovnoměrnější rozložení teplot oproti stropnímu vytápění. [61]



Obrázek 4.10: Graf teploty vzduchu v místnosti s podlahovým (růžová) a stropním (modrá) vytápěním [61]

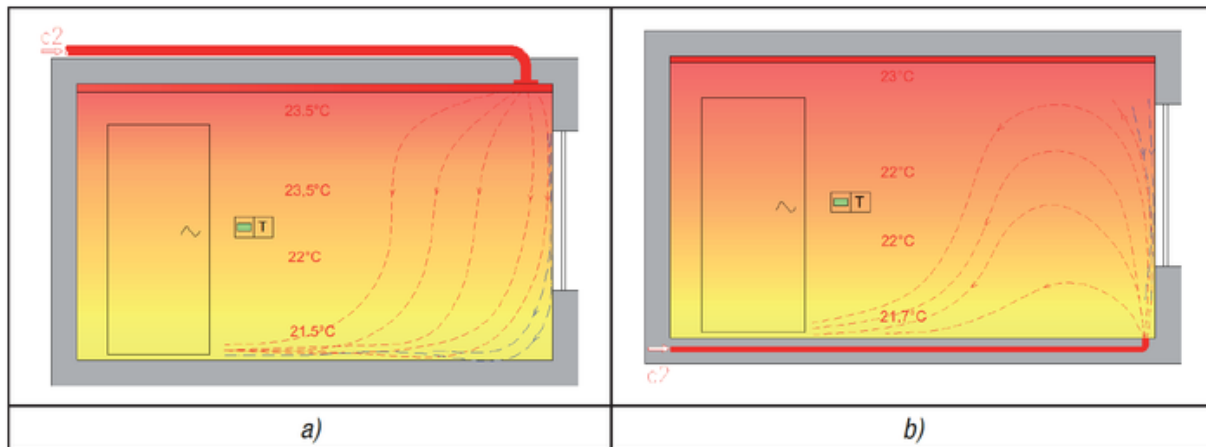
4.2.3 Teplovzdušné vytápění

Předností teplovzdušného vytápění je rychlé promíchávání teplého a chladného vzduchu. Teplotu vnitřního vzduchu je tak možno pohotově regulovat a rozložení teplot ve vytápěné místnosti je poměrně rovnoměrné s malými teplotními rozdíly.



Obrázek 4.11: Proudění vzduchu v místnosti s teplovzdušným vytápěním (*vs* – vnější stěna, *tp* – teplotní profil, *H* – výška místnosti): a) příivod vzduchu pod stropem u vnitřní stěny, b) příivod vzduchu v podlaze u venkovní stěny [57]

Na obr. 4.12 jsou znázorněny reálně naměřené hodnoty v místnostech, kde bylo instalováno teplovzdušné vytápění. Je zde zakresleno teplotní pole a meze teplot, přičemž teplotní čidla byla rozmístěna od podlahy po strop ve výškách 10, 110, 170, 200 a 250 cm od podlahy. Maximální změřený rozdíl teplot po výšce místnosti je 2 K a jako příznivější se jeví teplovzdušné vytápění se spodním příívodem, jelikož lépe kompenzuje chladné proudění od okna. [62]



Obrázek 4.12: Rozložení teploty v místnosti: a) teplovzdušné vytápění s horním příívodem; b) teplovzdušné vytápění se spodním příívodem [62]

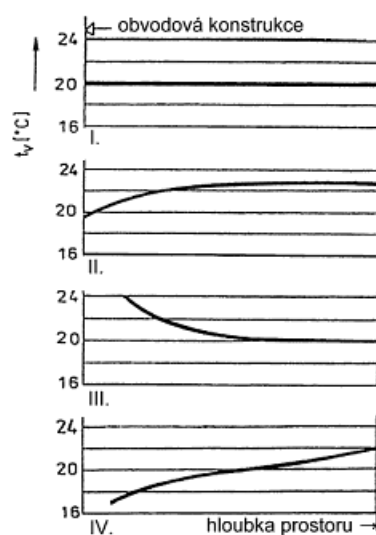
4.2.4 Shrnutí vlivu vytápění

Použité vytápění má zásadní vliv na teplotní rozložení ve vytápěné místnosti. Otopný systém má za úkol vyrovnávat dodávaným teplem teplo ztracené prostupem vnějšími konstrukcemi, a protože teplota je přímým důsledkem tepelného stavu, hodnota teploty vzduchu v konkrétním místě je určena způsobem a intenzitou sdílení tepla v tomto místě.

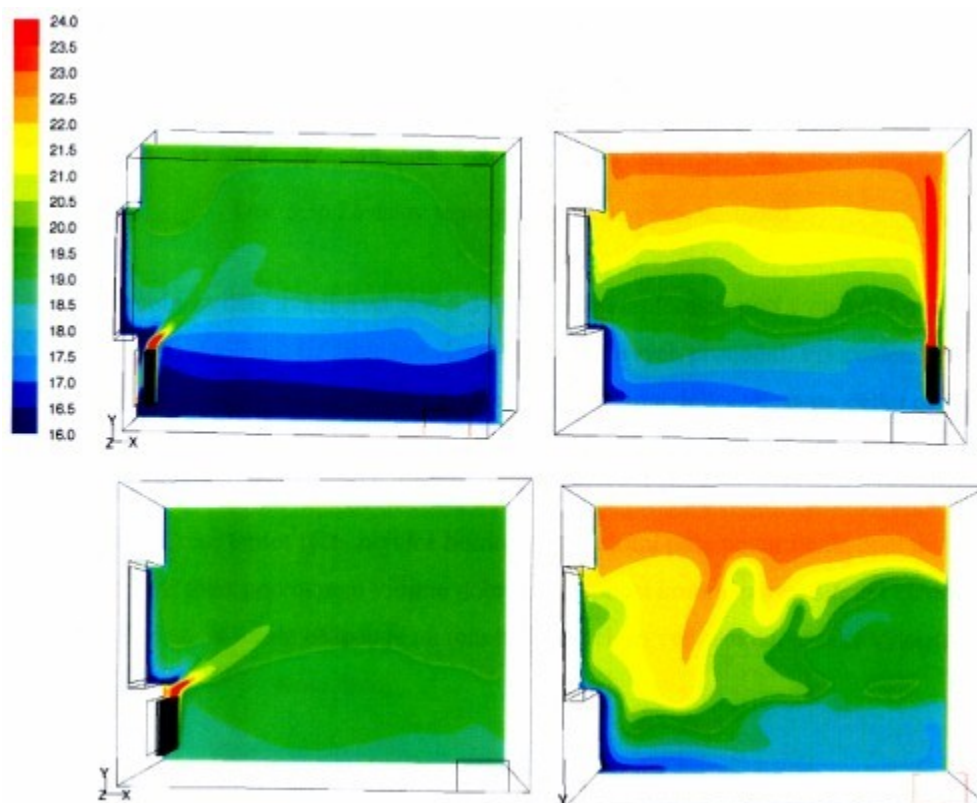
Horizontální rozložení teploty ovlivňuje hlavně umístění otopné plochy ve směru od obvodové ochlazované konstrukce (obr. 4.13). Není tak výrazné jako vertikální rozložení a po určité vzdálenosti od ochlazované konstrukce zůstává rovnoměrné. Vertikální nerovnoměrnost rozložení teplot je větší při vytápění konvekčními otopnými tělesy a vyrovnanější u velkoplošných sálavých způsobů vytápění. Je to dáno především tím, že zvýšená cirkulace vzduchu u konvekčního vytápění podporuje zvyšování teploty spolu s výškou místnosti. Nerovnoměrnost je také tím větší, čím vyšší je povrchová teplota otopné plochy. Naopak vyrovnanějšího teplotního profilu se dosahuje lepšími tepelně-technickými vlastnostmi obvodových stěn a oken, snížením provzdušnosti oken na hygienickou mez a optimálním návrhem otopných těles. [28] [54] [56] [42]

U konvekčních otopných těles také velmi záleží na jejich správném dimenzování a umístění vzhledem k poloze oken (obr. 4.14).

V následující tabulce (tab. 4.3) jsou porovnány maximální hodnoty teplotních průběhů, které lze nalézt v odborné literatuře. Citovaní autoři většinou uvádějí, že se jedná o typické rozložení teploty pro daný otopný systém a blíže původ hodnot nespecifikují. V tabulce je uveden vždy maximální teplotní rozdíl zobrazeného teplotního průběhu spolu s výškou od podlahy, ve které byly naměřeny extrémní hodnoty. Zatímco maximální teplotní rozdíly udávané různými autory pro jeden otopný systém se liší většinou o několik stupňů, lze pozorovat, že extrémní hodnot se nacházejí ve vzdálenostech do 0,5 m od podlahy nebo stropu, což ve většině potvrzuje i znázorněné průběhy teplot uvedené výše. Mezi těmito „okrajovými zónami“ je vertikální průběh teploty zpravidla přibližně lineární, což platí i pro typické teplotní průběhy nalezené v literatuře (viz tab. 4.3).



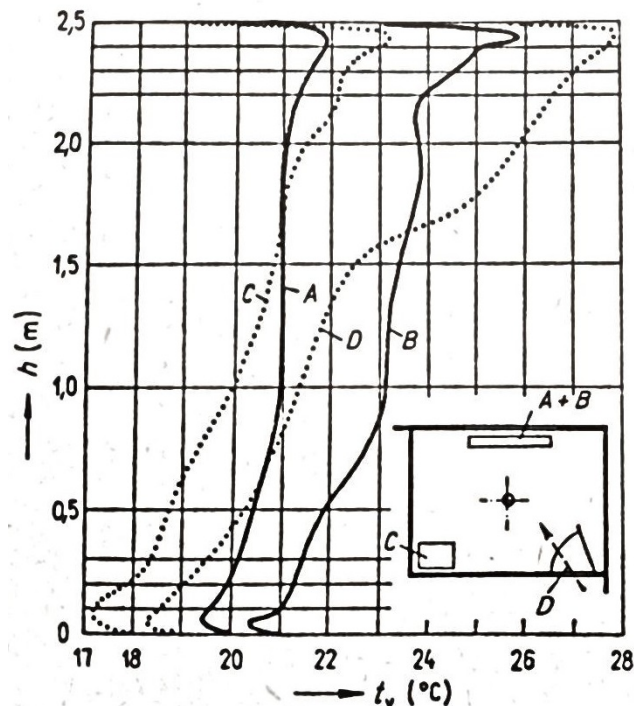
Obrázek 4.13: Horizontální průběh teploty vzduchu ve vytápěné místnosti při jejím různém způsobu vytápění: I. ideální průběh, II. podlahové vytápění s ochlazeným stropem, III. článkové otopné těleso, IV. stropní vytápění [56]



Obrázek 4.14: Srovnání teplotních polí ve vertikálním řezu středem místnosti pro různé velikosti a umístění těles: vlevo nahoře – kratší pod oknem, vpravo nahoře – kratší naproti, vlevo dole – delší pod oknem, vpravo dole – kratší na vedlejší stěně [59]

Tabulka 4.3: Porovnání uváděných teplotních průběhů pro různé otopné systémy

Autor	Výška místnosti	Konvekční	Konvektory	Podlahové	Stropní	Teplovzdušné		
		Max. teplotní rozdíl [$^{\circ}C$]						
		Min. teplota ve výšce [m]			Max. teplota ve výšce [m]			
Cihelka [28] (obr 4.15)	2,5	2,5		5,5		9,5		
		0,1	2,4	0,1	2,5		0,1	2,5
Počinková [42]	2,7	7			2			
		0,2	2,3		2,7	0		
Lajčiková [54]	2,7	2,5		3,5		4,5		
		0,2	0		0,2	2,7	0,2	2,7
Štěchovský [63]	2,5	3		5,5		5,5		9,5
		0,2	2,3	0,2	2,4		0,2	2,5
Straka [55]	2,7	8		5		8		6
		0,3	2,4	0,2	2,3	2,7	0	0,4
Bašta [56]	3	3,5		6		4		
		0,5	2,3		3	0	1,2	3



Obrázek 4.15: Rozložení teplot pro různé otopné systémy podle Cihelky: A) člankové otopné těleso, B) konvektor, C) kachlová kamna, D) tepl vzdušné vytápění [28]

4.3 Vliv ventilace

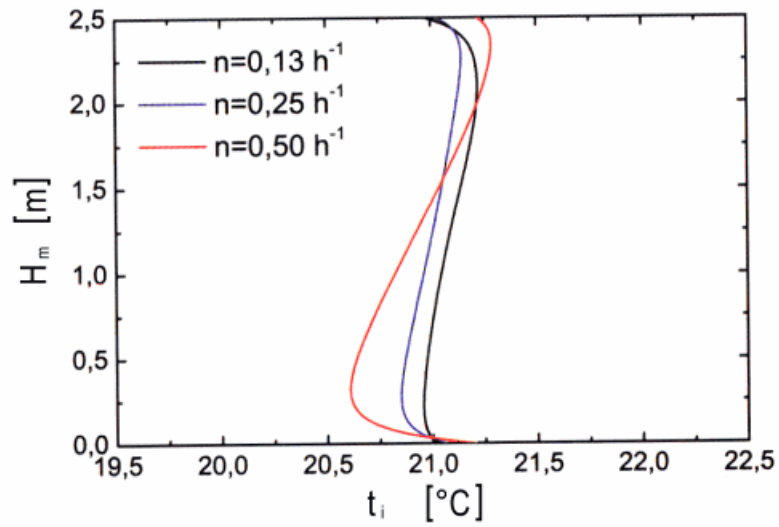
4.3.1 Bez koncepčního řešení (infiltrace spárou okna, otevřené okno)

