

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

SYSTÉMY TZB V NEMOVITÝCH PAMÁTKÁCH

THE SYSTEMS OF BUILDING SERVICES IN IMMOVABLE HERITAGE

DISERTAČNÍ PRÁCE
DOCTORAL THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ING. LENKA MAUREROVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ HIRŠ, CSc.

BRNO 2015

Abstrakt

Předkládaná disertační práce se zabývá problematikou systémů TZB (konkrétně vytápěním, větráním a klimatizací, stíněním), které zajišťují požadované interní mikroklima v nemovitých památkách. V práci se tak vzájemně prolíná ryze technický obor TZB s obecnou filozofií památkové péče.

Cílem mé disertační práce je analýza procesu péče o nemovité památky, se zaměřením na současný stav průzkumů a dokumentace systémů TZB. Dále se v práci zaměřuji na možnosti dočasného měření parametrů interního mikroklimatu v nemovitých památkách a na sestavení počítačového modelu (v nástroji BSim), určeného k simulaci různých provozních stavů ve vybraných budovách. K realizaci zvolených cílů byli vybráni tři reprezentanti nemovitých památek: historická aula Fakulty stavební Vysokého učení technického v Brně, Zámecký palmový skleník v Lednici na Moravě a vila Tugendhat. Na jmenovaných památkách probíhal několikiletý výzkum, jehož analýzu, vyhodnocení a závěry předkládám prostřednictvím této disertační práce.

Záměry disertační práce rámcově korespondují i s nadnárodními zájmy. Předkládaný výzkum je např. v souladu s mezinárodním dokumentem - Chartou ICOMOS (Zimbabwe, 2003) - který se zaměřuje na analyzování, ochranu a stavební obnovu architektonických památek. Výzkum v oblasti nemovitých památek je taktéž podporován Evropskou unií např. prostřednictvím 7. Rámcového programu.

Abstract

The present PhD. thesis deals with the systems of building services (namely heating, ventilating and air conditioning, shading) which provide required indoor microclimate inside the immovable heritage. The work thus combines the exclusively technical field of building services (BS) and the general principles of heritage conservation.

The aim of my PhD. thesis is the analysis of immovable heritage conservation processes, focusing on the current state of research and BS systems documentation. Furthermore the work concerns the possibilities of temporary measurements of indoor climate parameters inside the immovable heritage, and aims to develop a computer model (in BSim software) for the simulation of various working conditions in the selected buildings. For the stated aims were selected three representative historic houses: historical assembly hall at the Faculty of Civil Engineering, Brno University of Technology; the Palm Greenhouse at Lednice Chateau in Moravia; and Villa Tugendhat in Brno. These buildings had been surveyed for several years, and in this PhD. thesis I present their analysis, evaluation, and conclusions.

The aims of this PhD. thesis broadly correspond to the transnational objectives. The present research is, for example, in accordance with the international document ICOMOS Charter (Zimbabwe, 2013) which is concerned with the analysis, conservation, and restoration of architectural heritage. The research of immovable heritage is also supported by European Union, e.g. by the Seventh Framework Programme of EU.

Klíčová slova

Systémy TZB, historické budovy, soudobě významné budovy, nemovité památky, interní mikroklima, vytápění, stínění, větrání a klimatizace, solární architektura, PC simulace, případová studie, měření in-situ, průzkumy památek, proudění tekutin, BSim, vila Tugendhat, Zámecký palmový skleník v Lednici na Moravě.

Key words

Building services systems, historical buildings, contemporary significant buildings, immovable heritage, indoor microclimate, heating, shading, ventilating and air conditioning, passive solar architecture, computer simulation, case study, in-situ measurement, survey of heritage structures, flow of fluids, BSim, Villa Tugendhat, the Palm Greenhouse at Lednice Chateau in Moravia.

Bibliografická citace VŠKP

MAUREROVÁ, Lenka. *Systémy TZB v nemovitých památkách*. Brno, 2015. 161 s. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technických zařízení budov. Vedoucí práce doc. Ing. Jiří Hirš, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem disertační práci na téma „Systemy TZB v nemovitých památkách“ zpracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje, ze kterých bylo čerpáno.

V Brně, dne

.....
podpis autorky

Věnování

Předkládanou práci bych ráda věnovala několika svým blízkým, kteří významně ovlivnili jak můj osobní, tak můj profesní život. Toto věnování je zároveň i mým velkým poděkováním.

Práce je věnována:

Mému tatínkovi, Jiřímu Špačkovi, za jeho materiální i psychickou podporu v průběhu mého dosavadního studia a za jeho zájem o mé výsledky.

Mému manželovi, Petru Maurerovi, za jeho trpělivost a psychickou podporu zejména v závěru mého doktorského studia.

Mému akademickému otci, Jiřímu Hiršovi, za jeho vstřícnost, vedení, trpělivost i psychickou podporu v průběhu mého několikaletého studia.

Mé zesnulé tetičce, Boženě Suchomelové, za impuls, který mi dala v posledních týdnech svého života, a který se stal mou hnací silou k dokončení této práce.

V neposlední řadě bych tuto práci chtěla věnovat své mamince, Ludmile Špačkové, která se bohužel mých studií nedožila, ale věřím, že by ze mě dnes měla radost.

Poděkování

Za odborné konzultace ve specializovaných oblastech a za čas, který mi byl při nich věnován, bych ráda poděkovala:

Doc. RNDr. Romanu Kubínkovi, CSc. z Katedry experimentální fyziky, Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci; Ing. Aleně Selucké, z Metodického centra konzervace při Technickém muzeu v Brně; Mgr. Petru Czajkowskému a PhDr. Zdeňku Váchovi z Národního památkového ústavu, ÚOP v Brně; Mgr. Jolaně Tlukové, Ph. D. z Ústavu společenských věd, Fakulty stavební, Vysokého učení technického v Brně.

V neposlední řadě bych na tomto místě ráda poděkovala všem svým příbuzným, přátelům a kolegům, kteří mi byli po dobu mého studia oporou.

PŘEDMLUVA

Původní téma, na které jsem se v roce 2008 chtěla v rámci doktorského studia přihlásit, mělo název „Energie a budovy“. Svoji diplomovou práci jsem měla zaměřenou na energetické hodnocení budov, a proto mi přišlo téma „Energie a budovy“ jako logické navázání na magisterské studium. V té době se v České republice zabydlovala tehdy nová vyhláška 148/2007 Sb. o energetické náročnosti budov. Téma „Energie a budovy“ bylo tedy velmi populární a byl o něj mezi nastupujícími doktorandy velký zájem. Možná z tohoto důvodu mi můj školitel nabídl ke studiu jiné téma „Historické systémy TZB¹“.

Z počátku jsem se domnívala, že původní a současné vybrané téma spolu nijak významně nesouvisí. Postupem času jsem však zjistila, že spolu souvisí velice úzce. Téma „Historické systémy TZB“ nebylo na první pohled tak populární, ale ve své podstatě je velmi užitečné a potřebné tuto problematiku zkoumat. Nyní, na konci svého doktorského studia jsem nesmírně vděčná svému školiteli, že mě na téma „Historické systémy TZB“ navedl, a že jsem si ho nakonec ke studiu zvolila.

Postupným zpracováváním disertační práce se širší téma „Historické systémy TZB“ zaměřilo především na „Systémy TZB v nemovitých památkách“. Z tohoto důvodu byl tento název zvolen i jako název disertační práce.

Na závěr bych ještě ráda upřesnila, že se práce zabývá pouze vybranými systémy, které přímo ovlivňují a utvářejí vnitřní klima budov - větrání a klimatizace, vytápění, stínění. Dále budu tyto vybrané systémy označovat zkratkou „systémy TZB-V“. Problematikou zdravotně technických instalací se v práci nezabývám, ačkoliv tato oblast také patří mezi obory TZB.

¹ TZB - technická zařízení budov

OBSAH

PŘEDMLUVA	7
1. ÚVOD	17
2. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	18
2.1 Počátky památkové péče, legislativa a instituce	19
2.2 Proces péče o nemovité památky	21
2.3 Průzkumy nemovitých památek	24
2.3.1 Archeologický výzkum.....	24
2.3.2 Stavebně-historický průzkum (SHP)	25
2.3.3 Specializované průzkumy	25
2.3.3.1 <i>Stavebně-technický průzkum</i>	26
2.3.3.2 <i>Průzkum vlhkostních poměrů</i>	26
2.3.3.3 <i>Klimatologický průzkum</i>	26
2.3.3.4 <i>Průzkum inženýrských sítí</i>	27
2.3.3.5 <i>Speleologický průzkum</i>	27
2.3.4 Operativní průzkumy a dokumentace (OPD)	27
2.4 Současný stav evidence a dokumentace nemovitých památek	28
2.4.1 Evidence a dokumentace nemovitých památek v ČR.....	28
2.4.1.1 <i>Přehled evidence nemovitých památek</i>	28
2.4.1.2 <i>Přehled dokumentace nemovitých památek</i>	29
2.4.2 Evidence a dokumentace nemovitých památek na mezinárodní úrovni.....	30
2.4.2.1 <i>Přehled evidence a dokumentace na světové úrovni</i>	30
2.4.2.2 <i>Přehled evidence a dokumentace na evropské úrovni</i>	31
2.5 Informační modelování budov jako možnost dokumentace	32
2.6 Tepelně-vlhkostní mikroklima nemovitých památek.....	34
2.7 Systémy zajišťující interní mikroklima v nemovitých památkách	37
2.7.1 Základní fyzikální předpoklady pro přirozené děje využívané v TZB.....	38
2.7.1.1 <i>Vznik přirozeného proudění vzduchu</i>	38
2.7.1.2 <i>Přirozené proudění v kontextu se systémy TZB</i>	43
2.7.2 Přirozené větrání	48
2.7.2.1 <i>Infiltrace</i>	48

2.7.2.2	<i>Provětrávání</i>	49
2.7.2.3	<i>Aerace</i>	49
2.7.2.4	<i>Šachtové větrání</i>	50
2.7.3	Nucené větrání	51
2.7.4	Klimatizace	52
2.7.5	Vytápění.....	53
2.7.5.1	<i>Sálavé vytápění</i>	53
2.7.5.2	<i>Vytápění teplým vzduchem</i>	55
2.7.5.3	<i>Parní vytápění s přirozeným oběhem</i>	55
2.7.5.4	<i>Teplovodní vytápění s přirozeným oběhem</i>	56
2.7.6	Využití přírodních vlivů k dotváření vnitřního klimatu budov	57
2.7.6.1	<i>Solární architektura</i>	57
2.7.6.2	<i>Poloha a funkce vegetace ve vztahu k budovám</i>	59
2.7.6.3	<i>Ochlazování staveb pomocí vody a vodních ploch</i>	60
2.8	Zhodnocení současného stavu a dostupnosti informačních zdrojů	61
2.8.1	České informační zdroje	61
2.8.1.1	<i>Historické stavební řády platné pro oblasti Čech, Moravy a Slezska</i>	61
2.8.1.2	<i>Národní památkový ústav</i>	62
2.8.1.3	<i>Specializované semináře a konference</i>	62
2.8.1.4	<i>Individuální práce a specializované studie</i>	62
2.8.2	Zahraniční informační zdroje	63
2.8.2.1	<i>ASHRAE (ASHRAE Handbook)</i>	63
2.8.2.2	<i>Heritage Group Website of the CIBSE</i>	63
2.8.2.3	<i>Literatura popisující komplexně téma systémů TZB-V v historických budovách</i>	63
2.8.2.4	<i>Individuální práce a specializované případové studie</i>	63
3.	CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE	64
3.1	Specifikace cílů práce	64
3.2	Odůvodnění zvolených cílů.....	64
3.3	Prostředky využité ke splnění zvolených cílů	65
4.	ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ.....	66
4.1	Teoretické metody.....	66