Přívod chladného venkovního větracího vzduchu spárami oken významně ovlivňuje chladné padající proudy od okenní plochy. Zvyšuje se jak množství chladného vzduchu proudícího k podlaze, tak i rychlost jeho proudění. Tyto chladné proudy je možné a žádoucí redukovat umístěním otopného tělesa pod okno a volit délku otopného tělesa ideálně stejnou, jako je délka okna. U velkoplošných nebo tepl vzdušných otopných systémů je pro kompenzaci studeného proudění od okna vhodné volit přívod tepla směrem od podlahy, výjimkou mohou být jediné budovy s vnějšími konstrukcemi o nadstandardních parametrech. [62] [64]

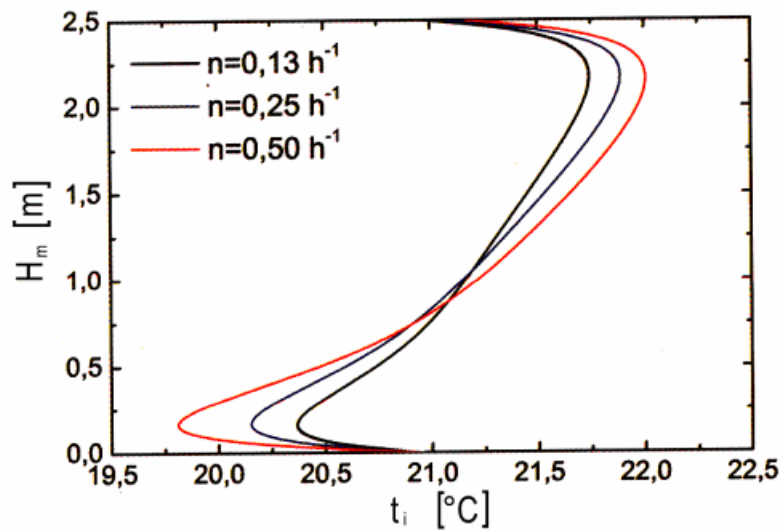
V článku [64] je prezentována simulace teplotního rozložení uvnitř místnosti nízkoenergetického domu pro různé pozice otopných těles. Tři zkoumané varianty jsou provedeny pro různé hodnoty infiltrace prvky okna a vliv těchto různých hodnot na vertikální teplotní profil lze pozorovat na obr. 4.16 až 4.18 pro konstantní okrajové podmínky (venkovní teplota -2°C , žádné tepelné zisky z oslunění).

Pro všechny uvedené varianty platí, že pokud se zvedne hodnota výměny vzduchu infiltrací oknem z $0,13\text{ h}^{-1}$ na $0,25\text{ h}^{-1}$, rozdíl maximální a minimální teploty po výšce místnosti se zvýší asi o 20 % a dojde-li ke zvýšení na $0,5\text{ h}^{-1}$, maximální rozdíl teplot se zvýší o více než 60 %. Vzhledem k tomu, že pro větrání otevřenými okny je uvedena hodnota výměna vzduchu $n = 4,5\text{ h}^{-1}$, bude mít tento způsob větrání obrovský dopad na teplotu vzduchu v místnosti.

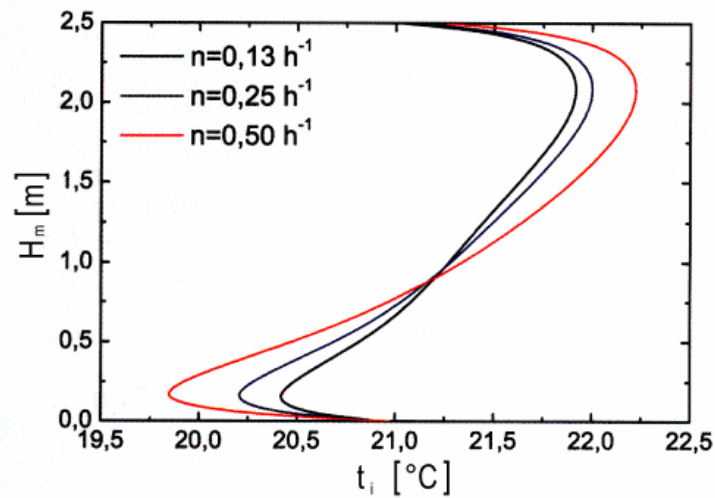
V dalších představených simulacích byla jako výpočtová hodnota výměny vzduchu zvolena hodnota $0,5\text{ h}^{-1}$, která má zahrnovat kombinaci infiltrace spárou okna $0,25\text{ h}^{-1}$ a občasné provětrávání otevřeným oknem prováděného obyvateli.



Obrázek 4.16: Vertikální rozložení teploty pro různé hodnoty infiltrace n – otopné těleso pod oknem [64]



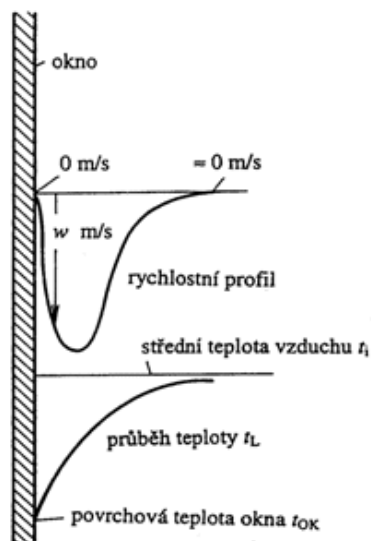
Obrázek 4.17: Vertikální rozložení teploty pro různé hodnoty infiltrace n – otopné těleso u vnitřní protilehlé stěny [64]



Obrázek 4.18: Vertikální rozložení teploty pro různé hodnoty infiltrace n – otopné těleso u vnitřní boční stěny [64]

4.4 Vliv konstrukce

Na rozložení teplot uvnitř prostoru má vliv také nerovnoměrné ochlazování jednotlivých stěn. Rozdílná teplota konstrukce a přiléhajícího vzduchu má za následek vznik volných konvekčních proudů. Proudění vzduchu je tedy úzce spjato s jeho teplotou, a tedy i s průběhem teplotního profilu místnosti (obr 4.19). [56] [57]



Obrázek 4.19: Tvar teplotního a rychlostního profilu u okna [58]

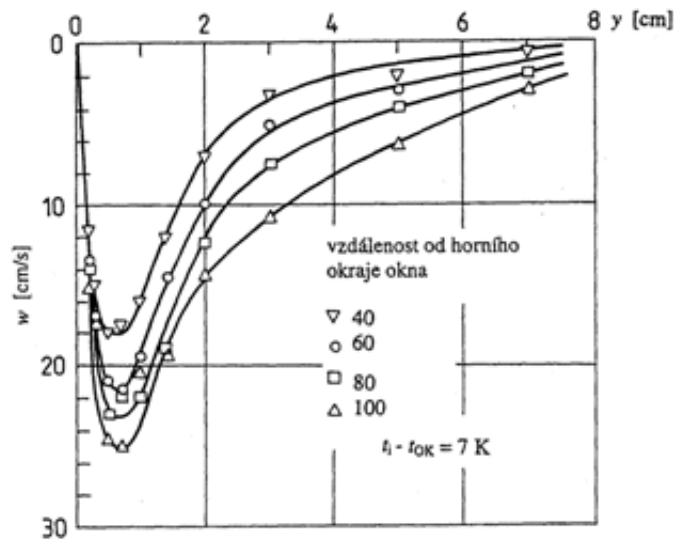
Pokud jsou sousední vnitřní prostory vytápěné na stejnou teplotu jako sledovaná místnost, lze uvažovat, že mezi nimi nedochází k výměně tepla postupem vnitřními konstrukcemi, která je poháněna teplotním spádem na konstrukci. [58] Tento přístup uplatnilo mnoho autorů (např. [59], [60], [64]).

Konstrukce oddělující vytápěnou místnost od venkovního prostoru většinou obsahují okna, která mají na teplotní profil vzduchu místnosti mnohem výraznější vliv než samotné konstrukce kvůli horším izolačním vlastnostem. Míra vlivu těchto konstrukcí na průběh teplot v místnosti je tedy zanedbatelná, pokud obsahují okenní plochy, a také otopný systém bývá navržen tak, aby kompenzoval teplo odváděné konstrukcemi. Pokud je tedy při charakterizování rozložení teplot v místnosti reflektován typ a provedení otopného systému (viz výše) a vliv okenní plochy (viz níže), můžeme uvažovat, že vliv venkovních konstrukcí je již dostatečně zahrnut. Pokud venkovní konstrukce neobsahuje okna, lze použít analogii vlivu okenní plochy.

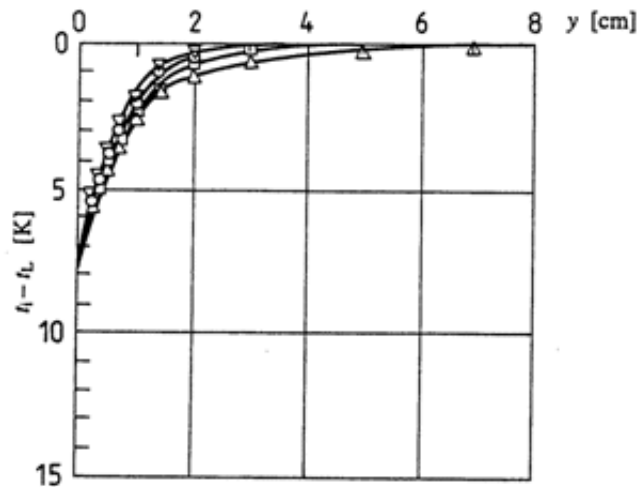
4.4.1 Okenní plocha

Okenní plochy mají zpravidla největší podíl na tepelných ztrátách. Je to dáno jejich vysokými součiniteli prostupu tepla oproti stěnám vnější konstrukce kvůli malé tloušťce a také nedokonalé utěsněnými spárami mezi oknem a konstrukcí. Na vnitřní straně okna se součinitelem prostupu tepla $1,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ bude při vnější výpočtové teplotě -12°C teplota pouze 14°C . Při vnitřní teplotě vzduchu 20°C , vzniknou na vnitřní straně okna o ploše 3 m^2 chladné padající proudy s rychlostí $0,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, přičemž nejvyšší přípustná hodnota rychlosti proudění v pásmu pobytu lidí je pro sedící osoby $0,25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. O něco nižších hodnot rozdílu teplot okna a vnitřního vzduchu se dosahuje u budov s tepelně-technickými parametry podle normy ČSN 73 0540 - 1 až 4.

Experimentální ověření rychlostního a teplotního profilu u okenní plochy provedl Redegren. Ze zjištěných dat (obr. 4.20 a 4.21) lze dovést, že vzduch má ve vzdálenosti od okna větší než 3 cm teplotu vzduchu místnosti. [58]



Obrázek 4.20: Rychlostní profil získaný na základě měření u okenní plochy [58]



Obrázek 4.21: Teplotní profil získaný na základě měření u okenní plochy [58]

4.5 Vliv tepelných zisků

Mezi běžné zdroje tepelných zisků uvnitř místnosti lze zařadit obyvatele, počítače a další elektrické spotřebiče a zařízení, světla a v neposlední řadě sluneční záření skrz okna. Tyto zdroje způsobují ve svém okolí výchylky teplotního profilu.

4.5.1 Měření vlivu různých zdrojů tepelných zisků na průběh teplot

Při vyhodnocování teplotních průběhů ve zkušební simulované kanceláři [65] byly porovnány účinky jednotlivých tepelných zdrojů i jejich kombinací, respektive účinky konvekčních proudů, které jsou zdroji vytvářeny. Uvažovaná kancelář nebyla vytápěna, ale byla klimatizována vzduchem o nízké teplotě přiváděným blízko úrovně podlahy, nicméně pro charakterizování vlivu jednotlivých zdrojů na měřený teplotní profil lze výsledky použít.

V místnosti s plochou asi 20 m^2 byla teplota měřena na čtyřech místech (P1 – P4 na obr. 4.22) a vždy v deseti výškách od podlahy (10, 50, 110, 150, 180, 250, 320, 390, 460, 500 cm). Autoři rozdělili měřené tepelné zdroje na bodové, vertikální a horizontální. V tab. 4.4 jsou popsána a rozdělena jednotlivá použitá simulační zařízení. Mimo jiné bylo cílem zjistit, jaký vliv má na teplotní profil větší výška místnosti nad 3 m, a proto byla zkušební místnost vystavěna do výšky 5 m. Pro lepší porovnatelnost změřených vertikálních průběhů je v grafickém zpracování použita bezrozměrná teplota.

Z naměřených dat vyplývá, že vertikální plošný zdroj působí přibližně lineární teplotní profil (obr. 4.23), zatímco horizontální plošný zdroj vytváří teplotní gradient ve své blízkosti a poté se jeho vliv vytrácí (obr. 4.24 a 4.25). Za vertikální zdroj se zde považuje okno, kterým do místnosti proniká sluneční záření, a je simulováno pomocí otopné folie. Způsob, jakým reálné sluneční záření ovlivňuje vnitřní teplotu místnosti, se tedy může lišit.

Měření také ukázala, že významný teplotní gradient se nachází v oblasti bodových tepelných zisků (v obytné zóně) a výška místnosti má zanedbatelný vliv na teplotní profil v této zóně. Bodové tepelné zdroje jako jsou osoby, počítače apod. tedy ovlivňují teplotní profil pouze ve své blízkosti (úrovni). Vertikální teplotní průběh nad obytnou zónou mimo oblast tepelných zisků je bez výrazného teplotního gradientu (obr. 4.26).

Tabulka 4.4: Charakteristiky simulovaných vnitřních tepelných zdrojů [65]

	Bodový zdroj		Vertikální plošný zdroj	Horizontální plošný zdroj	
	Sedící osoba	Počítač	Sluneční záření oknem	Teplá podlaha	Teplý strop
Provedení	válec z galvanizované oceli	krychle z galvanizované oceli	otopná folie	otopná folie	otopná folie
Rozměry [m]	průměr 0,3 a výška 1,15	0,4 x 0,4 x 0,4	3,6 x 0,9	0,8 x 2	2 x 2,4
Výkon [W]	75	120	130	260/466	260/466

4.5.2 Tepelné zisky ze slunečního záření

Sluneční záření předává teplo do místnosti sáláním na plochy a předměty uvnitř místnosti, samotný vzduch je pro sálání propustný. [28]

Lze předpokládat, že se plochy ohřáté slunečním zářením budou chovat podobným způsobem, jako velkoplošné vytápění nebo plošné zdroje vnitřních tepelných zisků a nebudou tedy způsobovat výrazné nerovnoměrnosti v průběhu teplot.

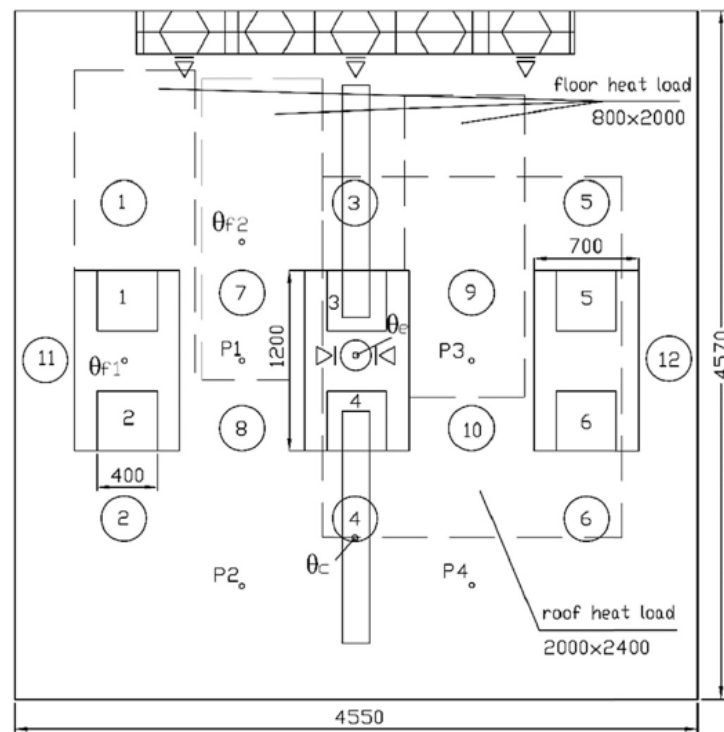
4.6 Shrnutí vlivů na měřenou hodnotu teploty a závěry

Nejvýznamnější vliv na podobu teplotního průběhu vzduchu místnosti má druh otopného systému a jeho provedení. Obecně je jedním z hlavních cílů při návrhu otopného systému dosažení tepelné pohody, což mimo jiné znamená i rovnoměrný teplotní profil. Platí tedy, že přiměřeně volený a dimenzovaný otopný systém bude vytvářet přibližně lineární rovnoměrný teplotní průběh. Oproti tomu nevhodně navržený systém bude způsobovat nerovnoměrné a nepředvídatelné rozložení teplot po vytápěné místnosti.

Protože teplotní pole vzduchu je úzce propojené s jeho rychlostním polem, lze rozložení teplot v místnosti s nuceným větráním poměrně dobře odhadnout na základě parametrů větracích prvků, především jejich umístění, teplotě a rychlosti přiváděného vzduchu a poloze odvodních prvků. Teplotní gradient lze pozorovat především právě v úrovni těchto prvků.

Pokud jsou sousední místnosti vytápěné na přibližně stejnou teplotu jako měřená místnost, lze zanedbat vliv vnitřních konstrukcí na teplotní rozložení. Vnější konstrukce jsou rozsáhlé vertikální plochy s jinou teplotou, než je teplota vzduchu v místnosti, takže působí přibližně lineární vertikální teplotní průběh. U konstrukcí obsahujících okna jsou nejvlivnějšími prvky právě okenní plochy, které budou způsobovat mnohem významnější teplotní gradient než zbytek stěny.

Okenní plochy poměrně zásadně ovlivňují teplotní průběh vzduchu v místnosti. Uplatňuje se zde kombinace prostupu tepla touto plochou o vysokém součiniteli prostupu tepla v porovnání se zbylými venkovními konstrukcemi a infiltrace venkovního vzduchu spárami mezi oknem a konstrukcí. Správně volený otopný systém by měl toto v maximální možné míře kompenzovat. Okna a obecně vnější konstrukce mají podstatný dopad zejména na horizontální průběh teploty ve směru od těchto ochlazovaných konstrukcí, který se brzy ustálí na konstantní teplotě.



Obrázek 4.22: Umístění teplotních senzorů (P1 – P4) a simulovaných zdrojů tepla (osoba: kruh 1 – 12, počítač: čtverec 1 – 6, teplá podlaha a strop: přerušovaný obdélník) [65]

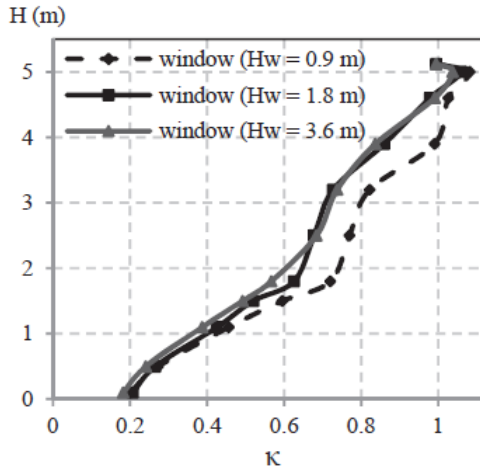
Mezi zdroje vnitřních tepelných zisků patří typicky obyvatelé, elektrická zařízení a sluneční záření. V okolí zdrojů nacházejících se uvnitř místnosti dochází k výhybkám v teplotním profilu, které se ztrácí s rostoucí vzdáleností od zdrojů podobně jako u horizontálního teplotního průběhu směrem od okenní plochy. Oproti tomu sluneční záření způsobuje zvýšení teploty ploch vnitřních konstrukcí a předmětů a v konečném důsledku poměrně rovnoměrné zvýšení teploty vzduchu.

Na závěr je třeba zmínit, že při větrání otevřením oken dochází k těžko přesně popsatelným, ale rozhodně velmi zásadním, teplotním výkyvům uvnitř místnosti. V krátkém čase dojde k výměně a promíchání velkého množství vnitřního ohřátého vzduchu a chladného venkovního vzduchu vlivem velmi velkého rozdílu jejich teplot působícího konvekční proudy, které svojí intenzitou naprosto „přebijí“ ostatní právě popsané vlivy. Při měření vnitřní teploty je tedy vhodné se buďto větrání okny úplně vzdát, nebo alespoň odlišit, které změřené hodnoty náleží do období větrání otevřením okna.

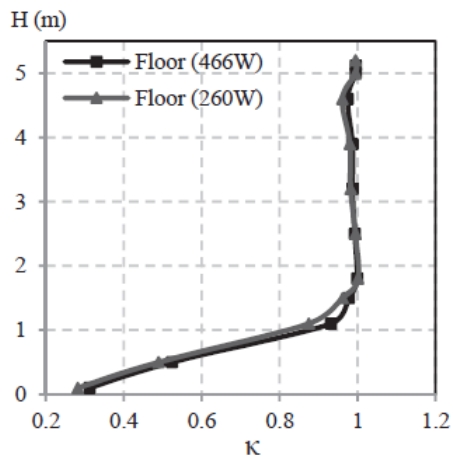
4.7 Používané způsoby měření vnitřní teploty

Provedená přehledová rešerše způsobů měření a vyhodnocování vnitřní teploty neukázala, že by se někteří z autorů zabývali stanovením vnitřní teploty budovy nebo místnosti s obdobným zaměřením nebo pro podobné účely. Existují například definované způsoby měření vnitřní teploty místnosti pro popis dosažené tepelné pohody, které ovšem používají předpoklady a zjednodušení nepoužitelné při měření reálné průměrné teploty místnosti.

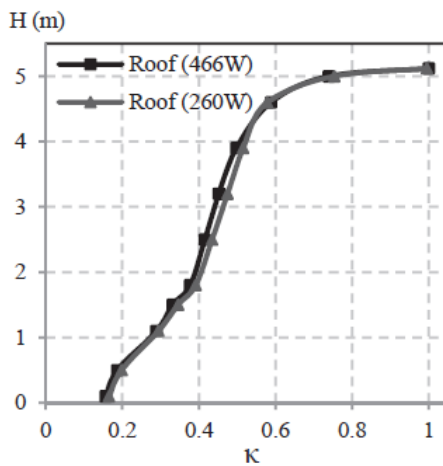
V následujících odstavcích jsou zmíněny některé dílčí postupy, které by mohly být uplatněny v procesu návrhu řešené metodiky.



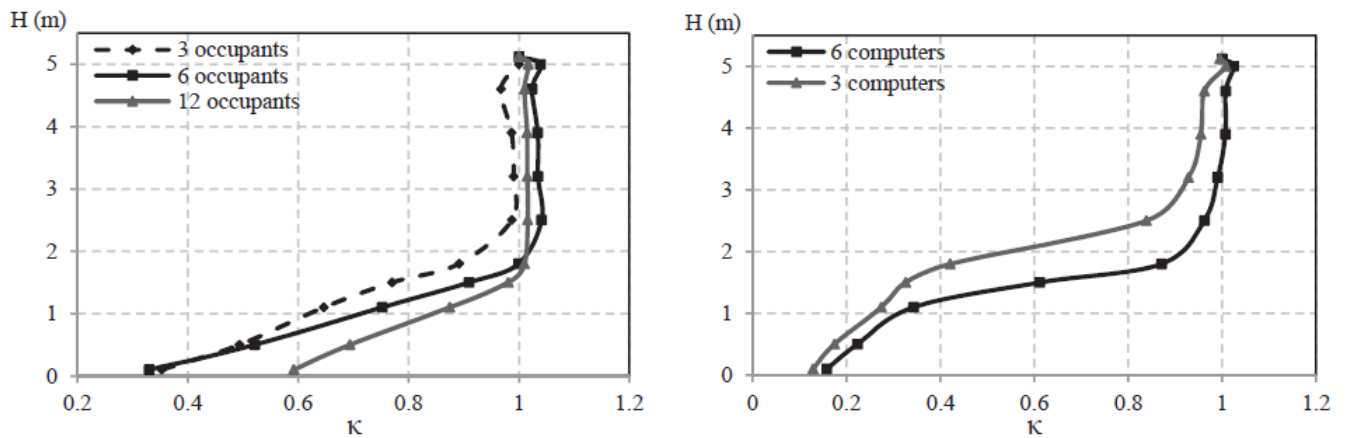
Obrázek 4.23: Teplotní profil od vertikálních plošných zdrojů o různé výšce [65]



Obrázek 4.24: Teplotní profil od plošného zdroje v úrovni podlahy o různých výkonech [65]



Obrázek 4.25: Teplotní profil od plošného zdroje v úrovni stropu o různých výkonech [65]

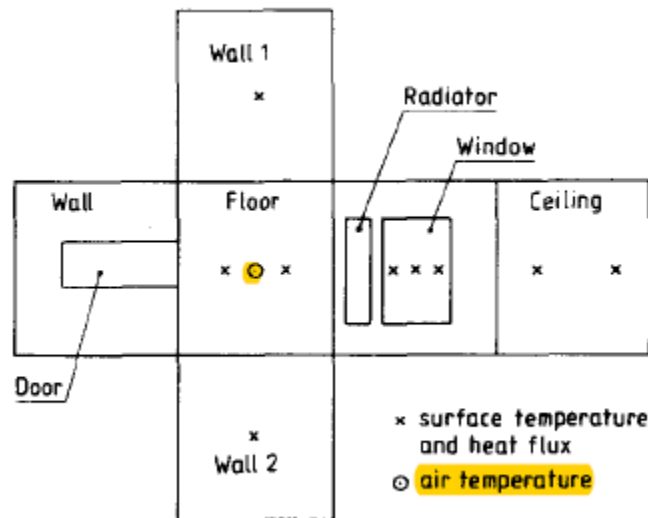


Obrázek 4.26: Teplotní profil od 3, 6 a 12 sedících osob (vlevo) a od 3 a 6 počítačů (vpravo) [65]

4.7.1 Měření průměrné vnitřní teploty místnosti

Průměr z měření v různých výškách

Autoři [18] zkoumali vliv vnitřních tepelných přenosů konvekcí a radiací na tepelnou dynamiku testovací buňky o dvou místnostech. Průměrnou vnitřní teplotu místnosti získali jako průměr ze sedmi měření uprostřed půdorysu místnosti v různé výšce od 0,4 do 2,4 m, kde výška místnosti byla 2,7 m. Podobný postup byl použit také při několika již zmíněných měřeních ([60], [61], [66], [62], [65]).