4.1.1	PC modelování (PC simulace)	66
4.1.1.1	<i>Simulační nástroj BSim</i>	67
4.1.1.2	<i>Důvod volby metody</i>	68
4.1.2	Případová studie	68
4.1.2.1	<i>Důvod volby metody</i>	68
4.2	Empirické metody	68
4.2.1	Observační metoda	69
4.2.1.1	<i>Důvod volby metody</i>	69
4.2.2	Měření	69
4.2.2.1	<i>Měřené veličiny</i>	69
4.2.2.2	<i>Specifikace použitých měřících přístrojů</i>	69
4.2.2.3	<i>Důvod volby metody</i>	70
4.3	Metodiky vedoucí k realizaci zvolených cílů	70
4.3.1	Metodika sestavená pro řešení cíle 1	70
4.3.2	Metodika sestavená pro řešení cíle 2	71
4.3.3	Metodika sestavená pro řešení cíle 3	71
4.3.4	Metodika sestavená pro řešení cíle 4	72
5.	VÝSLEDKY DISERTAČNÍ PRÁCE	73
5.1	Aktuální stav průzkumů a dokumentace systémů TZB-V v nemovitých památkách	73
5.1.1	Syntéza závěrů řešeného tématu	73
5.1.1.1	<i>Zhodnocení a závěry z oblasti průzkumů</i>	73
5.1.1.2	<i>Zhodnocení a závěry z oblasti dokumentace</i>	74
5.1.2	Predikce budoucího vývoje v oblasti dokumentace nemovitých památek	74
5.2	Specifikace základní sady informací o systémech TZB-V v nemovitých památkách	75
5.2.1	Výběr reprezentativního vzorku nemovitých památek	75
5.2.1.1	<i>Budovy historické</i>	76
5.2.1.2	<i>Budovy soudobě významné</i>	78
5.2.2	Analýza systémů TZB-V ve vybraných budovách na základě předložené teorie a průzkumu in-situ	80
5.2.2.1	<i>Infiltrace</i>	80
5.2.2.2	<i>Provětrávání</i>	80
5.2.2.3	<i>Aerace</i>	81

5.2.2.4	<i>Šachtové větrání</i>	82
5.2.2.5	<i>Nucené větrání</i>	84
5.2.2.6	<i>Klimatizace</i>	88
5.2.2.7	<i>Sálavé vytápění</i>	90
5.2.2.8	<i>Vytápění teplým vzduchem</i>	92
5.2.2.9	<i>Parní vytápění</i>	95
5.2.2.10	<i>Teplovodní vytápění</i>	98
5.2.2.11	<i>Solární architektura</i>	99
5.2.2.12	<i>Poloha a funkce vegetace ve vztahu k budovám</i>	102
5.2.2.13	<i>Ochlazování staveb pomocí vody a vodních ploch</i>	103
5.2.3	Zobecnění postupu při sběru dat za účelem získání jednotné sady informací o systémech TZB-V	104
5.3	Tvorba materiálu určeného k záznamu informací z dočasného měření	106
5.3.1	Specifikace zásad, které je třeba zohlednit při měření v nemovitých památkách 106	
5.3.1.1	<i>Vhodné umístění dočasných měřících přístrojů</i>	106
5.3.1.2	<i>Sledování stavu měřících přístrojů</i>	108
5.3.1.3	<i>Relevance naměřených výsledků</i>	109
5.3.1.4	<i>Zajištění záznamu dalších skutečností souvisejících s měřenými parametry</i> 110	
5.3.2	Zobecnění postupu při záznamu informací z dočasného měření in-situ.....	110
5.4	Případová studie postihující možnosti využití počítačové simulace.....	112
5.4.1	Tvorba a zjednodušení geometrického modelu	112
5.4.1.1	<i>Analýza vstupních dat z průzkumu</i>	113
5.4.1.2	<i>Specifikace okrajových podmínek a zjednodušení geometrie</i>	115
5.4.2	Možnost verifikace a kalibrace modelu pomocí naměřených dat	118
5.4.2.1	<i>Analýza naměřených dat</i>	118
5.4.2.2	<i>Analýza klimatických dat</i>	118
5.4.2.3	<i>Verifikace a kalibrace modelu dle naměřených dat</i>	119
5.4.2.4	<i>Simulace prostřednictvím PC modelu</i>	122
5.4.3	Syntéza závěrů z uvedené případové studie	123
5.4.3.1	<i>Syntéza závěrů - tvorba a zjednodušení geometrického modelu</i>	123

5.4.3.2 *Syntéza závěrů – verifikace a kalibrace PC modelu pomocí naměřených dat*
124

6. ZÁVĚR DISERTAČNÍ PRÁCE.....	125
6.1 Význam disertační práce pro rozvoj vědního oboru	125
6.2 Význam disertační práce pro praxi	125
6.3 Možnosti dalšího výzkumu	126
LITERATURA.....	128
SEZNAM PŘÍLOH.....	135
SEZNAM OBRÁZKŮ	149
SEZNAM TABULEK.....	156
SEZNAM PUBLIKACÍ AUTORA	157
SEZNAM ŘEŠENÝCH PROJEKTŮ AUTORA.....	160

PŘEHLED VYBRANÝCH POUŽITÝCH ZKRATEK

Zkratka	Vyjadřuje
TZB	technické zařízení budov
TZB-V	společné označení pro systémy vytápění, větrání a klimatizace, stínění
IM	interní mikroklima (vnitřní prostředí)
EU	Evropská unie
NPÚ	Národní památkový ústav
UNESCO	United Nations Educational Scientific and Cultural Organization
ICOM	International Council of Museums
ICOMOS	International Council on Monuments and Sites
SHP	stavebně-historický průzkum
OPD	operativní průzkum a dokumentace
SÚRPMO	Státní ústav pro rekonstrukci památkových měst a objektů
ÚSKP	Ústřední seznam kulturních památek
ČR	Česká republika
ÚOP	územní odborné pracoviště
IS	informační systém
IISPP	integrovaný informační systém památkové péče
MIS	metainformační systém
GIS	geografický informační systém
CCI	Canadian Conservation Institute
GCI	Getty Conservation Institute
ICCROM	International Centre for the Study of the Preservation and the Restoration of Cultural Property
CIN	Conservation Information Network
BCIN	Bibliographic database of CIN
CHIN	Canadian Heritage Information Network
AATA	Art and Archeology Abstracts
BIM	Building Information Modeling (informační model budovy)
SW	software
3D	Three Dimensional Space (trojrozměrný prostor)
MaR	měření a regulace
PPD	Predicted Percentage Dissatisfied (předpokládané procento nespokojených)
PMV	Predicted Mean Vote (předpokládané průměrné hodnocení)

Zkratka	Vyjadřuje
NAKI	Program aplikovaného výzkumu a vývoje národní a kulturní identity
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
CIBSE	Chartered Institution of Building Services Engineers
VG FAST	vnitřní grant Fakulty stavební
JCMM	Jihomoravské centrum pro mezinárodní mobilitu
PC	Personal Computer (počítač)
HI	hydroizolace
TI	tepelná izolace
CZT	centrální zásobování teplem
PUR	polyuretan
SZ	státní zámek
ÚNMZ	Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví

PŘEHLED VYBRANÝCH POUŽITÝCH ZNAČEK

Značka	Veličina	Základní jednotka
c	měrná tepelná kapacita	$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
d	tloušťka konstrukce	m
g	tíhové zrychlení	$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$
h	Výška	m
m	hmotnost	kg
n	látkové množství	mol
p	tlak	Pa
r	měrná plynová konstanta vzduchu	$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
t	teplota	$^{\circ}\text{C}$
v	měrný objem vzduchu	$\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$
v	rychlost pohybu	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
y	svislá poloha částic nad referenčním bodem	m
A	tlakový součinitel větru	-
C	molární tepelná kapacita	$\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
E	energie	J
E	intenzita osvětlení	lux
IR	množství tepelného záření	$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$
M	hmotnostní tok	$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$
Q	teplo	J
R	obecná plynová konstanta	$\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
R	tepelný odpor	$\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$
S	obsah plochy	m^2
T	termodynamická teplota	K
U	vnitřní energie	J
U	součinitel prostupu tepla	$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$
UV	úroveň UV záření	$\mu\text{W}\cdot\text{lumen}^{-1}$,
V	objem	m^3
W	práce	J
\vec{a}	vektor zrychlení	$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$
$\sum \vec{F}$	vektor výslednice sil	N
\dot{V}	objemový průtok	$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$

Značka	Veličina	Základní jednotka
Δ	konečný rozdíl dvou hodnot	-
λ	součinitel tepelné vodivosti	$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
ρ	měrná hmotnost	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$
φ, RH	relativní vlhkost vzduchu	%, -

SEZNAM VYBRANÝCH POUŽITÝCH INDEXŮ

Index	Označující
a	suchou složku vzduchu
c, celk	celkovou hodnotu
d	vodní páru
e	exteriér (vnější prostředí)
g	tíhovou sílu
i, int	interiér (vnitřní prostředí)
k	kinetickou složku
n	návětrnou stranu
o	odvodní
p	přívodní
rb	rosný bod
se	vnější stranu povrchu
si	vnitřní stranu povrchu
T	celkovou hodnotu (total)
v	vliv větru
V	stav při stálém objemu
z	závětrnou stranu
0	počáteční stav
1, 2	průběžný a koncový stav

1. ÚVOD

Historické budovy u nás i ve světě představují ve většině případů památkově chráněné objekty - tzv. nemovité památky - kde kulturní ochrana těchto památek může sahát od národní až po světovou úroveň. Právě proto jsou nemovitosti s historickým původem často soustředěny do hledáčku pracovníků památkové péče, odborníků – specialistů, a také široké veřejnosti. Pro zachování historických budov dalším generacím je nutná jejich památková obnova, rekonstrukce nebo konzervace. K památkové obnově, rekonstrukci nebo konzervaci však nelze přistupovat paušálně, ale musí se řešit pečlivě, případ od případu, s ohledem na zachování historicky cenných částí budovy. U většiny nemovitých památek se však nelze spokojit pouze s obnovou historických konstrukcí, interiérů, mobiliáře a inventáře budovy, neboť to, co vdechuje budovám život, jsou systémy TZB-V.

Systémy TZB-V obecně zajišťují v budovách požadované interní mikroklima (IM) = vnitřní prostředí. V případě nemovitých památek je - nebo spíše původně bylo - interní mikroklima podřízeno pobytu člověka (např. hrady, zámky, vesnické usedlosti, rodinné vily, divadla, opery, soudní budovy, radnice, knihovny atp.) nebo zachování cenných inventářů, mobiliářů a sbírek (např. muzea, archivy, depozitáře, galerie, skleníky, oranžerie, krypty, kostnice atp.). V této souvislosti se tedy setkáváme s různými druhy systémů TZB-V, které měly za úkol zajistit optimální parametry daného vnitřního prostředí. Nejčastěji se jednalo o systémy fungující na základě jednoduchých fyzikálních principů (např. sálavé a teplovzdušné vytápění, přirozené větrání, chlazení odparem z vodního povrchu atp.). V mnoha případech, zejména u později datovaných památek, se však setkáváme i s unikátními a na svou dobu nadčasovými systémy a technologiemi, které fungují dodnes a které nejsou doposud příliš zmapované. Nezřídka se také stává, že funkce některého z přirozených systémů TZB-V není správně pochopena, při památkové obnově nebo rekonstrukci se tento fakt zanedbá, a následně pak dochází ke zdánlivě nepochopitelné změně interního mikroklimatu, která může mít i fatální následky. Nejčastějším případem je zazdění nebo zneprůchodnění otvorů a šachet přirozeného větrání např. stavební sutí, což sebou většinou přináší zvýšení relativní vlhkosti a následný vznik plísní a hub, které mohou nevratně poškodit jak inventář, tak samotnou konstrukci budovy. Proto je důležité věnovat pozornost dostatečnému zkoumání, dokumentaci a obnově či rekonstrukci systémů TZB-V v nemovitých památkách.