Obrázek 4.27: Měření průměrné teploty vzduchu (žlutě) v místnosti [67]

4.7.2 Určení průměrné vnitřní teploty budovy

Vážený průměr podle poměru délek ochlazovaných stěn

Pokud je vnitřní teplota místností různá, její vážená průměrná hodnota $t_{m,i}$ se spočítá podle poměru délek ochlazovaných stěn (stěn obálky) s různými vnitřními teplotami podle vztahu (4.1), kde l_j [m] je délka j -té stěny a $t_{iw,j}$ [°C] je teplota na vnitřní straně j -té stěny.

$$t_{i,m} = \frac{\sum (l_j \cdot t_{iw,j})}{\sum l_j} \quad [^{\circ}C] \quad (4.1)$$

Autoři tento způsob stanovení vnitřní průměrné teploty budovy uvádějí pro zkrácený způsob výpočtu tepelných ztrát celé budovy za účelem zpracování souhrnného projektového řešení ústředního vytápění. [68]

Vážený průměr podle objemu místnosti

Použit lze vážený průměr vnitřní teploty podle objemu místností. Průměrná vnitřní teplota $t_{m,i}$ se vypočítá podle vztahu (4.2), kde V_j [m³] je objem j -té místnosti a $t_{i,j}$ [°C] je vnitřní teplota j -té místnosti.

$$t_{i,m} = \frac{\sum (V_j \cdot t_{i,j})}{\sum V_j} \quad [^{\circ}C] \quad (4.2)$$

Takto určená průměrná hodnota vnitřní teploty budovy může být použita podle [69] pro vyhodnocení spotřeby tepla pomocí denostupňové metody. Autoři [70] a [71] použili vážený průměr podle objemu místností přistanovování tepelně-technické charakteristiky budovy.

Vážený průměr podle podlahové plochy

Autoři [55] použili vážený průměr vnitřní teploty budovy pro porovnání předpokládaných a skutečných ročních profilů vnitřních teplot budovy. S_j [m²] je plocha podlahy j -té místnosti.

$$t_{i,m} = \frac{\sum (S_j \cdot t_{i,j})}{\sum S_j} \quad [^{\circ}C] \quad (4.3)$$

4.7.3 Způsob umístění teplotních čidel

Na měřenou hodnotu teploty může mít vliv také umístění teplotního čidla. [72]. Je potřeba se vyhnout osálení čidla slunečním zářením a ohřátými povrchy, čemuž lze zamezit použitím clon s lesklým povrchem, například hliníkových ([27], [42], [70], [73]) nebo alespoň takovým umístěním čidla, aby k osálení nemohlo dojít ([74], [75]). Nepříznivý vliv na správnost měřené teploty může mít také umístění čidla do přívodu vzduchu ([76]).

4.8 Základní koncept navrhované metodiky pro měření vnitřní teploty budovy

V předešlých kapitolách byly popsány faktory ovlivňující rozložení teploty vzduchu v místnosti, aby bylo možné navrhnout co nejlepší způsob, jak určit střední teplotu místnosti a poté i celé budovy.

Pokud budou stanoveny průměrné teploty jednotlivých místností budovy, je vhodné vytvořit jejich vážený průměr podle objemu místností a tím získat celkovou průměrnou vnitřní teplotu budovy. Hlavní otázkou proto zůstává, jak určit reálnou průměrnou teplotu jednotlivých prostor.

Cílem je umístit teplotní čidla v místnosti takovým způsobem, aby měření bylo reprezentativní, a tedy respektovalo všechny vazby mezi různými faktory a měřenou hodnotou teploty. To, zda je měření skutečně reprezentativní, lze ověřit například průzkumným měřením pro n čidel.

4.8.1 Průzkumné měření pro n čidel

Počet čidel n bude nejdříve stanoven pouze odhadem na základě předložených informací o teplotním průběhu v místnosti. Tato čidla se umístí v místnosti podle navržené sítě a provede se průzkumné měření po předem definovanou dobu (např. jeden týden).

Pokud si naměřené hodnoty budou navzájem „podobné“ a blízké jejich průměrné hodnotě, znamená to, že měření lze považovat za reprezentativní a počet čidel n za dostatečný nebo dokonce zbytečně velký, protože změřený průběh teploty se nevyznačuje nereálnými nebo neočekávanými hodnotami a zvolený počet čidel je schopný doopravdy změřit průměrnou teplotu místnosti.

Budou-li se hodnoty změřené průzkumným měřením vyznačovat neočekávaným nerovnoměrným rozložením ve změřeném teplotním rozmezí, nebo budou-li obsahovat ve větší míře zdánlivě náhodné hodnoty, které se výrazně liší od průměrné naměřené hodnoty, je počet n příliš malý, pravděpodobně nedošlo k dostatečnému uvážení a odhadu faktorů působících na teplotní rozložení a je potřeba počet čidel zvýšit, aby nedošlo k zanedbání některého důležitého teplotního jevu v místnosti.

Je zřejmé, že je nutné definovat hranici, kdy jsou si naměřené hodnoty dostatečně „podobné“ a měření už lze považovat za reprezentativní. Dále je třeba vhodně volit, dostatečný počáteční počet n čidel, aby bylo možné pomocí průzkumného měření skutečně zachytit případné výrazné výkyvy v hodnotách teplot. Užitečné by mohlo být provést více průzkumných měření pro různé počty n čidel a výsledky porovnat.

4.8.2 Charaktery místností

Podarí-li se vytvořit způsob, jak rozdělit jednotlivé místnosti budovy do skupin s podobným charakterem průběhu vnitřní teploty, podstatně se zefektivní celý průběh měření. Bude například možné přiřadit počet teplotních čidel a jejich rozmístění pro jednotlivé charaktery místností. Za určitých podmínek (totožný otopný systém, shodná orientace vnějších stěn, podobná velikost ploch ochlazovaných konstrukcí, stejná výška) by mohla být dokonce měřena vždy jedna místnost „za charakter“ s tím, že teploty v ostatních místnostech spadajících pod stejný charakter budou se stanovenou přesností stejné.

Jsou předloženy návrhy na dva přístupy k rozdělení místností do skupin podle jejich teplotního charakteru a prakticky bude pravděpodobně nejvhodnější použít kombinaci těchto dvou kritérií.

Podle způsobu vytápění

Podle způsobu vytápění se nabízí rozdělení místností v první řadě podle toho, zda použitý otopný systém je převážně konvekční nebo sálavý. Dalším hlediskem je způsob vnitřního uspořádání místnosti podle velikosti ploch vnějších konstrukcí a oken vzhledem k umístění a velikosti otopného tělesa nebo otopné plochy.

Konvekční x sálavé x teplovzdušné vytápění: Konvekční způsob vytápění se bude vyznačovat výrazným teplotním gradientem, který bude největší v blízkosti vnější konstrukce s oknem a otopným tělesem a s rostoucí vzdáleností od této konstrukce se bude snižovat. Je tedy nutné především uvažovat nerovnoměrné teplotní rozložení v blízkosti konvekčních otopných ploch, které se bude výrazně lišit od průběhu teplot ve zbylých částech místnosti. Je otázkou, zda a do jaké míry zahrnout do průměrné teploty místnosti i zvýšenou teplotu vzduchu v okolí otopného tělesa nebo jestli bude naopak lepší měřit ve vzdálenosti od tělesa, kde se horizontální teplotní průběh již ustálí. Tato vzdálenost bude do velké míry určena teplotou otopné plochy tělesa.

U sálavého vytápění bude teplotní průběh vyrovnanější než u konvekčních způsobů, což by mělo znamenat menší počet čidel pro reprezentativní měření, nicméně velkoplošné vytápění hůře kompenzuje chladné klesající proudy od oken a vnějších konstrukcí a lze očekávat výrazné snížení teploty v jejich okolí.

U teplovzdušného vytápění záleží především na umístění přívodních a odvodních prvků a na teplotě a rychlosti přiváděného vzduchu. Pokud je přívodní rychlost dostatečná, dojde k rychlému promísení vzduchu, což bude mít příznivý vliv na rovnoměrnost teplotního rozložení. Je ovšem třeba dbát na to, aby čidla nebyla umístěná v proudě vzduchu. Podobně jako u velkoplošného vytápění je nutné uvážit, zda umístění přívodního prvku bude kompenzovat chladné proudy od vnějších konstrukcí.

Optimální x nestandardní návrh otopného systému nebo netypické uspořádání místnosti: Obecně lze uvažovat, že pokud je otopný systém správně a optimálně navržen, je možné počítat s rovnoměrným teplotním průběhem v horizontálním směru a přibližně lineárním průběhem ve směru vertikálním ve většině prostoru místnosti. Za typickou standardní místnost se považuje ta, která má jednu ochlazovanou konstrukci obsahující okenní plochu a přibližně obdélníkový nebo čtvercový půdorys.

Za nestandardní okolnosti způsobující nepravidelný teplotní profil v horizontálním i vertikálním směru lze považovat především umístění konvekčního otopného tělesa jinam než k ochlazované ploše pod okno, dále větší počet stěn přiléhajících k nevytápěným prostorům (obecně k prostorům o výrazně rozdílných teplotách vzduchu), jiný než obdélníkový půdorys místnosti apod. U takovýchto místností je nutné úměrně zvýšit počet čidel, kvůli těžko předvídatelnému rozložení teplot v místnosti.

Podle využití místnosti

Místnosti lze také rozdělit na základě typických očekávaných tepelných zisků souvisejících i nesouvisejících s otopnou soustavou. Návrh rozdělení místností pro obytný dům je uveden v tab. 4.5 i s typickými charakteristikami a rozhodujícími kritérii. Pro každý z uvedených charakterů lze předpokládat do určité míry opakování povahy teplotního rozložení a tomu přizpůsobit počet čidel a jejich rozmístění. Je důležité volit zařazení konkrétní místnosti ne pouze na základě jejího označení (pokoj, chodba atd.), ale zejména podle jejich konkrétních charakteristických vlastností naznačených v tab. 4.5.

Tabulka 4.5: Návrh rozdělení charakterů místností podle jejich využití

	Způsob vytápění	Zdroje tepelných zisků	Další vlastnosti	Nároky na měření
Pokoj	Standardní	Rovnoměrné, dlouhodobé	Dlouhodobý výskyt obyvatel a práce el. zařízení spojených s jejich činností (PC apod.)	Respektovat tepelné zisky v obytné zóně
Chodba	Nevytápěné	Bez výrazných tepelných zisků	Pouze krátkodobý výskyt obyvatel, bez pracujících el. zařízení	Uvážit zvýšený vliv odlišných teplot okolních prostor
Kuchyně	Standardní	Významné, krátkodobé	Vliv tepelných zisků od mnoha spotřebičů a vaření, odsávání vzduchu digestoři apod.	Čidla mimo lokální konvekční a ventilační proudy
Koupelna	Standardní/ nevytápěné	Krátkodobé	Malé prostory = rychlé rozložení zisků po celé místnosti, vliv ventilace	Riziko měření neodpovídajících teplotních výkyvů od lokálních zdrojů
Technická místnost	Nevytápěné	Dlouhodobé, rovnoměrné	Bez oken, kontinuální práce technických zařízení	Riziko měření neodpovídajících teplotních výkyvů od lokálních zdrojů

4.8.3 Měření vertikálního a horizontálního průběhu teplot

Protože v těsné blízkosti stěn místnosti dochází k náhlé výrazné změně teploty kvůli mechanismům přestupu tepla, proudění vzduchu podél ploch a dalším, je praktické neměřit příliš blízko stěnám, ale měřit v prostoru bez „okrajových zón“ ([77]). Tyto z měření vyloučené zóny by měly zaujímat malou část celkového objemu místnosti.

Nejvýhodnějším způsobem umístování čidel bude použití stojanů pro teplotní čidla. Umožňují měřit více čidly ve svislém směru v definovaných výškách a lze je snadno umístit do požadovaných bodů v půdorysu místnosti. Nevyžadují ani pevné upevnění v místnosti, a díky tomu bude jejich rozestavení a následné odstranění rychlé a nenáročné.

Vertikální průběh teplot

Na základě uváděných vertikálních profilů teplot je možné konstatovat, že mezi okrajovými zónami u podlahy a stropu je závislost teploty vzduchu na výšce v místnosti přibližně lineární. Díky této skutečnosti lze při měření teplot ve více známých výškách v jednom bodě půdorysu aplikovat metodu nejmenších čtverců (nebo jinou podobnou metodu), pomocí které se získá přímkou se směrnici a polohou vhodně vyvažující nelineárnost hodnot změřených bodů. Porovnáním změřených hodnot se získanou regresní přímkou bude možné určit spolehlivost daného měření pomocí příslušných statistických veličin. Z takto získaných a popsanych přímkou v různých místech místnosti pak lze například odečítat hodnoty pro střední výšku místnosti a z těch stanovit průměr. Lineární regrese je pro podobné účely již používána ([71], [75]).

Je tedy nutné umístit ve svislém směru nad sebe minimálně tři čidla v definovaných výškách a pokud možno tak, aby měřila kromě maximální a minimální hodnoty také lokální odchylky od ideálního lineárního průběhu způsobené například bodovými tepelnými zisky. Z tohoto důvodu bude pravděpodobně žádoucí použít více než tři čidla.

Horizontální průběh teplot

Pro rozmístění stojanů s čidly po místnosti je důležité zajistit, aby vytvořený průměr ze změřených hodnot byl ve své podstatě „vážený“ a reflektoval skutečný podíl jednotlivých hodnot teplot na celkové teplotě místnosti. Cílem je se vyvarovat situací, kdy například dva stojany ze čtyř budou měřit teploty blízko lokálních tepelných zdrojů, jejichž ovlivněné okolí ovšem zaujímá podstatně méně než polovinu prostoru místnosti. Výsledná získaná průměrná teplota by byla značně zkreslená a vůbec by neodpovídala skutečné průměrné teplotě vzduchu v místnosti. Z těchto důvodů je vhodné umístit stojany podle definované sítě v rovnoměrných vzájemných vzdálenostech po celé ploše místnosti. Pokud to vlivem překážek nebo místních tepelných zdrojů v místnosti nebude zcela možné, je nutné s tím počítat při vyhodnocení. Určení typu a hustoty sítě pro jednotlivé charakteristiky místností by mělo být předmětem průzkumných měření.

Závěr

Byla provedena rešerše způsobů používaných pro vyhodnocení energetické úspory při použití různých způsobů regulace otopné soustavy. Délky časových period, při kterých se sleduje regulace v reálné aplikaci, se pohybují od 1 dne až po celé topné sezóny v závislosti především na způsobu porovnávání regulací. Při použití denostupňové metody se volí pro referenční i novou regulaci jeden až několik měsíců se snahou o co nejpodobnější venkovní podmínky. Nutností je měřit kromě spotřeby energie na vytápění také vnitřní teplotu, aby se dalo zjistit, pokud by regulace nedotápěla nebo naopak přetápěla.

Způsob porovnání regulací zkoumaný v této práci je založený na použití denostupňové metody, která poskytuje jednoduchý způsob určení tepelné spotřeby otopných systémů. Výpočet tepelné ztráty pro tuto metodu by byl proveden buďto obálkovou metodou nebo podrobněji podle současně platné normy ČSN EN 12 831. Tyto jednotlivé výpočetní mechanismy byly proto teoreticky popsány spolu s jejich některými významnými charakteristikami a omezeními ovlivňujícími jejich reálné použití.

V současné praxi je jednou z největších nepřesností, kterou jsou zatíženy výpočty denostupňovou metodou a tepelné ztráty budovy, nejednoznačný způsob volby hodnot vnitřních výpočtových teplot a hodnot tepelně-technických vlastností budov. V závěrečné části byla proto zkoumána možnost změřit průměrnou teplotu vzduchu obecné místnosti. Byly popsány některé nejvýznamnější faktory ovlivňující rozložení teploty v místnosti, mezi které patří typ a parametry otopného systému, ventilace, vlastnosti konstrukcí, teploty okolních prostor a vnitřní tepelné zisky.

Podmínkou pro možnost stanovení skutečné energetické úspory je použití reálné vnitřní teploty budovy, která musí být s definovanou přesností změřena, nebo určena na základě měření. Protože není reálné pro získání průměrné vnitřní teploty měřit teplotu ve všech místech uvnitř řešené místnosti, je tedy třeba snížit počet měřených bodů takovým způsobem, aby stále co nejpřesněji udávaly skutečnou průměrnou vnitřní teplotu. Výsledná metodika měření by tedy měla udávat počet teplotních čidel a jejich umístění se zohledněním podílu jednotlivých změřených hodnot na hledané střední hodnotě. Kompletní návrh metodiky pro univerzální měření průměrné teploty vzduchu v místnosti ve velké míře přesahuje možnosti této práce, a proto byly na základě shromážděných informací alespoň rámcově navrženy možnosti přístupu k tvorbě metodiky měření. Jako perspektivní přístupy se jeví provedení průzkumných měření pro n čidel a zjednodušení aplikace metodiky pro obecnou místnost jejím přiřazením k definovanému „charakteru místnosti“ podle použitého otopného systému a způsobu využití místnosti.

Navrhovaná kombinace denostupňové metody a měření skutečných hodnot vnějších i vnitřních teplot umožňuje při porovnání regulací otopného systému respektovat vliv proměnlivých vnějších i vnitřních podmínek. Změřené skutečné hodnoty teplot vnitřního vzduchu v sobě odráží i působení tepelného výkonu otopné soustavy, tepelné zisky a další faktory, které je obtížné kompenzovat při použití výpočtových vnitřních teplot.

Literatura

- [1] GOYAL, SIDDHARTH, PRABIR BAROOAH A TIMOTHY MIDDELKOOP. Experimental study of occupancy-based control of HVAC zones. *Applied Energy* [online]. 2015, 140, 75-84 [cit. 2018-08-21]. DOI: 10.1016/j.apenergy.2014.11.064. ISSN 03062619. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306261914012331>
- [2] VÁŇA, ZDENĚK, JIŘÍ CIGLER, JAN ŠIROKÝ, EVA ŽÁČEKOVÁ A LUKÁŠ FERKL. Model-based energy efficient control applied to an office building. *Journal of Process Control* [online]. 2014, 24(6), 790-797 [cit. 2018-08-21]. DOI: 10.1016/j.jprocont.2014.01.016. ISSN 09591524. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959152414000407>
- [3] BROOKS, JONATHAN, SIDDHARTH GOYAL, RAHUL SUBRAMANY, YASHEN LIN, TIMOTHY MIDDELKOOP, LAURA ARPAN, LUCA CARLONI A PRABIR BAROOAH. An experimental investigation of occupancy-based energy-efficient control of commercial building indoor climate. In: *53rd IEEE Conference on Decision and Control* [online]. IEEE, 2014, 2014, s. 5680-5685 [cit. 2018-08-21]. DOI: 10.1109/CDC.2014.7040278. ISBN 978-1-4673-6090-6. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7040278/>
- [4] BENGEA, SORIN C., ANTHONY D. KELMAN, FRANCESCO BORRELLI, RUSSELL TAYLOR A SATISH NARAYANAN. Implementation of model predictive control for an HVAC system in a mid-size commercial building. *HVAC&R Research* [online]. 2014, 20(1), 121-135 [cit. 2018-08-21]. DOI: 10.1080/10789669.2013.834781. ISSN 1078-9669. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10789669.2013.834781>
- [5] ARGIRIOU, ATHANASSIOS A., IOANNIS BELLAS-VELIDIS, MICHAËL KUMMERT A PHILIPPE ANDRÉ. A neural network controller for hydronic heating systems of solar buildings. *Neural Networks* [online]. 2015, 140, 75-84 [cit. 2018-08-21]. DOI: 10.1016/j.apenergy.2014.11.064. ISSN 03062619.2004, 17(3), 427-440 [cit. 2018-08-21]. DOI: 10.1016/j.neunet.2003.07.001. ISSN 08936080. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0893608003002144>
- [6] VIOT, H., A. SEMPEY, L. MORA, J.C. BATSALE A J. MALVESTIO. Model predictive control of a thermally activated building system to improve energy management of an experimental building: Part II - Potential of predictive strategy. *Energy and Buildings* [online]. 2018, 172, 385-396 [cit. 2018-08-21]. DOI: 10.1016/j.enbuild.2018.04.062. ISSN 03787788. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778818311460>
- [7] ŠIROKÝ, JAN, JAN KUBEČEK A PETR KUDERA. Prediktivní řízení vytápění budov - pilotní aplikace. *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo, 2011, 15.6.2011, 15 [cit. 2018-08-21]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/7566-prediktivni-rizeni-vytapani-budov-pilotni-aplikace>
- [8] ŠIROKÝ, JAN, FRAUKE OLDEWURTEL, JIŘÍ CIGLER A SAMUEL PRÍVARA. Experimental analysis of model predictive control for an energy efficient building heating system. *Applied Energy* [online]. 2011, 88(9), 3079-3087 [cit. 2018-08-21]. DOI: 10.1016/j.apenergy.2011.03.009. ISSN 03062619. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306261911001668>

- [9] PRÍVARA, SAMUEL, ZDENĚK VÁŇA, JIŘÍ CIGLER, FRAUKE OLDEWURTEL A JOSEF KOMÁREK. Role of MPC in Building Climate Control. *21st European Symposium on Computer Aided Process Engineering* [online]. Elsevier, 2011, 2011, s. 728-732 [cit. 2018-08-21]. Computer Aided Chemical Engineering. DOI: 10.1016/B978-0-444-53711-9.50146-2. ISBN 9780444538956. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780444537119501462>
- [10] CIGLER, JIRI A SAMUEL PRIVARA. Subspace identification and model predictive control for buildings. In: *2010 11th International Conference on Control Automation Robotics & Vision* [online]. IEEE, 2010, 2010, s. 750-755 [cit. 2018-08-21]. DOI: 10.1109/ICARCV.2010.5707821. ISBN 978-1-4244-7814-9. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5707821/>
- [11] DAHLBLOM, MATS, BIRGITTA NORDQUIST A LARS JENSEN. Evaluation of a feedback control method for hydronic heating systems based on indoor temperature measurements. *Energy and Buildings* [online]. 2018, 166, 23-34 [cit. 2018-08-21]. DOI: 10.1016/j.enbuild.2018.01.013. ISSN 03787788. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778818301816>
- [12] LINDELÖF, DAVID, HOSSEIN AFSHARI, MOHAMMAD ALISAFABEE, JAYANT BISWAS, MIROSLAV CABAN, XAVIER MOCELLIN A JEAN VIAENE. Field tests of an adaptive, model-predictive heating controller for residential buildings. *Energy and Buildings* [online]. 2015, 99, 292-302 [cit. 2018-08-21]. DOI: 10.1016/j.enbuild.2015.04.029. ISSN 03787788. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S037877881500328X>
- [13] KRAUSS, JENS A MANUEL BAUER. NEUROBAT – a self-commissioned heating control system. *Sensors Application* [online]. Wiley-VCH, 2001, 2 [cit. 2018-08-21]. Dostupné z: <https://pdfs.semanticscholar.org/ed3a/c3af8b26a711455a9b5552bbe9e2b5a60add.pdf>
- [14] GRANDERSON, JESSICA, GUANJING LIN, RUPAM SINGLA, SAMUEL FERNANDES A SAMIR TOUZANI. Field evaluation of performance of HVAC optimization system in commercial buildings. *Energy and Buildings* [online]. 2018, 173, 577-586 [cit. 2018-08-21]. DOI: 10.1016/j.enbuild.2018.05.048. ISSN 03787788. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778818302305>
- [15] CHO, S.H A M ZAHEER-UDDIN.. Predictive control of intermittently operated radiant floor heating systems. *Energy Conversion and Management* [online]. 2003, 44(8), 1333-1342 [cit. 2018-08-21]. DOI: 10.1016/S0196-8904(02)00116-4. ISSN 01968904. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0196890402001164>
- [16] HENZE, GREGOR, DOREEN KALZ, SIMENG LIU A CLEMENS FELSMANN. Experimental Analysis of Model-Based Predictive Optimal Control for Active and Passive Building Thermal Storage Inventory. *HVAC&R Research* [online]. 2005, 11(2), 189-213 [cit. 2018-08-21]. DOI: 10.1080/10789669.2005.10391134. ISSN 1078-9669. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10789669.2005.10391134>
- [17] MICHAILIDIS, IAKOVOS T., THOMAS SCHILD, ROOZBEH SANGI, PANAGIOTIS MICHAELIDIS, CHRISTOS KORKAS, JOHANNES FÜTTERER, DIRK MÜLLER A ELIAS B. KOSMATOPOULOS. Energy-efficient HVAC management using cooperative, self-trained, control agents: A real-life German building case study. *Applied Energy* [online]. 2018, 211, 113-125 [cit. 2018-08-21]. DOI: 10.1016/j.apenergy.2017.11.046. ISSN 03062619. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306261917316318>
- [18] RUANO, A., S. PESTEH, S. SILVA, H. DUARTE, G. MESTRE, P.M. FERREIRA, H. KHOSRAVANI A R. HORTA. PVM-based intelligent predictive control of HVAC systems. *IFAC-PapersOnLine* [online]. 2018, 173, 577-586 [cit. 2018-08-21]. DOI: 10.1016/j.enbuild.2018.05.048. ISSN 03787788. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2405896316303469>