Předmětem a stěžejním smyslem mé disertační práce je tedy pochopení procesu péče o nemovité památky, se zaměřením na současný stav průzkumu a dokumentace systémů TZB-V. Dále se v práci zaměřuji na možnosti dočasného měření parametrů interního mikroklimatu v nemovitých památkách a na sestavení počítačového modelu, určeného k simulaci různých provozních stavů ve vybraných nemovitých památkách.

2. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

K pochopení přínosu a docenění významu této disertační práce je nutné poukázat na prolnutí ryze technického oboru TZB s obecnou filozofií památkové péče.

Obor TZB v současné době víceméně odráží implementovanou směrnici Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU o energetické náročnosti budov. Trendem v tomto oboru jsou tedy úspory energií a snižování energetické náročnosti budov, vývoj a používání nových technologií se zaměřením na maximální využití energie z obnovitelných zdrojů.

Na druhé straně tématu stojí památková péče. Pokud bych měla současnou filozofii péče o nemovitou památku stručně charakterizovat, mohla bych říci, že se zaměřuje především na její: průzkum a zdokumentování, preventivní péči a podtržení její individuální historické hodnoty v návaznosti na propagaci a edukaci.

Na první pohled stojí každý z oborů na jednom pólu problematiky - památková péče podtrhuje historické hodnoty, TZB drží krok s novými trendy. Ve skutečnosti se však tyto dva protipóly prolínají a doplňují. Jako příklad bych uvedla současný trend pasivních domů a domů s téměř nulovou spotřebou. Pominu-li moderní technické vybavení, podstatou těchto typů domů je maximální využívání přirozených jevů a principů, které nevyžadují přísun energie (např. využívání přirozeného proudění, orientace budovy a prosklených ploch ke světovým stranám, tvoření akumulčních jader, stínění, ochlazování odpařováním z vodního povrchu). V tomto aspektu se shodují s budovami historickými, které rovněž byly odkázány pouze na přirozené principy. Pasivní a téměř nulové domy jsou z pohledu historie mladé a nejsou ještě dostatečně prověřené. Nevíme, jak se budou chovat za několik desítek let. Historické budovy a jejich systémy TZB-V jsou na rozdíl od mladých budov časem prověřené a na jejich dochovaných fungujících i nefungujících systémech se můžeme mnohé naučit. Prostřednictvím dokumentace systémů TZB-V v nemovitých památkách lze postihnout i vývoj jednotlivých systémů a jejich základní principy, které se dají s výhodou uplatnit i v současné době. To je jeden z důvodů, proč je důležité zaměřit se na průzkum a dokumentaci systémů TZB-V, kterými disponují nemovité památky.

Jak již zaznělo v úvodní kapitole 1, pomocí systémů TZB-V lze zajistit a ovlivnit vnitřní prostředí v nemovitých památkách, což je důležité pro zachování jejich dobrého stavu. Při památkových obnovách a rekonstrukcích budov je nezbytné vypořádat se i s vhodným zajištěním potřebného stavu interního mikroklimatu pomocí systémů TZB-V. Filozofie památkové péče v tomto směru razí většinou jednu z následujících cest:

- Původní systémy TZB-V a jejich komponenty jsou zcela nahrazeny moderním zařízením.
- Původní systémy TZB-V a jejich komponenty jsou částečně nebo zcela zrestaurovány a fungují dál.
- Původní systémy TZB-V a jejich komponenty jsou částečně nebo zcela zrestaurovány či zakonzervovány a neplní dále svoji funkci. K zajištění požadovaného stavu interního mikroklimatu je využito moderní zařízení nahrazující stávající systém.

Následující kapitoly budou představovat shrnutí a analýzu několika témat, která považují za důležitá a zásadní pro řešení problematiky, týkající se systémů TZB-V v nemovitých památkách. Jak již bylo řečeno, řešená problematika není pouze doménou profese technická zařízení budov, ale postihuje širší spektrum oborů. Všechny obory jsou pak stmeleny do jedné hlavní oblasti, kterou je památková péče. Z tohoto důvodu se v úvodních odstavcích zaměřuji na princip mechanismu péče o památky. Konkrétně péče o nemovité památky. Zbývající odstavce jsou již věnovány problematice z oboru technických zařízení budov.

Jelikož první dva cíle mé disertační práce vycházejí z analýzy současného stavu řešené problematiky a z teoretických základů, jsou kapitoly věnované teorii poněkud rozsáhlejší.

2.1 POČÁTKY PAMÁTKOVÉ PÉČE, LEGISLATIVA A INSTITUCE

Památková péče, obdobně jako ostatní odvětví lidské činnosti, se v průběhu staletí vyvíjela do své současné podoby. Určitou formu péče o památky můžeme zaznamenat již v dávné historii. Pojmem „památká“ můžeme nazývat předměty a artefakty, které mají zvláštní význam ať už pro jedince nebo pro celou společnost. Jednoduchým příkladem takovéto „památky“ může být šperk, který se v jedné rodině předává z generace na generaci. Pro členy rodiny měl takovýto šperk bezesporu svůj společenský význam a byl náležitě opečováván a strážěn. Bavíme se zde nyní spíše o významu duševním - subjektivním, neboť pro chudou rodinu mohl mít obyčejný šperk stejnou nebo dokonce větší hodnotu než pro bohatou rodinu drahý šperk.

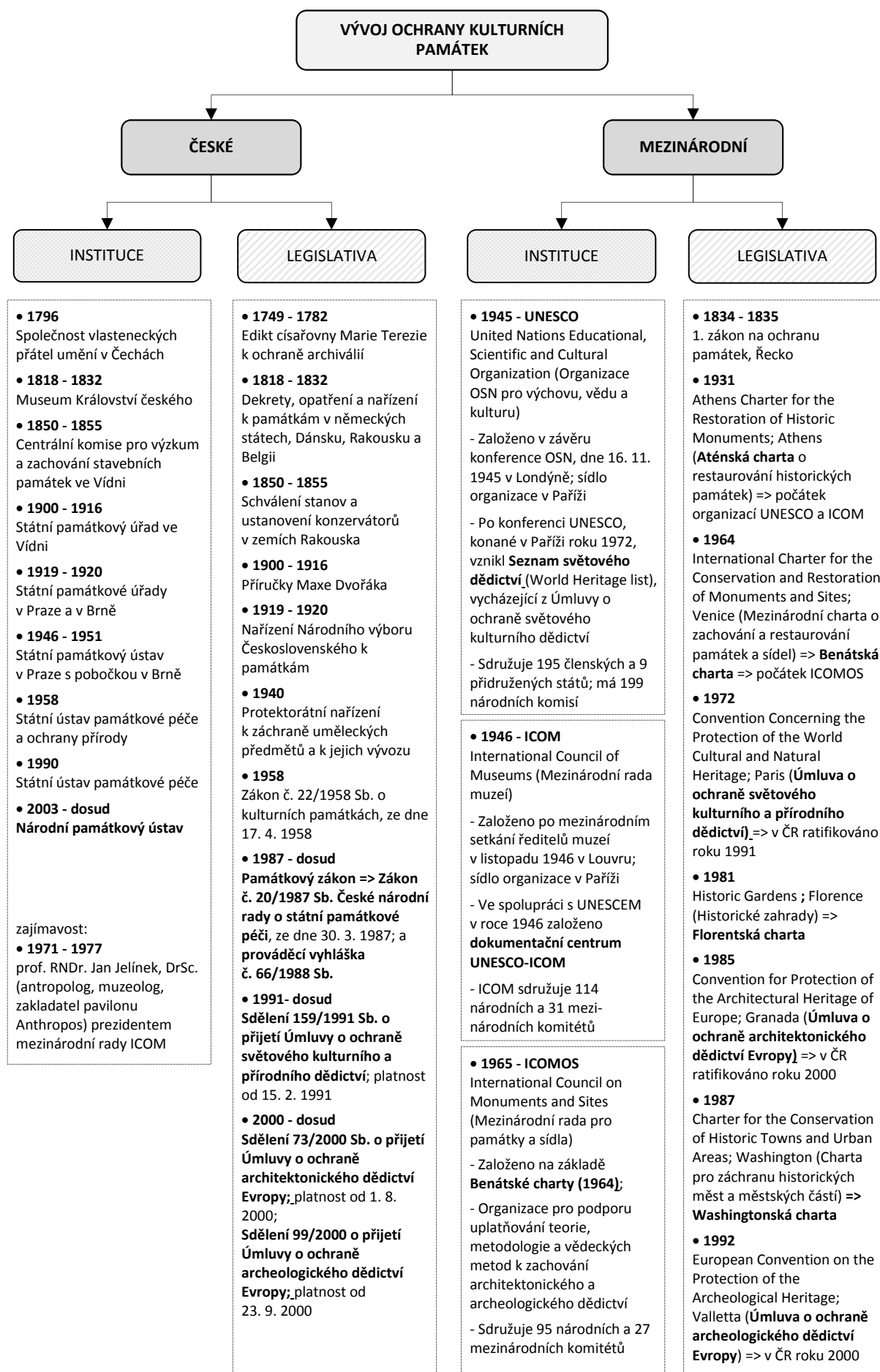
Majetek zde ale jako v každé době sehrál zásadní roli a majetní lidé si mohli takovýchto věcí pořizovat více. Ti, kteří si to mohli dovolit, se tak stávali jakýmsi „sběrateli“ nejrůznějších, ve své době cenných, předmětů. Zde už se nejednalo pouze o klenoty, ale o různá umělecká a technická díla (sochy, obrazy, zbraně, časoměrné stroje atp.), která nesla otisk tehdejší kultury. Mezi sběratele dřívějších dob patřili zejména vladaři a aristokraté, později i církve a umělci. Obecně řečeno elita = lidé majetní, mocní a vlivní. Tehdejší sběratelství zcela jistě dalo základy dnešnímu muzejnictví.

S vývojem společnosti a její kultury se samozřejmě vyvíjel i pohled na památky, který se začal postupně rozšiřovat z movitých i na ty nemovité. Památková péče, jak ji známe dnes, spravuje nesčetné množství kulturního dědictví, archeologickými nálezy kamenných nástrojů počínaje a všestranně propracovanými stavebními komplexy konče.

Potřeba společnosti zachovat a předat dál poselství, které s sebou nesla jednotlivá období naší doby, zformovala obor památkové péče. Lidé zjišťovali, že pro jejich společenský i vědecko-technický rozvoj je třeba poznat svoji minulost a pokud možno se z ní poučit. Byl to jednoduchý způsob jak zabránit tomu, aby nedocházelo ke znovuobjevování již objeveného, ale aby se pokrok posunul dál. Tuto potřebu si uvědomovali i panovníci a zákonodárci, a tak se zásady památkové péče začaly postupně objevovat i v legislativě.

V Českých zemích se setkáváme s prvními legislativními doporučeními v oblasti péče o památky ve 2. pol. 18. stol., za vlády Marie Terezie [1]. Postupem času začaly vznikat sdružení a organizace, které daly základ dnešnímu Národnímu památkovému ústavu (NPÚ).

Chronologický vývoj legislativních předpisů a institucí na ochranu památek v Čechách i v zahraničí je znázorněn na obrázku 2.1.1.0 (zdroje: [1][2][3][4][5][6][7][8][9][10]).

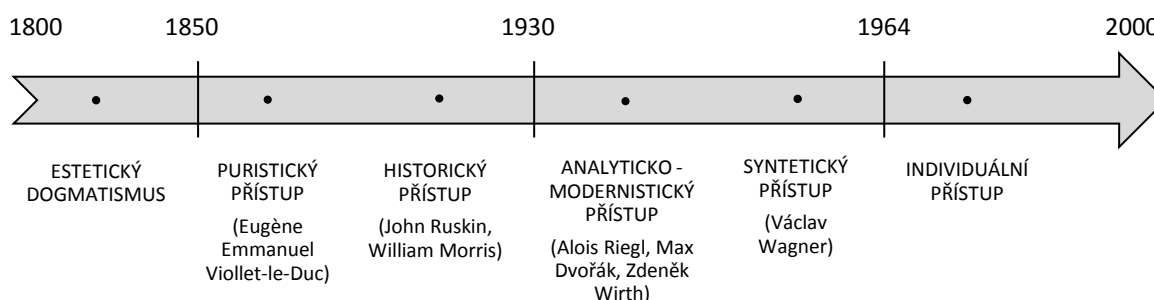


Obr. 2.1.1.0 Vývoj ochrany kulturních památek v Čechách a v zahraničí [zpracování: autor]

Ve výše uvedeném schématu figurují z mého pohledu nejvýznamnější organizace a dokumenty. Ve světě, v Evropě i v Čechách samozřejmě funguje mnohem více zainteresovaných institucí a legislativních předpisů, ale jejich kompletní výčet není účelem této práce. Další stěžejní organizace a dokumenty, zabývající se památkovou péčí v Čechách i ve světě můžeme najít např. na webovém portálu NPÚ [11].

2.2 PROCES PÉČE O NEMOVITÉ PAMÁTKY

Památková péče měla jako ostatní obory svůj vývoj. V průběhu let se vystřídaly různé názory a přístupy zejména co se týkalo realizace péče o památku. Názvy jednotlivých přístupů, spolu s přibližným zasazením do časové osy, znázorňuje schéma na Obr. 2.2.1.0. [11][12]

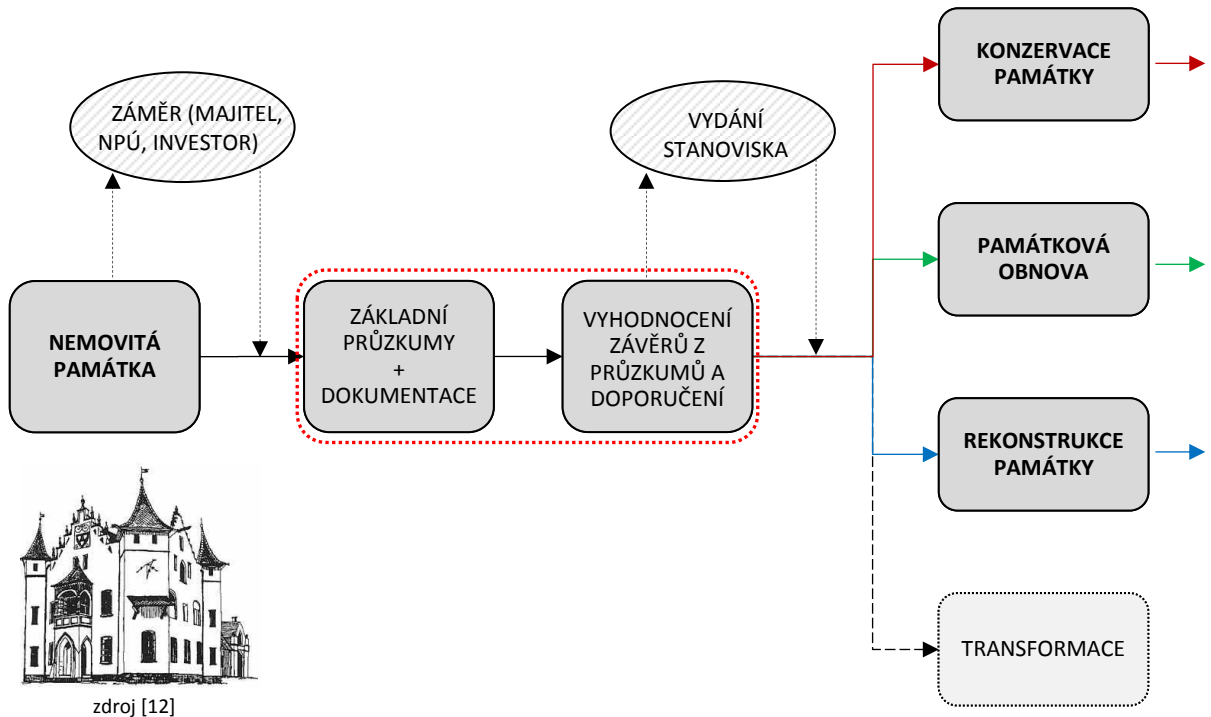


Obr. 2.2.1.0 Časová osa vývoje jednotlivých přístupů k péči o památky s uvedením jejich nejvýznamnějších propagátorů [zdroj:[11][12], zpracování: autor]

Každý z výše uvedených přístupůrazil jinou filozofií. Nejprve nebyly nemovitosti zachovávané vůbec. Stará budova se zbožila a vystavěla se nová, moderní – estetický dogmatismus. Puristický přístup propagoval „slohově čistou“ podobu staveb, což znamenalo odstraňování veškerých mladších změn budovy. Protikladem byl historický přístup, kdy péče spočívala v údržbě a konzervaci dochovaného stavu. Na tyto dva protikladné přístupy následně navazuje analyticko-modernistický přístup, kdy byla památka vědecky zakonzervována, byla provedena důkladná analýza slohového vývoje a doplněné konstrukce byly řešeny moderními metodami. Naproti tomu syntetický přístup respektoval celistvost a ráz poslední vývojové fáze památky, přičemž u drobných úprav byl povolen návrat k historickým kořenům. Až s Benátskou chartou (1964) přišel individuální přístup k památkám, který je uplatňován dodnes. Tento přístup je založen na průzkumu a poznání individuálních hodnot památky, od nichž se odráží zvolený přístup realizace památkové péče. Více o filozofii jednotlivých metod pojednává ve svých publikacích doc. PhDr. Josef Štulc nebo např. prameny [11] a [12]. [11][12]

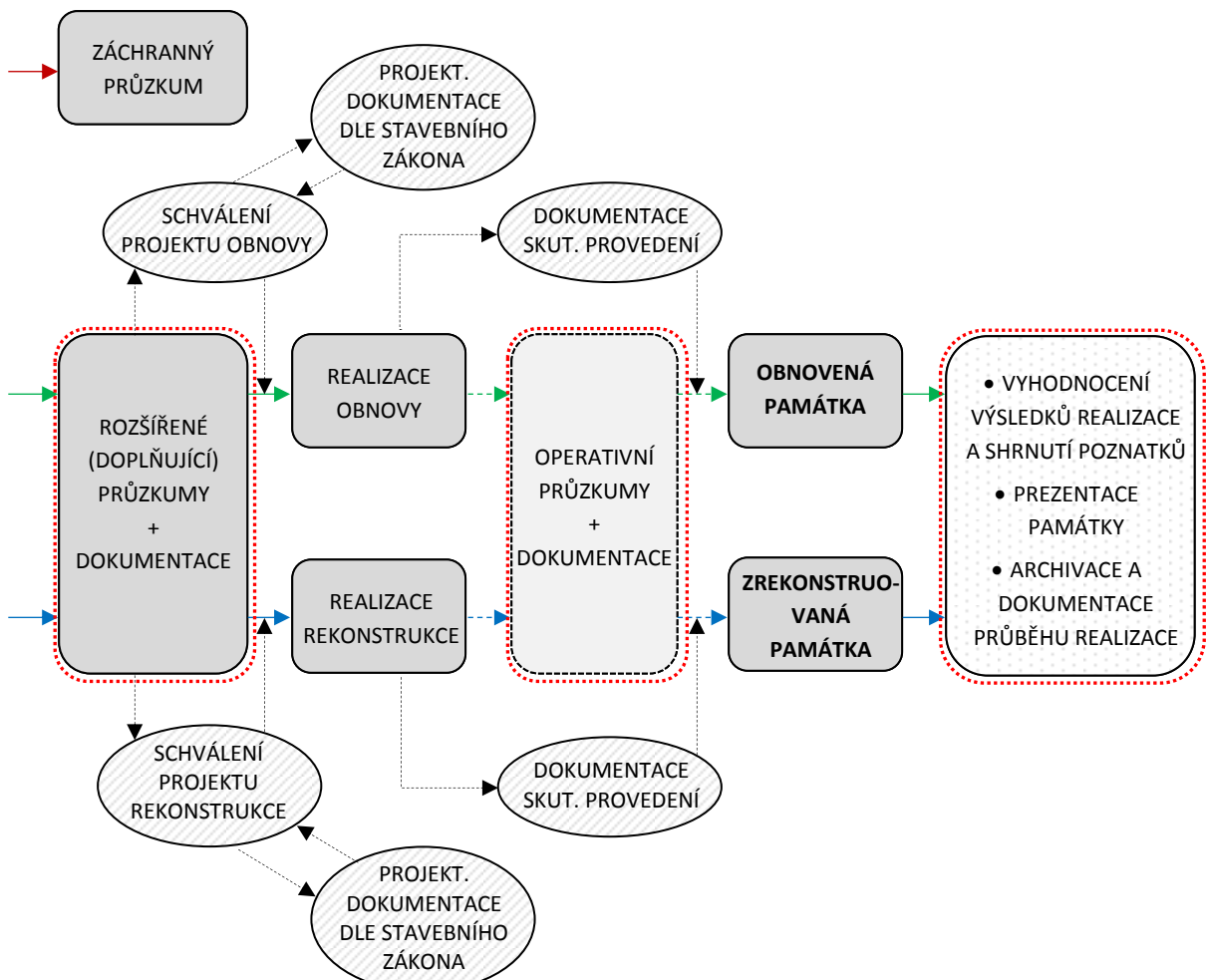
I přes veškeré rozpory mezi jednotlivými realizačními přístupy se většina publikací shoduje na tom, že v péči o nemovité památky je velmi důležité zkoumání a poznávání památky a její dokumentace. Z tohoto důvodu jsou různé typy průzkumů a dokumentace památek opěrným pilířem v procesu péče o nemovité památky. Sled jednotlivých úkonů, které dohromady vytvářejí proces péče o nemovité památky, jsem si dle literatury [1][4][11][13][15][16][17] vyložila způsobem znázorněným v Obr. 2.2.1.1. Červeným obdélníkem jsou ve schématu označeny ty fáze, ve kterých mohou být využity dílčí výsledky mé disertační práce, zaměřené na systémy TZB-V.

PROCES PÉČE O NEMOVITÉ PAMÁTKY



zdroj [12]

(PROCES NAVAZUJE POD ČAROU)



Obr. 2.2.1.1 Schéma procesu péče o nemovité památky [zpracování: autor]

Ke schématu na Obr. 2.2.1.1 si pro přehlednost dovolím připojit nezbytný komentář. Schéma se vztahuje k těm památkám, které podléhají ochraně dle Památkového zákona (č. 20/1987 Sb.). V případě, že před vlastníkem stojí historická nemovitost, a on s ní chce něco udělat (záměr), začíná se tzv. předprojektovou přípravou. *Předprojektová příprava* představuje jinými slovy sběr dostupných informací o budově, vytvoření dokumentace a zhodnocení aktuálního stavu budovy na základě získaných podkladů. Do této fáze patří zejména geodetické zaměření stavby, provedení základních typů průzkumů a tvorba dokumentace. [15]

Na základě vyhodnocených vstupních informací a vyjádření odborných organizací státní památkové péče (např. NPÚ), dochází k vydání stanoviska orgánem státní památkové péče (např. krajský úřad, Ministerstvo kultury). Na základě stanoviska, jímž je vlastník památky povinen se řídit, může dojít k jedné z těchto variant zachování památky: konzervace, památková obnova, rekonstrukce. *Konzervace* představuje v mém schématu takovou variantu zachování, kdy je památka v natolik špatném stavu, že se přistoupí pouze k její nejnutnější stabilizaci před úplným zchátráním, nebo přímo k demolici. Konzervované památky jsou tedy z mého pohledu například dochované zříceniny a trosky významných budov. *Památková obnova* v mém pojetí naopak vyjadřuje zachování památky, které je založené na uchování a navrácení původních hodnot objektu. Při obnově je často využívána technika restaurování. Obecně zůstává větší část hmoty objektu původní, v menší míře jsou zastoupeny moderní materiály a technologie. *Rekonstrukce* pak představuje doplnění a úpravu převážné části objektu. Jsou zde použity nové materiály nebo technologie, ale vše je provedeno v souladu s původním originálním výrazem památky. Mezi památkovou obnovou a rekonstrukcí může být v některých případech tak marginální rozdíl, že i samotní odborníci používají sdružený termín „památková obnova a rekonstrukce“. Podrobný popis rozdílů mezi památkovou obnovou a rekonstrukcí je uveden například v literatuře [1],[15] a [12]. V ojedinělých případech může dojít i k tzv. *transformaci* památky. Jedná se zde o nástavby, přestavby a změny dispozic, kdy objekt ztrácí svoji autenticitu. Proto jsem tento způsob zachování památky ve schématu vizuálně oddělila od ostatních tří. [1][4][15]