- [19] MOREL, NICOLAS, MANUEL BAUER, MARIO EL-KHOURY A JENS KRAUSS. NEUROBAT, A PREDICTIVE AND ADAPTIVE HEATING CONTROL SYSTEM USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS. *International Journal of Solar Energy* [online]. 2007, 21(2-3), 161-201 [cit. 2018-08-21]. DOI: 10.1080/01425910108914370. ISSN 0142-5919. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01425910108914370>
- [20] SAYADI, SAEED, GEORGE TSATSARONIS A TATIANA MOROSUK. Reducing the Energy Consumption of HVAC Systems in Buildings by Using Model Predictive Control. *Conference: CLIMA* [online]. Aalborg: REHVA World Congress, 2016, 12 [cit. 2018-08-21]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/303522763_Reducing_the_Energy_Consumption_of_HVAC_Systems_in_Buildings_by_Using_Model_Predictive_Control
- [21] KOLOKOTSA, D., K. NIACHOU, V. GEROS, K. KALAITZAKIS, G.S. STAVRAKAKIS A M. SANTAMOURIS. Implementation of an integrated indoor environment and energy management system. *Energy and Buildings* [online]. 2005, 37(1), 93-99 [cit. 2018-08-21]. DOI: 10.1016/j.enbuild.2004.05.008. ISSN 03787788. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778804001677>
- [22] LIU, SIMENG A GREGOR P. HENZE. Experimental analysis of simulated reinforcement learning control for active and passive building thermal storage inventory. *Energy and Buildings* [online]. 2006, 38(2), 148-161 [cit. 2018-08-21]. DOI: 10.1016/j.enbuild.2005.06.001. ISSN 03787788. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778805000861>
- [23] STURZENEGGER, DAVID, DIMITRIOS GYALISTRAS, MANFRED MORARI A ROY S. SMITH. Model Predictive Climate Control of a Swiss Office Building: Implementation, Results, and Cost-Benefit Analysis. *IEEE Transactions on Control Systems Technology* [online]. 2016, 24(1), 1-12 [cit. 2018-08-21]. DOI: 10.1109/TCST.2015.2415411. ISSN 1063-6536. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7087366/>
- [24] GWERDER, MARKUS, STEFAN BOETSCHI A DIMITRIOS GYALISTRAS. Integrated Predictive Rule-Based Control of a Swiss Office Building. *Conference: CLIMA* [online]. REHVA World Congress, 2013, 11 [cit. 2018-08-21]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/266019741_Integrated_Predictive_Rule-Based_Control_of_a_Swiss_Office_Building
- [25] LOMAS, K.J., S. OLIVEIRA, P. WARREN, V.J. HAINES, T. CHATTERTON, A. BEIZAEE, E. PRESTWOOD A B. GETHING. Do domestic heating controls save energy? A review of the evidence. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. 2018, 93, 52-75 [cit. 2018-08-21]. DOI: 10.1016/j.rser.2018.05.002. ISSN 13640321. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032118303381>
- [26] BLAŽÍČEK, JAN. Šetříme teplo, nebo si jen lžeme do kapsy – 2. Část. *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo, 2016, 29.2.2016, 20(9) [cit. 2018-08-21]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/uspory-vytapani/13851-setrime-teplo-nebo-si-jen-lžeme-do-kapsy-2-cast>
- [27] GYALISTRAS, DIMITRIOS A MARKUS GWERDER. Use of Weather and Occupancy Forecasts For Optimal Building Climate Control (OptiControl): Two Years Progress Report. *Terrestrial Systems Ecology ETH Zurich, Switzerland and Building Technologies Division, Siemens Switzerland Ltd., Zug, Switzerland* [online]. 2010 [cit. 2018-08-21]. ISBN 978-3-909386-37-6. Dostupné z: <http://www.sysecol2.ethz.ch/publications/pdfs/Gy028.pdf>
- [28] CIHELKA, JAROMÍR. *Vytápění, větrání a klimatizace*. 3., přeprac. a dopln. vyd. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1985.

- [29] TINTĚRA, LADISLAV. Denostupně - teorie k výpočetní pomůcce. *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo, 2005, 11.7.2005 [cit. 2018-09-13]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/teorie-a-schemata/2592-denostupne-teorie-k-vypocetni-pomucce>
- [30] BLAŽÍČEK, JAN. Šetříme teplo, nebo si jen lžeme do kapsy? – 1. část. *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo, 2016, 22.2.2016 [cit. 2018-09-13]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/uspory-vytapani/13805-setrime-teplo-nebo-si-jen-lžeme-do-kapsy-1-cast>
- [31] JANČÍK, LUDĚK. Vytápění nízkoenergetického domu. *Topenářství+instalace: Časopis pro vytápění, instalace, vzduchotechniku a ekologii*. Praha: Technické vydavatelství Praha, 2005, 39(5), 62-65. ISSN 1211-0906.
- [32] VAVŘIČKA, ROMAN. Vytápění: Výpočet potřeby tepla a paliva, denostupňová metoda. *Intelligentní budovy* [online]. Praha: ČVUT v Praze, c2016 [cit. 2018-09-13]. Dostupné z: http://ib.fel.cvut.cz/sites/default/files/Studijni_materialy/VYT/VYT_cv_2_2011_oppa.pdf
- [33] HODBOŇ, JOSEF. Spotřeba tepla a denostupně. *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo, 2017, 9.3.2017 [cit. 2018-09-13]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/15468-spotreba-tepla-a-denostupne>
- [34] GALÁD, VLADIMÍR. Porovnávání nákladů na vytápění. *Topenářství+instalace: Časopis pro vytápění, instalace, vzduchotechniku a ekologii*. Praha: Technické vydavatelství Praha, 2005, 39(6), 32-33. ISSN 1211-0906.
- [35] TINTĚRA, LADISLAV. Přepočet spotřeby paliva a průměrné teploty - představení nové výpočetní pomůcky. *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo, 2005, 4.7.2005 [cit. 2018-09-13]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/2586-prepocet-spotreby-paliva-a-prumerne-teploty-predstaveni-nove-vypocetni-pomucky>
- [36] RÁŽ, JIŘÍ. Panelové domy 4 – Průměrné tepelné zisky a ekonomika vytápění. *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo, 2012, 5.11.2012 [cit. 2018-09-13]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/9243-panelove-domy-4-prumerne-tepelne-zisky-a-ekonomika-vytapani>
- [37] GALÁD, VLADIMÍR. Patří denostupňová metoda do archivu?. *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo, 2016, 13.6.2016 [cit. 2018-09-13]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/14332-patri-denostupnova-metoda-do-archivu>
- [38] HOWELL, RONALD H, WILLIAM J COAD A HARRY J SAUER. *Principles of heating ventilating and air conditioning: a textbook with design data based on the 2013 ASHRAE handbook fundamentals*. 7th edition. Atlanta, GA: ASHRAE, [2013]. ISBN 978-1-936504-57-2.
- [39] RÁŽ, JIŘÍ. Kombinovaná regulace ústředního vytápění a úspory tepla – 2. část. *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo, 2016, 15.8.2016 [cit. 2018-09-13]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/14557-kombinovana-regulace-ustredniho-vytapani-a-uspory-tepla-2-cast>
- [40] ŠIROKÝ, JAN, JAN KUBEČEK A PETR KUDERA. Prediktivní řízení vytápění budov - pilotní aplikace. *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo, 2011, 15.6.2011 [cit. 2018-09-13]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/7566-prediktivni-rizeni-vytapani-budov-pilotni-aplikace>
- [41] HUDCOVÁ, LENKA. *Energetická náročnost budov: základní pojmy a platná legislativa*. Praha: EkoWATT, 2009. ISBN 978-80-87333-03-7.
- [42] POČINKOVÁ, MARCELA A LEA TREUOVÁ. *Vytápění*. Brno: Computer Press, 2011. Stavíme. ISBN 978-80-251-3329-3.
- [43] POČINKOVÁ, MARCELA. Vytápění. *Ústav technických zařízení budov* [online]. Brno: Fakulta stavební, VUT v Brně, c2018 [cit. 2018-09-20]. Dostupné z: https://www.fce.vutbr.cz/TZB/pocinkova.m/vytapani.soubory/BT01_C2.pdf

- [44] KABELE, KAREL. Energetické systémy budov. *Katedra TZB* [online]. Praha: Fakulta stavební, ČVUT v Praze, 2008 [cit. 2018-09-19]. Dostupné z: http://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125esb1,125esbb/soubory/esb1_0809_cele.pdf
- [45] Vnitřní výpočtové teploty dle ČSN EN 12831 a doporučené relativní vlhkosti vzduchu dle ČSN 06 0210. *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo, c2018 [cit. 2018-09-19]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/28-vnitri-vypoctove-teploty-dle-csn-en-12831-a-doporucene-relativni-vlhkosti-vzduchu-dle-csn-06-0210>
- [46] Venkovní výpočtové teploty a otopná období dle lokalit. *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo, c2018 [cit. 2018-09-19]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/25-venkovni-vypoctove-teploty-a-otopna-obdobi-dle-lokalit>
- [47] VACHULKA, FRANTIŠEK A JINDŘICH BISKUP. *Ústřední vytápění rodinných domků*. 2., upr. vyd. Praha: Arch, 1990. RD - příručky. ISSN 0862-7827.
- [48] HLADÍK, JAN et al. *Rukověť provozovatele tepelných zařízení*. Brno: CTI - Cech topenářů a instalatérů ČR, 2001. ISBN 80-86208-11-7.
- [49] RÁŽ, JIŘÍ. Úspory tepla skutečné, domnělé a matoucí. *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo, 2011, 12.12.2011 [cit. 2018-09-19]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/uspory-vytapani/8112-uspory-tepla-skutecne-domnele-a-matouci>
- [50] ČSN 73 0540-4. *Tepelná ochrana budov - Část 4: Výpočtové metody*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.
- [51] ČSN EN 12831-1. *Energetická náročnost budov - Výpočet tepelného výkonu - Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3-3*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- [52] POČINKOVÁ, MARCELA. Vytápění: Přednáška č.2. *Ústav technických zařízení budov* [online]. Brno: Fakulta stavební, VUT v Brně, c2018 [cit. 2018-09-20]. Dostupné z: https://www.fce.vutbr.cz/TZB/pocinkova.m/vytapani_soubory/BT01_P2.pdf
- [53] GREGORA, JAKUB. Efektivita podlahového topení na úrovni 21. století. *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo, 17.5.2013 [cit. 2018-11-01]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/podlahove-vytapani/9915-efektivita-podlahoveho-topeni-na-urovni-21-stoleti>
- [54] VALENTA, VLADIMÍR, ČESKÉ SDRUŽENÍ PRO TECHNICKÁ ZAŘÍZENÍ A CECH TOPENÁŘŮ A INSTALATÉRŮ ČESKÉ REPUBLIKY.. *Topenářská příručka*. 1. vyd. Praha: Agentura ČSTZ, 2007. ISBN 9788086028132.
- [55] STRAKA, RUDOLF D. *Příručka pro topiče nízkotlakových kotlů*. 2. uprav. vyd. Praha: Nakladatelství techn. lit, 1984.
- [56] BAŠTA, JIŘÍ. Velkoplošné vytápění (I): Úvod do problematiky. *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo, 26.6.2006 [cit. 2018-11-01]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/3383-velkoplosne-vytapani-i>
- [57] BAŠTA, JIŘÍ. Otopné plochy - úvod do problematiky: Teplotnické chování otopné plochy a pohoda prostředí. *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo, 10.2.2006 [cit. 2018-11-01]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/otopne-plochy/3052-otopne-plochy-uvod-do-problematiky>
- [58] BAŠTA, JIŘÍ. *Otopné plochy - otopná tělesa*. 2. přepracované vydání. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2016. ISBN 978-80-01-05943-2.