Po fázi stanovení způsobu zachování památky jsou prováděny další doplňující průzkumy. V případě památkové obnovy a rekonstrukce bývá nutné provést rozšíření a prohloubení základních průzkumů včetně doplnění dokumentace. V případě rozhodnutí o konzervaci památky se provede závěrečný záchranný průzkum. [16]

Rozšířené průzkumy a dokumentace společně s původními základními průzkumy slouží jako podklad pro *vytvoření projektu památkové obnovy nebo rekonstrukce*, ke kterým se opět vyjadřují příslušné orgány státní památkové péče. Projektová dokumentace musí současně splňovat požadavky platného stavebního zákona. [15]

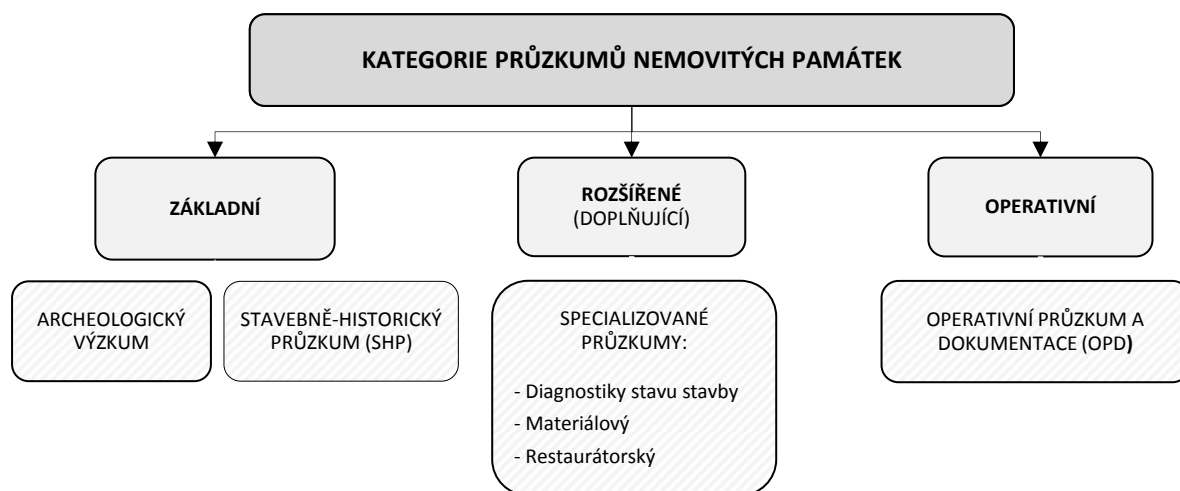
Po schválení projektové dokumentace už probíhá vlastní *realizace památkové obnovy či rekonstrukce*. V této fázi se v některých případech provádí ještě operativní průzkumy a dokumentace. [17]

V poslední fázi po dokončení památkové obnovy nebo rekonstrukce by mělo proběhnout vyhodnocení realizace stavby a shrnutí získaných poznatků. U významných památek dochází též k archivaci a dokumentaci průběhu realizace stavby a k prezentaci památky (viz např. Průběh památkové obnovy na webových stránkách Vily Tugendhat [18]). [15]

2.3 PRŮZKUMY NEMOVITÝCH PAMÁTEK

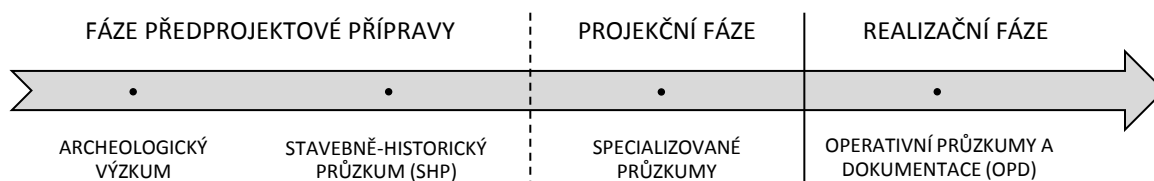
Průzkumy a dokumentace nemovitých památek jsou považovány za základ celého procesu péče o památky. Všeobecně platí, že jednotlivé průzkumy představují obecně uznávanou metodu, jejímž cílem je nalézt, roztřídit, zdokumentovat a vyhodnotit veškeré informace a poznatky o nemovité památce. Proces památkové péče disponuje celou řadou průzkumů, které jsou rozděleny podle charakteristické oblasti, jíž se zabývají. Mezi nejvýznamnější komplexní průzkumy patří: *archeologický výzkum*, *stavebně-historický průzkum (SHP)*, *specializované průzkumy*, *operativní průzkum a dokumentace (OPD)*. [11][16]

Nejjednodušší rozdělení průzkumů do kategorií je znázorněno na Obr. 2.3.1.0 (zdroje: [11][15][16]):



Obr. 2.3.1.0 Základní rozdělení průzkumů nemovitých památek do kategorií [zpracování: autor]

Na obrázku Obr. 2.3.1.1 je znázorněno řazení komplexních průzkumů do jednotlivých fází procesu péče o nemovité památky.



Obr. 2.3.1.1 Zařazení komplexních průzkumů v chronologickém sledu fází procesu péče o nemovité památky [zpracování: autor]

2.3.1 Archeologický výzkum

S tímto základním typem průzkumu se setkáváme jak ve fázi předprojektové přípravy, tak i ve fázi realizační (záchranný archeologický průzkum). Průzkumy provádí Archeologické ústavy Akademie věd ČR a nálezy mohou být movité i nemovité povahy. Účelem

archeologického průzkumu je získání informací především o: vývoji člověka a jeho kultury, vývoji historické architektury a životního prostředí našich předků. V ČR existuje několik set chráněných archeologických lokalit. Tato forma ochrany je definována Památkovým zákonem (viz literatura [4]). [11]

2.3.2 Stavebně-historický průzkum (SHP)

První místo mezi průzkumy zaujímá SHP. V procesu péče o nemovité památky se se SHP setkáváme ve fázi předprojektové přípravy (viz Obr. 2.3.1.1). Dle literatury [16] rozlišujeme jeho tři základní úrovně:

- SHP velkých územních celků
- SHP urbanistické: a) sídelních souborů, územních celků a městských aglomerací a b) historických sídel
- SHP jednotlivých objektů nebo jejich užších souborů

Zde, ve své práci, se zaměřuji na 3. úroveň.

SHP představuje nedestruktivní výzkumnou metodu, jejímž účelem je shromáždit, utřídit, zdokumentovat a vyhodnotit maximum informací o historii a stavebním vývoji objektu. Dalším úkolem SHP je identifikace kulturní a historické hodnoty zkoumaného objektu. Získané informace slouží primárně jako podklad pro vyjádření a rozhodnutí orgánů státní památkové péče, ve věci dalšího nakládání s nemovitou památkou. Mimo to, mohou mít nabyté poznatky nezastupitelný význam pro rozšíření dosavadních znalostí v různých vědních oborech. Součástí SHP bývá často i doporučení k realizaci některých specializovaných průzkumů (např. stavebně-technický, materiálový, restaurátorský atp.). [11][15][16][19]

Struktura a obsah SHP jsou definovány v metodice vydané NPÚ [19]. Standardní SHP sestává většinou z následujících částí: historická rešerše z dějin objektu, plány, prameny, ikonografie, literatura, rozbor objektu, stavební historie, uměleckohistorické a kulturně-historické hodnocení, hodnotné detaily a soubory, závady, náměty k dalšímu zpracování, přílohy – obrazová a plánová dokumentace dokládající současný stav i stavební vývoj objektu. [19]

Současná platná metodika SHP, zpracovaná Petrem Mackem v roce 2001 (viz literatura [19]), vychází z metodiky, kterou poprvé aplikoval v roce 1951 dr. Dobroslav Líbal. Doktor Líbal zpracoval tuto metodiku v rámci svého působení v průzkumovém ateliéru Státního ústavu pro rekonstrukci památkových měst a objektů (SÚRPMO). Metodika dr. Líbala dosáhla i mezinárodního uznání (1956). [16]

2.3.3 Specializované průzkumy

Z procesních diagramů péče o nemovité památky na Obr. 2.2.1.1 a Obr. 2.3.1.1 je zřejmé, že se specializovanými (rozšířenými) průzkumy se setkáváme na přelomu fáze předprojektové přípravy a projekční fáze. Mezi základní specializované průzkumy je možné zařadit:

- Průzkumy vztahující se k diagnostice stavu stavby

- Materiálové průzkumy
- Restaurátorské průzkumy

Do kategorie specializovaných průzkumů bych zařadila i tzv. „záchranný průzkum“. Jedná se o poslední průzkum vytvořený před zánikem památky, jehož úkolem je zachránit veškeré důležité informace o této památce.

V následující části bych se zaměřila na průzkumy diagnostikující stav stavby. Do této skupiny patří následující výčet průzkumů: *stavebně-technický*, statický, geologický a hydrogeologický, *vlhkostních poměrů*, *klimatologický*, biologického napadení, *inženýrských sítí*, radonový a *speleologický*. Ve výčtu jsou kurzívou zvýrazněny ty průzkumy, které souvisí se zaměřením mé disertační práce. V každém z těchto průzkumů se může vyskytnout informace o některém ze systémů TZB-V. Uvedené průzkumy by měly být zpracovány ve vzájemném kontextu. Nyní se zaměřím na stručnou charakteristiku vybraných průzkumů. [15]

2.3.3.1 Stavebně-technický průzkum

Jedná se o základní, většinou nedestruktivní průzkum, který popisuje nemovitou památku v podstatě z pohledu profese pozemního stavitelství. Zpráva z tohoto průzkumu je jakýmsi technickým popisem aktuálního stavu základů, svislých a vodorovných konstrukcí, výplní otvorů, stropů, krovů, střech, podlah, omítek a různých specifických stavebních detailů. Stavebně-technický průzkum poukazuje také na viditelné poškození nebo degradaci konstrukce. Na základě podezření kupříkladu na statickou nestabilitu, podmáčení zdiva, výskyt dřevokazné houby atp. doporučuje realizaci dalších specializovaných průzkumů. Podrobný popis průzkumu nalezneme například v literatuře [15]. [15]

2.3.3.2 Průzkum vlhkostních poměrů

Úkolem tohoto průzkumu je objektivní posouzení a zjištění příčin výskytu nepřiměřené vlhkosti v konstrukcích nemovité památky. Součástí vyhodnocení průzkumu by měla být také identifikace nepůvodních, později vložených vrstev (sice modernějších, avšak často neprodyšných), které zhoršují vlhkostní bilanci konstrukce i stavby. Dále by ve vyhodnocení průzkumu měly být definovány tzv. „příznivé podmínky“, které by zajistily zachování optimálního stavu vlhkostních poměrů v posuzovaném objektu. [15]

V publikaci *Předprojektová příprava a projektová dokumentace v procesu péče o stavební památky* [15], autora doc. Girsy a kol., nalezneme podrobnější popis tohoto průzkumu. V souvislosti se systémy TZB-V je na str. 38, literatury [15], uvedeno: „U historických objektů je žádoucí v rámci průzkumu vlhkostních poměrů identifikovat, správně pochopit nebo obnovit často zrušené nebo poškozené původní izolační, větrací nebo odvodňovací systémy, které důmyslně využívaly dlouhověkých zkušeností tradičního stavitelství.“ [15]

2.3.3.3 Klimatologický průzkum

Jak již sám název napovídá, tento průzkum se zabývá stavem a kvalitou vnitřního prostředí hodnocené památky. Při zkoumání jsou nejčastěji sledovány a vyhodnocovány následující

oblasti interního mikroklimatu: tepelně-vlhkostní, aerosolové, toxické a mikrobiální. Z toho vyplývají i obvykle sledované parametry, kterými jsou teplota vzduchu t (°C) a relativní vlhkost vzduchu φ (%), případně koncentrace různých druhů agencií a mikrobiálních činitelů. V klimatologickém průzkumu by měl být analyzován dopad změn parametrů vnitřního prostředí, na inventární a mobiliární vybavení interiérů. Závěry průzkumu by měly obsahovat i zhodnocení, zda je stav interního mikroklimatu stabilní a optimální pro zachování výbavy interiérů, a to i při extrémních okrajových podmínkách a provozních stavech. [15][20]

Více informací o tomto typu průzkumu nabízí literatura [15]. Související metodická publikace z roku 2011, autorů Černý a Němeček, s názvem *Mikroklima v historických interiérech*, je dostupná na webových stránkách NPÚ (viz literatura [21]).

2.3.3.4 Průzkum inženýrských sítí

Tento typ průzkumu se na první pohled týká profese TZB. Orientuje se však pouze na oblast zdravotně technických instalací (kanalizace, vodovod, plynovod, elektroinstalace). Průzkum se zaměřuje na lokalizaci tras vnitřních i vnějších rozvodů výše zmíněných sítí a na jejich funkční komponenty (např. sestavy hygienických předmětů, elektrické zásuvky a vypínače, výtokové armatury atp.). V závěrech průzkumu by se mělo objevit zhodnocení stavu rozvodů a také vyjádření k historické hodnotě a autenticitě funkčních komponent. Podrobnější popis obsahu průzkumu je k nalezení v literatuře [15]. [15]

2.3.3.5 Speleologický průzkum

Průzkum se zaměřuje na nedostupné a běžně nepřístupné podzemní části nemovitých památek. Zkoumanými objekty podzemních částí mohou být původní šachty, stoky, chodby, sklepy, větrací šachty a kanály, zavlažovací kanály atp. Poruchy a degradace těchto podzemních objektů mohou mít za následek i statické poruchy nadzemních částí stavby. Proto je tento průzkum důležitý a má svůj význam. V závěrech průzkumu by měl být popsán i původní význam a funkce jednotlivých zkoumaných objektů. Podrobnější informace o tomto průzkumu nabízí opět literatura [15]. [15]

2.3.4 Operativní průzkumy a dokumentace (OPD)

S operativními průzkumy se v procesu péče o památky setkáváme převážně v poslední, realizační fázi (viz Obr. 2.3.1.1), nebo při nečekaných událostech (živelné katastrofy atp.), které zapříčiní odhalení normálně nepřístupné konstrukce. Jak již sám název napovídá, specifickým těchto průzkumů je skutečnost, že jsou prováděny bleskově a maximálně efektivně. OPD se provádí v případě nečekaného nálezu (např. při rozkrytí stavební konstrukce a nalezení původní, dosud neobjevené vrstvy). Vytvoření nálezové zprávy z operativního průzkumu trvá většinou jen několik hodin. [17]

NPÚ vydal kromě metodiky z roku 2005, vztahující se k OPD (viz literatura [17]), také vzor „Hlášení o nález“ z roku 2007 a vzory „Nálezové zprávy“ pro tři stupně podrobnosti nálezu. Všechny výše jmenované dokumenty jsou volně přístupné na webových stránkách NPÚ viz [11] v sekci Průzkumy památek. [11]

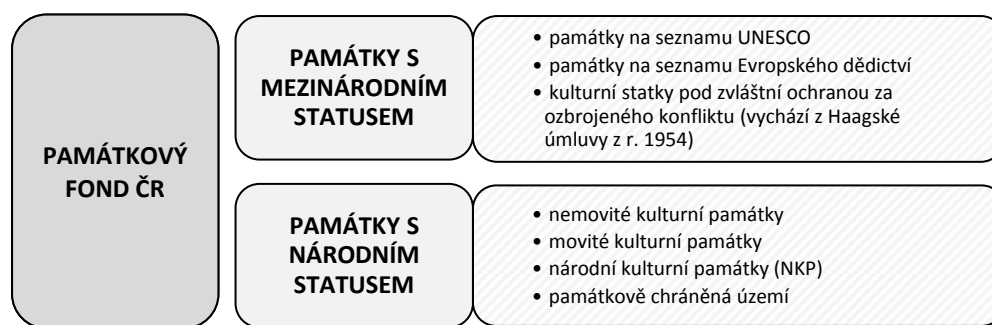
2.4 SOUČASNÝ STAV EVIDENCE A DOKUMENTACE NEMOVITÝCH PAMÁTEK

V úvodu byly zmíněny české i mezinárodní instituce, zřízené za účelem ochrany kulturních památek. Jedním z nejdůležitějších úkolů, který tyto instituce zastávají v oblasti nemovitých památek, je jejich evidence a dokumentace.

2.4.1 Evidence a dokumentace nemovitých památek v ČR

Povinnost evidence a dokumentace památek v ČR předepisuje zákon č. 20/1987 Sb. o státní památkové péči, ve znění pozdějších předpisů (Památkový zákon) a jeho prováděcí vyhláška č. 66/1988 Sb. Evidenci památek se zabývá konkrétně §7 zákona 20/1987 Sb., který definuje Ústřední seznam kulturních památek (ÚSKP). Způsob evidence popisuje §3 a §6 prováděcí vyhlášky 66/1988 Sb. Způsob dokumentace je pak zmíněn v zákonu 20/1987 Sb. v §14 odst. (7) a (10) a v §14a odst. (6). Realizace evidence a dokumentace památek spadá pod resort Ministerstva kultury, kterému je podřízen NPÚ. [4]

Ústřední seznam kulturních památek je určen k evidenci památkového fondu ČR, který je rozdělen dle schématu na Obr. 2.4.1.0. [11]

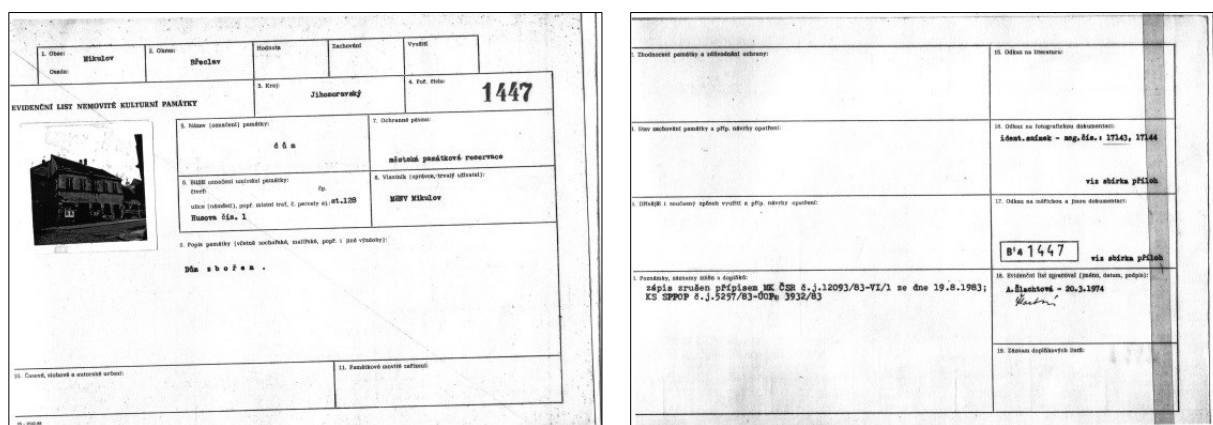


Obr. 2.4.1.0 Rozdělení památkového fondu ČR [zdroj:[11], zpracování: autor]

V období 2007 - 2015 probíhá v ČR digitalizace ÚSKP. Pro evidenci a dokumentaci památek byly zřízeny elektronické systémy spravované NPÚ. Přehled a rozdělení elektronických systémů bude předmětem následujících podkapitol. [11]

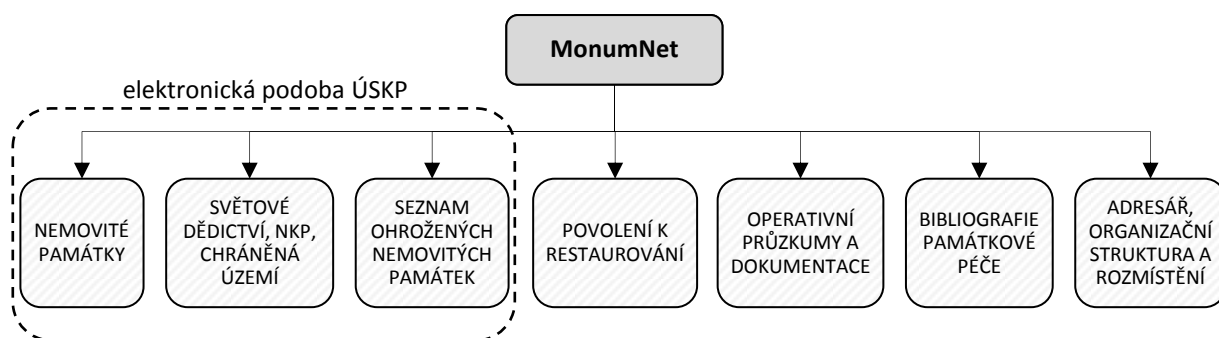
2.4.1.1 Přehled evidence nemovitých památek

Evidence je prakticky provedena dvěma způsoby: fyzicky a elektronicky. Fyzickou formou evidence jsou seznamy a kartotéky tzv. evidenčních listů nemovité kulturní památky (ukázka evidenčního listu viz Obr. 2.4.1.1), které se nacházejí v archivech jednotlivých územních pracovišť (ÚOP) NPÚ.



Obr. 2.4.1.1 Ukázka evidenčního listu nemovité kulturní památky [zdroj: NPÚ – ÚOP Brno]

Elektronickou formu seznamů a evidence představuje informační systém (dále jen IS) MonumNet. Struktura jednotlivých evidenčních seznamů je znázorněna na Obr. 2.4.1.2. Do budoucna by měly být všechny fyzické údaje přeneseny do elektronické podoby. [11]



Obr. 2.4.1.2 Struktura evidenčních seznamů dostupných z IS MonumNet [zdroj:[11], zpracování: autor]

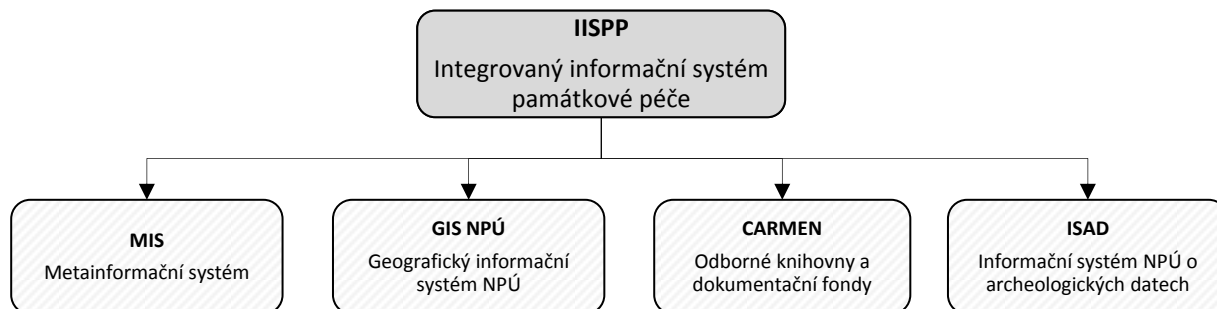
Samotná evidence spočívá ve vyplnění cca 20 základních údajů, které lokalizují a stručně popisují památku. Součástí evidence památky jsou i odkazy na již provedené průzkumy a dochovanou dokumentaci tzv. sbírku příloh. Přístup k informacím z IS MonumNet je rozdělen na veřejnou a neveřejnou část.