- [59] BAŠTA, JIŘÍ. Vytápěný prostor a varianty návrhu otopných těles. *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo, 28.9.2009 [cit. 2018-11-01]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/otopne-plochy/5936-vytapeny-prostor-a-varianty-navrhu-otopnych-teles>
- [60] BEROUNSKÝ, VÁCLAV. *Vliv základních typů otopných těles na tepelné účinky vytápěného prostoru*. Praha: b. t., 1964.
- [61] Elektrické vytápění v energeticky úsporném rodinném domě (III): Reálné zkušenosti s vytápěním a jeho vliv na vnitřní prostředí energeticky úsporného domu v Moravanech u Brna. *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo, 23.9.2011 [cit. 2018-11-01]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/vytapimelektρινou/7856-elekticke-vytapani-v-energeticky-uspornem-rodinnem-dome-iii>
- [62] Větrací jednotky s cirkulací pro chlazení a vytápění EPD, RD. *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo, 17.8.2017 [cit. 2018-11-01]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vzduchotechnicka-zarizeni/16139-vetraci-jednotky-s-cirkulaci-pro-chlazen-i-a-vytapani-epd-rd>
- [63] ŠTĚCHOVSKÝ, JAROSLAV. *Vytápění pro 3. a 4. ročník SPŠ stavebních*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství techn. lit., 1987.
- [64] BAŠTA, JIŘÍ. Umisťování otopných těles ve vytápěném prostoru. *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo, 17.12.2007 [cit. 2018-11-01]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/4550-umistovani-otopnych-teles-ve-vytapenem-prostoru>
- [65] KOSONEN, RISTO, NATALIA LASTOVETS, PANU MUSTAKALLIO, GUILHERME CARRILHO DA GRAÇA, NUNO M. MATEUS A MARKO ROSENQVIST. The effect of typical buoyant flow elements and heat load combinations on room air temperature profile with displacement ventilation. *Building and Environment* [online]. 2016, 108, 207-219 [cit. 2018-11-01]. DOI: 10.1016/j.buildenv.2016.08.037. ISSN 03601323. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132316303390>
- [66] GRAHAM, G. Teplotní gradient nízkovýkonného stropního vytápění Ecofilm v nízkenergetických domech. *Fenix* [online]. Jeseník: Fenix Group, květen 2011 [cit. 2018-11-01]. Dostupné z: <https://www.fenixgroup.cz/cs/aktuality/teplotni-gradient-nizkovykonneho-stropniho-vytapani-ecofilm-v-nizkoenergeticky-domech>
- [67] KALEMA, TIMO A TAPIO HAAPALA. Effect of interior heat transfer coefficients on thermal dynamics and energy consumption. *Energy and Buildings* [online]. 1995, 22(2), 101-113 [cit. 2018-11-01]. DOI: 10.1016/0378-7788(94)00907-2. ISSN 03787788. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0378778894009072>
- [68] CIHLÁŘ, JIŘÍ A JAROSLAV FIALA. *Technická zařízení budov: cvičení a projekt*. 7. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 1984.
- [69] VAVŘIČKA, ROMAN. Vytápění: Výpočet potřeby tepla a paliva, denostupňová metoda. *Intelligentní budovy* [online]. Praha: ČVUT v Praze, c2016 [cit. 2018-11-01]. Dostupné z: http://ib.fel.cvut.cz/sites/default/files/Studijni_materialy/VYT/VYT_cv_2.2011_oppa.pdf
- [70] ALZETTO, FLORENT, GUILLAUME PANDRAUD, RICHARD FITTON, INGO HEUSLER A HERBERT SINNESBICHLER. QUB: A fast dynamic method for in-situ measurement of the whole building heat loss. *Energy and Buildings* [online]. 2018, 174, 124-133 [cit. 2018-11-01]. DOI: 10.1016/j.enbuild.2018.06.002. ISSN 03787788. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S037877881831716X>
- [71] GIANNIOU, PANAGIOTA, CHRISTOPH REINHART, DAVID HSU, ALFRED HELLER A CARSTEN RODE. Estimation of temperature setpoints and heat transfer coefficients among residential buildings in Denmark based on smart meter data. *Building and Environment* [online]. 2018, 139, 125-133 [cit. 2018-11-01]. DOI: 10.1016/j.buildenv.2018.05.016. ISSN 03601323. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132318302762>

- [72] MAREŠ, LUDĚK. Teplota a její měření. *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo, 6.3.2006 [cit. 2018-11-01]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/3115-teplota-a-jeji-mereni>
- [73] KUHN, LUDVÍK A JOSEF JENČÍK. *Technická měření ve strojnictví*. Praha: SNTL, 1982. Technický průvodce (SNTL).
- [74] QUINN, ASHLINN A JEFFREY SHAMAN. Indoor temperature and humidity in New York City apartments during winter. *Science of The Total Environment* [online]. 2017, 583, 29-35 [cit. 2018-11-01]. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.12.183. ISSN 00489697. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969716328790>
- [75] MAGALHÃES, SARA M.C., VÍTOR M.S. LEAL A ISABEL M. HORTA. Predicting and characterizing indoor temperatures in residential buildings: Results from a monitoring campaign in Northern Portugal. *Energy and Buildings* [online]. 2016, 119, 293-308 [cit. 2018-11-01]. DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.03.064. ISSN 03787788. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778816302201>
- [76] WANG, ZHAOJUN, QINGWEN XUE, YUCHEN JI A ZHIYI YU. Indoor environment quality in a low-energy residential building in winter in Harbin. *Building and Environment* [online]. 2018, 135, 194-201 [cit. 2018-11-01]. DOI: 10.1016/j.buildenv.2018.03.012. ISSN 03601323. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132318301410>
- [77] HUAN, CHAO, FENGHAO WANG, XIAOZHOU WU, ZHANG LIN, ZHENJUN MA A ZHIHUA WANG. Development of a nodal model for predicting the vertical temperature profile in a stratum-ventilated room. *Energy and Buildings* [online]. 2018, 159, 99-108 [cit. 2018-11-01]. DOI: 10.1016/j.enbuild.2017.10.084. ISSN 03787788. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778816310957>

Seznam obrázků

1.1	Nákres testovací budovy, Energy Resource Station (ERS) [16]	12
1.2	Budova ČVUT; křížové porovnání bylo provedeno na blocích B1 a B2 [9]	13
1.3	Denní profily obsazenosti kancelářských prostor ve vztahu k počtu osob (vlevo) a k činnosti zařízení (vpravo) [27]	14
1.4	Venkovní teploty (horní grafy) a relativní vlhkost (dolní grafy) při měření spotřeby referenční (levé grafy) a nové (pravé grafy) regulace; šedé oblasti označují víkendy, které nebyly zahrnuty do porovnání [4]	16
1.5	Dny se srovnatelnými průběhy venkovních teplot (červeně nová regulace) [4]	16
1.6	Energetická stopa budovy referenční (plná čára) a nové (přerušovaná čára) regulace [12]	17
3.1	Podíl ploch jednotlivých typů konstrukcí na součtu všech ploch budovy (vlevo) a jejich podíl na tepelné ztrátě prostupem (vpravo) [41]	23
3.2	Vymezení obálky budovy – vnější obrys vytápěné zóny [43]	25
3.3	Charakteristika energeticky významných údajů ochlazovaných konstrukcí pro tepelnou ztrátu prostupem [43]	27
4.1	Vertikální teplotní profil místnosti s různými systémy vytápění: a) ideální profil, b) radiátorové vytápění, c) podlahové vytápění [53]	31
4.2	Podíl tepla sdíleného sáláním Q_z v závislosti na rozdílu teplot ($t_{wm}-t_D$) [57]	32
4.3	Vertikální teplotní profil při vytápění deskovým otopným tělesem s různými parametry: a) $H = 920\text{ mm}$, $L = 1500\text{ mm}$, $t_m = 82,0\text{ }^\circ\text{C}$, $t_{okna} = 5,9\text{ }^\circ\text{C}$ b) $H = 920\text{ mm}$, $L = 1500\text{ mm}$, $t_m = 53,9\text{ }^\circ\text{C}$, $t_{okna} = 12,9\text{ }^\circ\text{C}$ c) $H = 495\text{ mm}$, $L = 2500\text{ mm}$, $t_m = 57,5\text{ }^\circ\text{C}$, $t_{okna} = 11,5\text{ }^\circ\text{C}$ [58]	33
4.4	Teplotní pole ve vertikálním řezu středem místnosti: šířka okna $1,6\text{ m}$, délka otopné plochy $0,9\text{ m}$ (vlevo) nebo $1,6\text{ m}$ (vpravo) [59]	33
4.5	Proudění vzduchu v uzavřeném vytápěném prostoru s otopným tělesem pod ochlazovanou plochou [58]	33
4.6	Vertikální teplotní profil ve středu místnosti pro různé umístění otopných těles [59]	34
4.7	Rozložení místnosti a míst měření teploty vzduchu [60]	35
4.8	Vertikální průběh teploty vzduchu ve vytápěné místnosti při jejím různém způsobu vytápění: I. ideální průběh, II. podlahové vytápění s ochlazovaným stropem, III. článkové otopné těleso, IV. stropní vytápění [56]	36
4.9	Proudění vzduchu v prostoru vytápěném podlahovou otopnou plochou [58]	36
4.10	Graf teploty vzduchu v místnosti s podlahovým (růžová) a stropním (modrá) vytápěním [61]	37
4.11	Proudění vzduchu v místnosti s teplovzdušným vytápěním (vs – vnější stěna, tp – teplotní profil, H – výška místnosti): a) přívod vzduchu pod stropem u vnitřní stěny, b) přívod vzduchu v podlaze u venkovní stěny [57]	37
4.12	Rozložení teploty v místnosti: a) teplovzdušné vytápění s horním přívodem; b) teplovzdušné vytápění se spodním přívodem [62]	38

4.13	Horizontální průběh teploty vzduchu ve vytápěné místnosti při jejím různém způsobu vytápění: I. ideální průběh, II. podlahové vytápění s ochlazeným stropem, III. článkové otopné těleso, IV. stropní vytápění [56]	39
4.14	Srovnání teplotních polí ve vertikálním řezu středem místnosti pro různé velikosti a umístění těles: vlevo nahoře – kratší pod oknem, vpravo nahoře – kratší naproti, vlevo dole – delší pod oknem, vpravo dole – kratší ne vedlejší stěně [59]	39
4.15	Rozložení teplot pro různé otopné systémy podle Cihelky: A) článkové otopné těleso, B) konvektor, C) kachlová kamna, D) teplovzdušné vytápění [28]	41
4.16	Vertikální rozložení teploty pro různé hodnoty infiltrace n – otopné těleso pod oknem [64]	42
4.17	Vertikální rozložení teploty pro různé hodnoty infiltrace n – otopné těleso u vnitřní protilehlé stěny [64]	42
4.18	Vertikální rozložení teploty pro různé hodnoty infiltrace n – otopné těleso u vnitřní boční stěny [64]	43
4.19	Tvar teplotního a rychlostního profilu u okna [58]	43
4.20	Rychlostní profil získaný na základě měření u okenní plochy [58]	44
4.21	Teplotní profil získaný na základě měření u okenní plochy [58]	45
4.22	Umístění teplotních senzorů (P1 – P4) a simulovaných zdrojů tepla (osoba: kruh 1 – 12, počítač: čtverec 1 – 6, teplá podlaha a strop: přerušovaný obdélník) [65]	47
4.23	Teplotní profil od vertikálních plošných zdrojů o různé výšce [65]	48
4.24	Teplotní profil od plošného zdroje v úrovni podlahy o různých výkonech [65]	48
4.25	Teplotní profil od plošného zdroje v úrovni stropu o různých výkonech [65]	48
4.26	Teplotní profil od 3, 6 a 12 sedících osob (vlevo) a od 3 a 6 počítačů (vpravo) [65]	49
4.27	Měření průměrné teploty vzduchu (žlutě) v místnosti [67]	49

Seznam tabulek

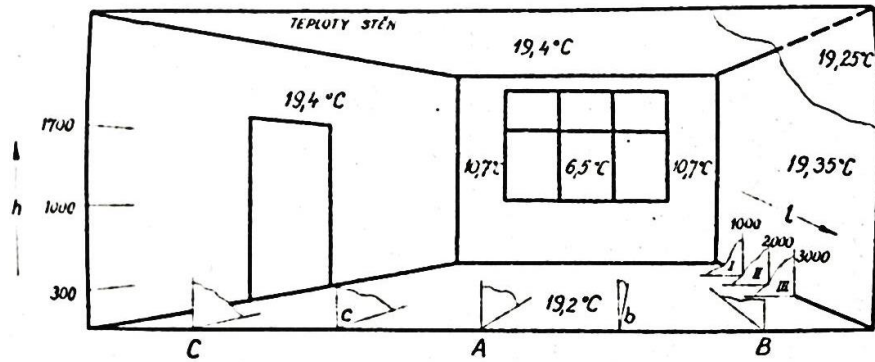
1.1	Postupné porovnání – podobné dny	10
1.2	Postupné porovnání – denostupňová metoda	10
1.3	Postupné porovnání – matematické metody	11
1.4	Souběžné porovnání	11
1.5	Křížové porovnání	13
1.6	Definice velikosti vnitřních tepelných zisků kancelářských prostor [27]	15
3.1	Značení použitých veličin podle [42]	24
3.2	Přirážka na tepelné mosty [42]	26
3.3	Vnitřní výpočtové teploty pro některé typy budov podle ČSN EN 12 831-1 [51]	27
3.4	Výpočtové teploty místností obytného domu podle ČSN EN 12 831 [45]	28
4.1	Změřené teploty na podélné ose místnosti ($b = 1,8 m$) pro různá konvekční otopná tělesa [60]	34
4.2	Vertikální průběhy teplot v příčném řezu ve vzdálenosti $0,5 m$ od okna: trojúhelník – výška od podlahy $1,7 m$, křížek – $1 m$, kolečko – $0,3 m$ [60]	35
4.3	Porovnání uváděných teplotních průběhů pro různé otopné systémy	40
4.4	Charakteristiky simulovaných vnitřních tepelných zdrojů [65]	46
4.5	Návrh rozdělení charakterů místností podle jejich využití	52

Přílohy

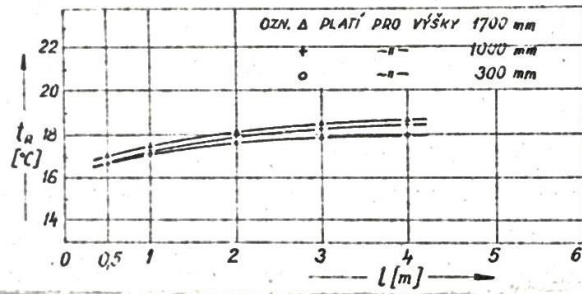
A Teplotní průběhy naměřené ve zkušební místnosti pro různá konvekční tělesa (Berounský, [60])

Bez otopného tělesa

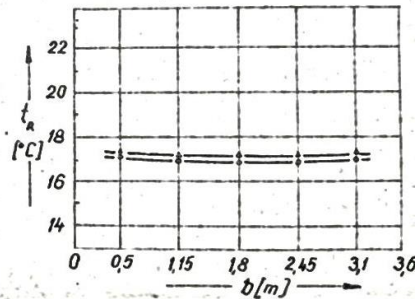
$Q_t = 0 \text{ kcal/h}$ $t_{rs} = 0^\circ\text{C}$ $t_{io} = 18,5^\circ\text{C}$ $F_t = 0 \text{ m}^2$



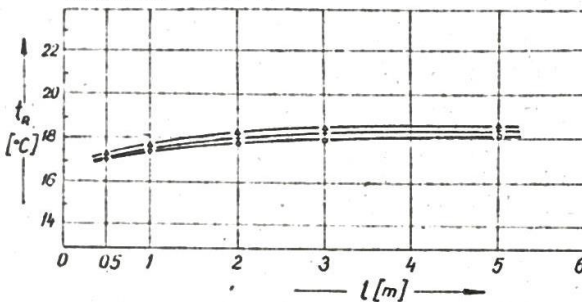
PODÉLNÝ ŘEZ A



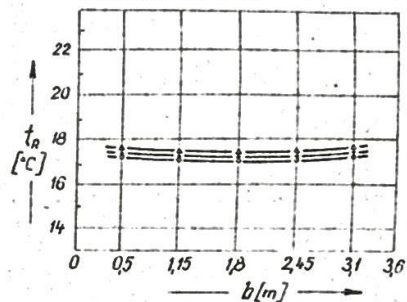
PŘÍČNÝ ŘEZ I



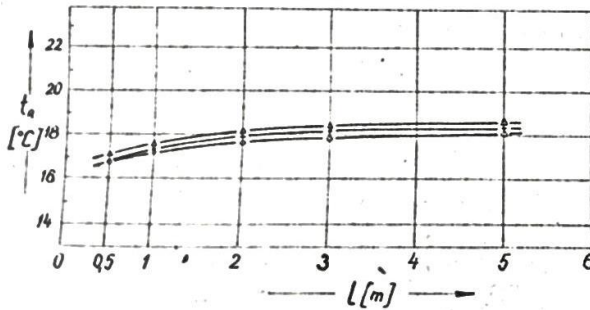
PODÉLNÝ ŘEZ B



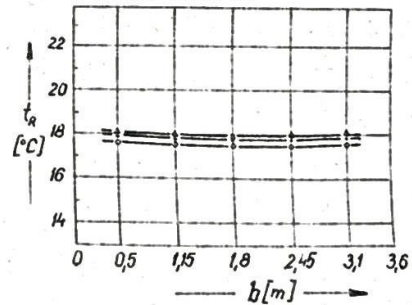
PŘÍČNÝ ŘEZ II



PODÉLNÝ ŘEZ C

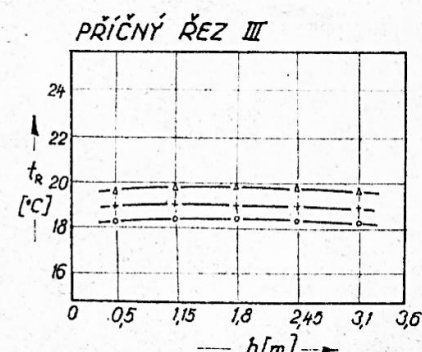
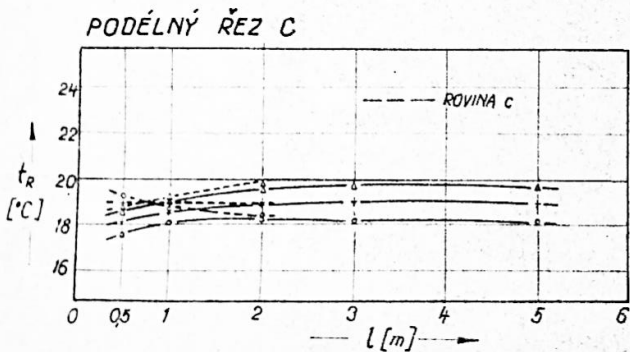
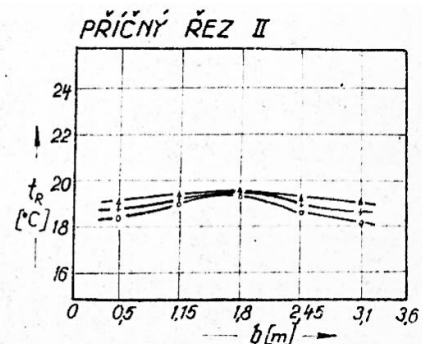
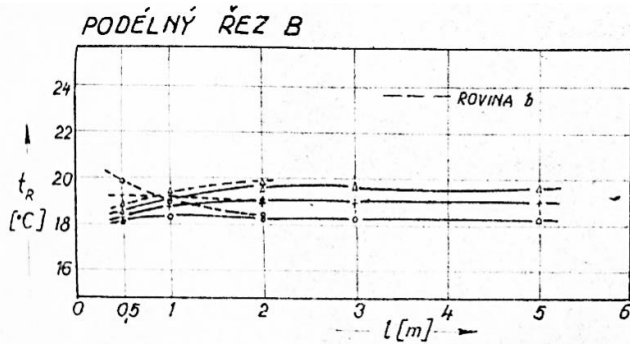
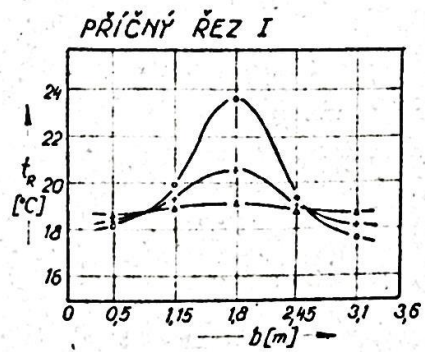
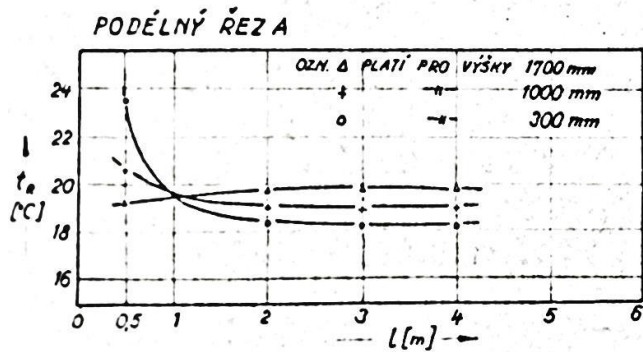
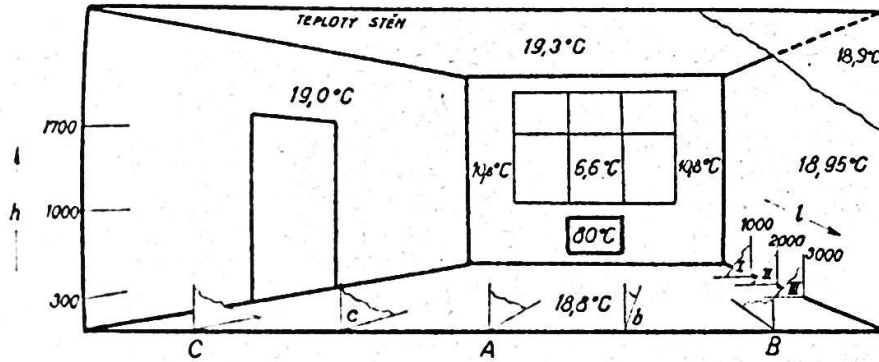


PŘÍČNÝ ŘEZ III



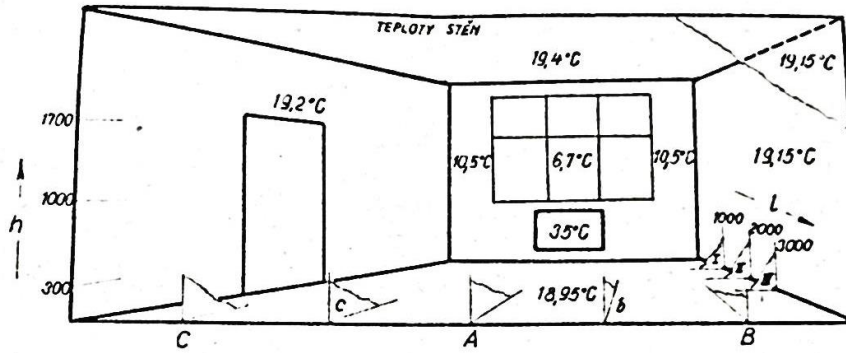
Článekové otopné těleso (radiátor)

$Q_t = 1190 \text{ kcal/h}$ $t_{zs} = 80,4^\circ\text{C}$ $t_{td} = 20,1^\circ\text{C}$ $F_t = 0,36 \text{ m}^2$

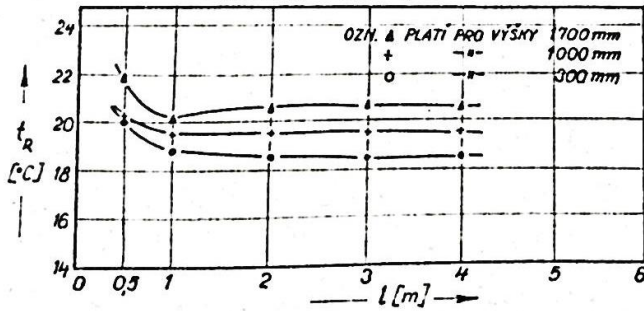


Konvektor

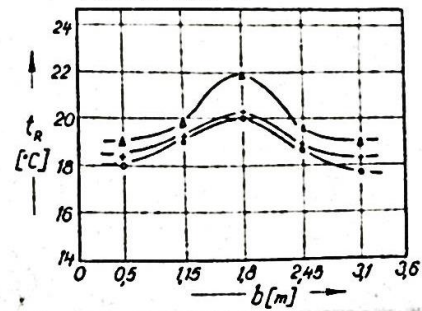
$Q_k = 1190 \text{ kcal/h}$ $t_{rs} = 80,4^\circ\text{C}$ $t_{LB} = 21,1^\circ\text{C}$ $F_k = 0,54 \text{ m}^2$



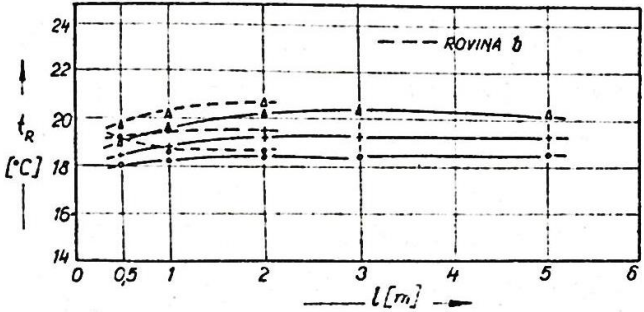
PODÉLNÝ ŘEZ A



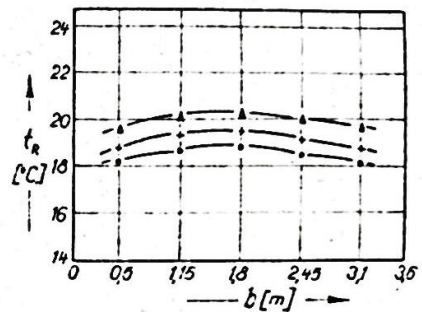
PŘÍČNÝ ŘEZ I



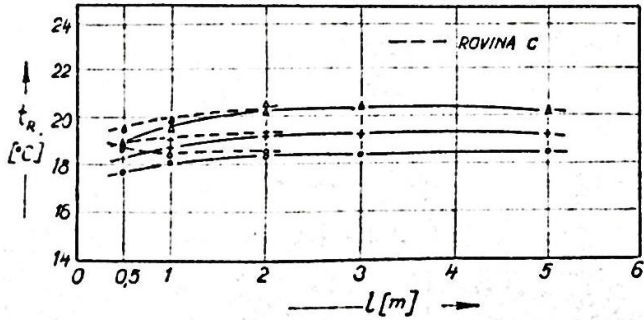
PODÉLNÝ ŘEZ B



PŘÍČNÝ ŘEZ II



PODÉLNÝ ŘEZ C



PŘÍČNÝ ŘEZ III