2.4.1.2 Přehled dokumentace nemovitých památek

Na evidenci památky volně navazuje její dokumentace. Forma dokumentace je opět fyzická a elektronická. Fyzická forma dokumentace představuje již zmíněnou sbírku příloh. Její součástí mohou být zprávy z různých typů průzkumů, nálezové zprávy, dochované výkresy a plány, fotografie, pozemkové mapy, měřická dokumentace, závěrečné zprávy a doporučení atp. Fyzické sbírky příloh se nacházejí v archivech územních pracovišť NPÚ, do jejichž působnosti daná památka spadá.

Dokumentace v elektronické podobě je zajištěna prostřednictvím integrovaného informačního systému památkové péče (IISPP). Dostupnost jednotlivých dokumentů je opět omezena podle kompetence průzkumníka. Zájemce z řad laické veřejnosti má přístup pouze k základním informacím o památce.

Pracovník nebo člen organizace, která danou evidenci spravuje, může mít umožněn přístup k veškeré dokumentaci památky. IISPP je strukturován podle zaměření na čtyři subsystémy viz Obr. 2.4.1.3.



Obr. 2.4.1.3 *Struktura informačního systému IISPP [zdroj: [11], zpracování: autor]*

Obdoba fyzické sbírky příloh je v elektronické verzi dokumentace součástí MIS. Shromáždění dat různého typu je zase doménou systému GIS NPÚ. V letech 2000 – 2007 proběhla plošná aktualizace dat v systému. Vize IISPP je taková, že jednotlivé informační subsystémy by měly mezi sebou umět komunikovat a zobrazovat vzájemně provázané informace. V současné době probíhá vzájemná integrace systémů MIS a GIS NPÚ. [11]

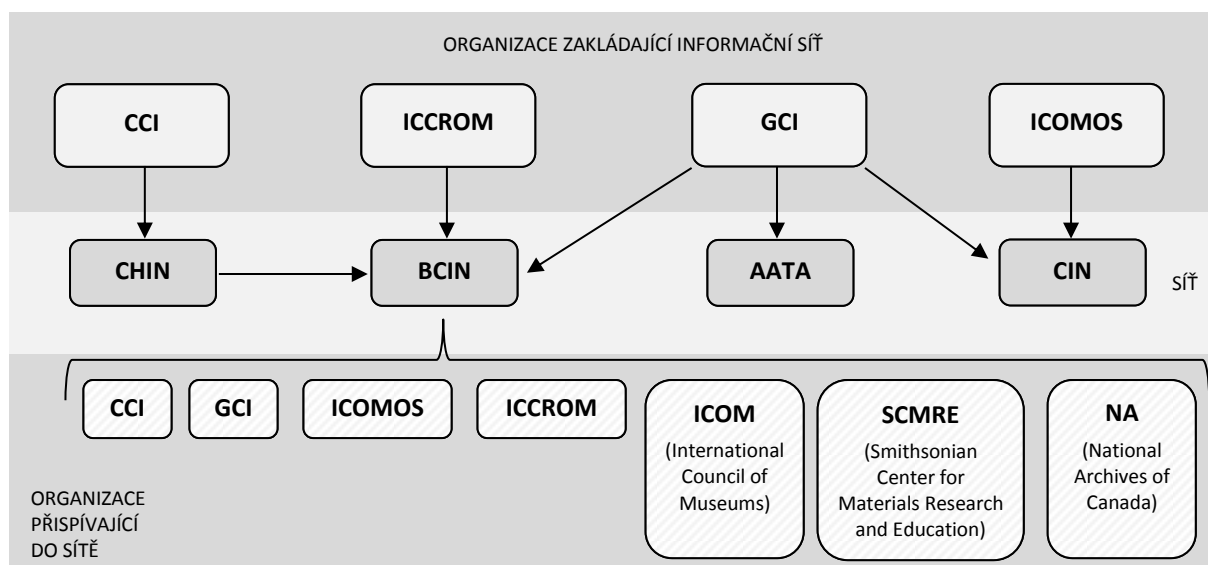
2.4.2 Evidence a dokumentace nemovitých památek na mezinárodní úrovni

Vývoj evidence a dokumentace památek na mezinárodní úrovni probíhal obdobně jako v ČR. Nejprve existovaly fyzické archivy a kartotéky, které byly postupně digitalizovány. V této části se nebudu zaměřovat na konkrétní způsob evidence a dokumentace památek v jednotlivých zemích, ale uvedu pouze stav v rámci světové a Evropské úrovně.

2.4.2.1 Přehled evidence a dokumentace na světové úrovni

Evidence světového kulturního dědictví spadá pod organizaci UNESCO – World Heritage Centre, která spravuje Seznam světového kulturního a přírodního dědictví (World Heritage List). Kromě tohoto seznamu můžeme na webovém portálu nalézt i Seznam ohrožených světových kulturních památek (List of World Heritage in Danger). V seznamech jsou památky popsány, lokalizovány na mapě, jsou zde přístupné dokumenty související se zápisem památky do Seznamu světového dědictví a je zde i fotogalerie. [22]

Za účelem dokumentace a edukace byla zřízena dokumentační centra. Mezi nejvýznamnější organizace patří ICOMOS Documentation Center (které sdružuje organizace UNESCO-ICOM-ICOMOS), Canadian Conservation Institute (CCI), Getty Conservation Institute (GCI) a International Centre for the Study of the Preservation and the Restoration of Cultural Property (ICCROM). Schéma na Obr. 2.4.2.0 zobrazuje vazby mezi organizacemi a jednotlivými dokumentačními informačními sítěmi. [14]



Obr. 2.4.2.0 Schéma vazeb mezi informačními sítěmi a jejich zakládajícími dokumentačními centry [zdroj: [14], zpracování: autor]

Nejrozsáhlejší elektronickou bibliografickou databází je síť BCIN (Bibliographic database of CIN). BCIN spadá pod další významnou informační síť CHIN (Canadian Heritage Information Network). Mezi významné a rozsáhlé elektronické databáze patří i síť CIN (Conservation Information Network) a AATA Online (Art and Archeology Abstracts). [14]

Všechna výše uvedená a další jim podobná centra a informační sítě mají za úkol shromažďovat kromě dokumentů k památkám především odborné publikace, výzkumné zprávy, závěry z výzkumů, mezinárodní legislativní předpisy aj. Některé sítě mají k dokumentům zcela volný přístup, jiné jsou opět rozděleny na veřejnou a neveřejnou část.

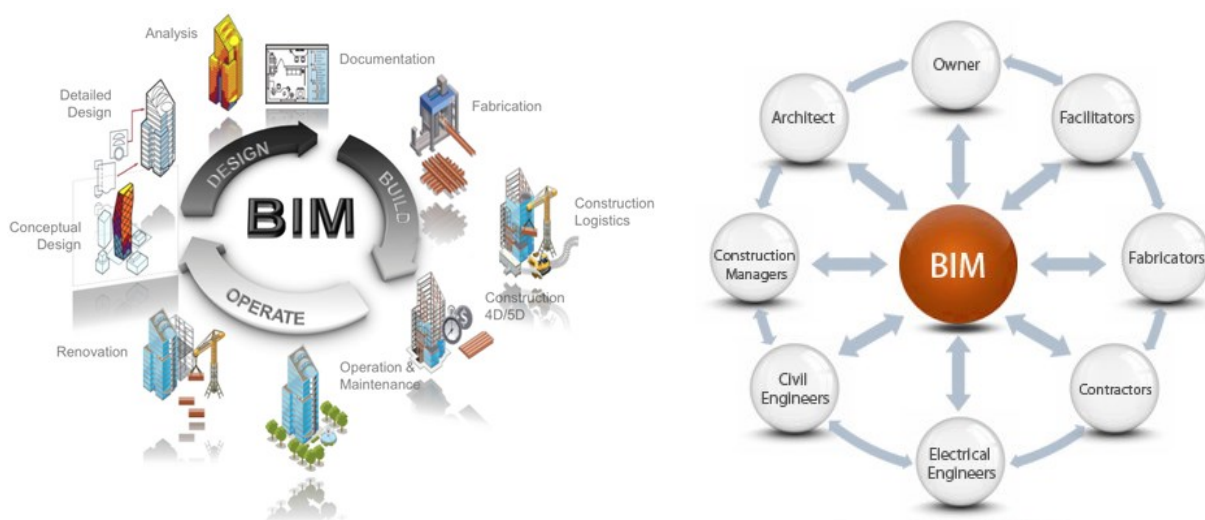
2.4.2.2 Přehled evidence a dokumentace na evropské úrovni

Na Evropské úrovni v současné době existuje skupina památek s označením European Heritage Label. Také se pořádají každoroční dny Evropského dědictví (European Heritage Days), v rámci kterých jsou zpřístupněny jinak nepřístupné kulturní památky. Na popud Evropské Unie má vzniknout evidence památek, které nejsou na seznamu UNESCO a zároveň mají nadnárodní kulturní význam. Výsledkem má být Seznam Evropského dědictví. Realizace evidenčního IS se seznamem těchto památek je součástí strategie 7. Rámcového programu EU.

2.5 INFORMAČNÍ MODELOVÁNÍ BUDOV JAKO MOŽNOST DOKUMENTACE

Pojem informační modelování budov (BIM²) k nám přišel ze zahraničí. Průkopníky tohoto stylu modelování jsou obecně skandinávské země - především Finsko a Norsko, dále USA a Singapur. BIM se však postupně uplatňuje i v dalších zemích jako: Austrálie, Čína, Velká Británie a Německo. Mnohé z výše uvedených zemí již implementovaly informační modelování budov jako součást legislativy – především pro zadávání veřejných zakázek a pro využití ve státní správě (elektronické stavební povolení aj.). BIM je v současné době stále častěji skloňován i v rámci odborných konferencí, diskusí a publikací napříč celou ČR. [23]

Smyslem celého tohoto procesu je usnadnění výměny informací mezi subjekty zainteresovanými do jednotlivých fází životního cyklu stavby. Propojení a vzájemné vazby při výměně informací jsou znázorněny na Obr. 2.5.1.0.



Obr. 2.5.1.0 Znárodnění procesu BIM v průběhu životního cyklu stavby (vlevo) [zdroj:[24]], znázornění vzájemných vazeb mezi jednotlivými zainteresovanými subjekty (vpravo) [zdroj:[25]]

Dle BIM příručky z roku 2013, autora Martina Černého a kol., může být informační modelování budov definováno následovně: „Informační modelování budov je proces vytváření a správy dat o budově během jejího životního cyklu.“ [23]

Základní myšlenkou procesu BIM je vytvoření virtuálního modelu budovy složeného z prvků, které nesou určitý typ informací. Model si můžeme představit jako archiv strukturovaných informací o budově v podobě informačních databází. Informační databáze sdružují prvky, definované prostřednictvím atributů a parametrů, které mohou být jak společné pro soubor profesí (např. pro architekta, projektanta, specialistu TZB, statika) tak i specifické pro jednotlivé profese. [23]

Vizualizace informačního modelu bývá obvykle zpracována v podobě 3D geometrického modelu budovy (nejčastěji v SW Autodesk – Revit). Informační databáze pak představuje

² BIM - zkratka z anglického výrazu Building Information Modeling.

soubor parametrů a atributů jednotlivých prvků, logicky uspořádaných v tabulkovém procesoru (nejčastěji MS Excel). Důležitým předpokladem pro komunikaci mezi jednotlivými SW je existence otevřeného souborového formátu (nejobvyklejší IFC a ifcXML). Tento otevřený formát by měl navíc zajistit možnost dlouhodobé práce s daty tak, aby byly přístupné a funkční po celou dobu životnosti budovy. [23]

BIM je v ČR celkem mladý pojem, a tudíž není tento moderní způsob projektování a správy dat o budově ještě dostatečně rozšířen ani v praxi, ani na akademické půdě. Ale už i u nás se začínají objevovat pilotní projekty zpracované metodou informačního modelování. Jelikož je principem celého procesu BIM neustálá spolupráce a koordinace jednotlivých profesí a později i správy budovy, je nutné, aby každá z těchto jednotlivých složek dokázala využít výhody celého procesu BIM a vnést do něj i svoji přidanou hodnotu. Pokud k tomuto kroku nedojde, platí zde víc než kde jinde lidové rčení: „Řetěz je jen tak silný, jako je silný jeho nejslabší článek.“

Pokud se tedy s informačním modelem naučí pracovat pouze instituce zainteresované v počátečních fázích projektu (architekti, statici, projektanti a specializované profese), ale investor (resp. správce budovy) nebude umět využít možnosti a informace, které informační model nabízí, přijde přidaná hodnota informačního modelu vniveč.

V současné době v ČR také celá myšlenka informačního modelování naráží na zatím neexistující vzory smluv, které by postihly autorská práva pro jednotlivé fáze projektu. Jelikož s informačním modelem pracují všichni zúčastnění, je obtížné přesně legislativně stanovit, komu a ve které fázi projektu náleží autorské právo. Další zatím nevyřešenou otázkou je i finanční ohodnocení vícepráce, kterou informační modelování zcela jistě představuje. [23]

2.6 TEPELNĚ-VLHKOSTNÍ MIKROKLIMA NEMOVITÝCH PAMÁTEK

Společnost se v průběhu let vyvíjela a vyvíjí, nejinak tomu je i s nemovitostmi. V případě nemovitosti však myslím tímto vývojem její změnu. Téměř každá udržovaná a provozovaná budova má potenciál vydržet tu několik století. Během této doby se v budově střídají generace lidí, kteří mají větší nebo menší potřebu na budovách něco měnit. Ať už je to v touze zanechat otisk stopy své generace, nebo ať už se jedná o nezbytné úpravy související s provozem a údržbou budovy.

Některé provedené změny mohou mít negativní dopad na stav vnitřního prostředí v budově. Může se jednat například o: stavební úpravy, kterými měníme tepelně-technické vlastnosti stavebních konstrukcí; změny vnitřních dispozic; změny charakteru užívání a s tím související změny provozu budovy (např. z obytného prostoru se stane depozitář); kácení stromů a likvidace zeleně v bezprostřední blízkosti budovy aj. Všechny tyto úpravy mohou ovlivnit průběh teploty a vlhkosti v místnostech nebo zde může docházet i ke změnám charakteru proudění vzduchu. Zmíněné tři parametry - teplota, vlhkost a proudění vzduchu - jsou nejzásadnější jak z pohledu památkové péče, tak z pohledu systémů TZB-V.

Dopad změn na vnitřní prostředí nebývá patrný ihned, ale až s odstupem času. Kupříkladu začne docházet k odlupování výzdoby interiéru (mozaiky, fresky atp.), na inventáři i textiliích je patrná přítomnost plísní a jiných mikroorganismů, dochází k rychlejší degradaci materiálů. Proto je nutné při veškerých stavebních i funkčních změnách počítat současně s revizí systémů TZB-V a jejich provozních stavů a také s revizí samotného provozu budovy (zde mám na mysli otvírací dobu, počty návštěvníků apod.). Je třeba zamyslet se nad tím, zda jsou stávající systémy TZB-V schopné zajistit požadovaný stav interního mikroklimatu i po provedených úpravách.

V souvislosti s utvářením vnitřního prostředí pomocí systémů TZB-V se v případě nemovitých památek můžeme obecně setkat se dvěma přístupy:

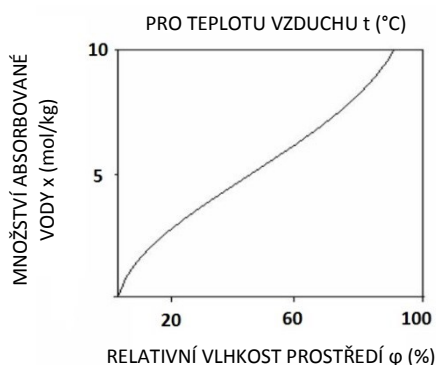
- Požadované interní mikroklima lze uspokojivě zajistit provozem původních systémů TZB-V nebo jejich obnovou.
- Požadavky na interní mikroklima vyžadují instalaci moderního systému TZB-V. (Pozn. zde je navíc ve většině případů vhodná i instalace monitorovacího systému, který komunikuje s jednotlivými členy systému měření a regulace (MaR)).

S aplikací prvního přístupu se nejčastěji setkáváme v nemovitých památkách, které nemají zvláštní požadavky na interní mikroklima, nebo v památkách, které setrvávají ve své původní funkci. Jejich vnitřní prostředí je většinou podřízeno pouze pobytu osob nebo je udržováno v mezích, které zabraňují degradaci a chátrání památky. Stávající systém TZB-V je zde většinou dostačující z hlediska schopnosti zajištění požadovaného interního mikroklimatu. Jinou otázkou je samozřejmě značná energetická náročnost některých původních systémů, což ale není hlavním předmětem této práce. Příkladem nemovitých památek, které spadají do této kategorie, mohou být: divadla, radnice, koncertní sály nebo sakrální stavby.

S druhým přístupem, vyžadujícím dodatečnou instalaci modernějších systémů TZB-V (především klimatizaci), se setkáváme tam, kde je z důvodu uchování cenného historického

materiálu nezbytné udržovat interní mikroklima v optimálním rozmezí. Jedná se především o nemovité památky, sloužící k uchování a prezentaci archiválií, textilií a uměleckých děl. Do této kategorie bych zařadila i památky s historicky významným mobiliářem a výzdobou interiérů (např. freskami, gobelíny, obrazy, mozaikami atp.). Zjednodušeně řečeno, interní mikroklima je zde primárně podřízeno uchovávaným předmětům z různých materiálů a nikoliv pobytu člověka. Jako příklad takovýchto památek lze uvést: hrady, zámky, muzea, galerie, krypty, rotundy aj.

Citlivější k výkyvům parametrů interního klimatu (t_i a φ_i) jsou paradoxně neživé předměty (textilie, obrazy, knihy, spisy, dřevěná výzdoba nebo mobiliář). Meze, ve kterých by se měl pohybovat stav vnitřního prostředí, mají pro zmíněné předměty mnohem menší (přísnější) rozsah, než je tomu u mezí pro pobyt osob. Dá se říci, že u archivních předmětů hlídáme především meze relativní vlhkosti φ_i . Teplota vnitřního vzduchu t_i je ale také důležitá. Příjemné meze vnitřní teploty a relativní vlhkosti se odvíjejí od materiálů, ze kterých je archivovaný předmět složen. Pro každý materiál existuje stav, kdy je při dané teplotě dosaženo rovnováhy mezi relativní vlhkostí vzduchu a vlhkostí materiálu. V tomto stavu materiál vlhkost ani neuvolňuje ani nepřijímá a nazýváme ho rovnovážná vlhkost. Pro různé materiály existují sorpční izotermy (viz Obr. 2.6.1.0), které popisují závislost vlhkosti materiálu na relativní vlhkosti vzduchu při dané teplotě. Podrobně se tématem optimálního stavu interního mikroklimatu pro různé druhy archivovaného materiálu zabývá např. Metodické centrum konzervace při Technickém muzeu v Brně, viz zdroj [26]. Metodickou publikaci s obdobným tématem vydal i NPÚ v podobě literatury [21]. [21][27][28]



Obr. 2.6.1.0 Obecné znázornění sorpční izotermy – množství absorbované vody na svislé ose bývá častěji vyjádřeno vlhkostí materiálu v % [zdroj: [27], upraveno: autor]

Interní mikroklima místnosti, určené pro pobyt osob, má větší (benevolentnější) rozsah mezí t_i a φ_i . Obecně lze říci, že receptory v těle člověka jsou poměrně citlivé na změnu teploty. Změnu relativní vlhkosti je člověk schopen zaznamenat až při velkém výkyvu. Rozsah mezí relativní vlhkosti vzduchu při pobytu osob se proto uvažuje obvykle 30 až 70 %. Při hodnocení vnitřního prostředí, určeného pro pobyt osob, však více než o teplotě a vlhkosti hovoříme o kvalitě tepelné pohody (podrobně definuje norma ČSN EN ISO 7730). Ta je hodnocena subjektivně pomocí parametrů PPD (předpokládané procento nespokojených) nebo PMV (předpokládané průměrné hodnocení), které řadí vnitřní prostředí do tří kategorií (A, B, C). Jednotlivé kategorie pak stanovují meze rozptylu hodnot vnitřní teploty od tzv. optimální výsledné teploty. Optimální výsledná teplota se stanovuje pro zimu a pro léto zvlášť.

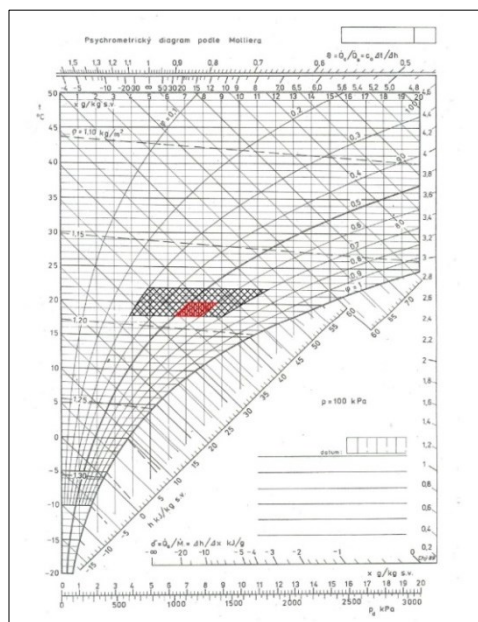
Je závislá na oblečení a fyzické aktivitě osazenstva hodnocené místnosti. Vliv oblečení je vyjádřen tepelným odporem v jednotkách clo ($1\ clo = 0,155\ m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$) a fyzická aktivita je vyjádřena metabolickým výdejem v jednotkách met ($1\ met = 58\ W \cdot m^{-2} = 100\ W$). [29]

Pro ilustraci rozdílu mezi prostředím vhodným pro uchovávané předměty a prostředím vhodným pro pobyt osob jsem zvolila co nejobecnější srovnání. V tabulce Tab. 2.6.1.0 předkládám některé doporučené meze, ve kterých by se měl pohybovat stav interního mikroklimatu v závislosti na kategorii prostředí. Jednotlivé druhy uchovávaných materiálů mají samozřejmě své předepsané meze, které se mohou od obecných požadavků i značně odlišovat.

Tab. 2.6.1.0 Ukázka rozmezí relativní vlhkosti a teploty, vycházející z požadavků pro různé kategorie vnitřního prostředí [zdroj: [20][21], zpracování: autor]

Kategorie prostředí (typ doporučení)	Rozmezí relativní vlhkosti RH (%)	Rozmezí teploty (°C)
ICOM Recommendations (1960), pro muzea, výstavy a galerie [zdroj: 21]	50 ± 5 (se sezóní změnou < 20%)	18 (se sezóní změnou < 14K)
"Standardní hodnoty pro uchování uměleckých děl" [zdroj: 21]	50 - 60	18 - 20
"Požadavek stálých klimatických podmínek" pro umělecká díla [zdroj: 21]	50 ± 5	18 ± 2
Optimální požadavky pro pobyt osob [zdroj: 20]	30 - 70	20 ± 2 (min. 18, max. 27) (pro PPD kategorie C)

Nejlépe je citlivost předepsaných mezí patrná při jejich grafickém vyjádření v h-x diagramu (viz Obr. 2.6.1.1). Z předchozí tabulky jsem zvolila pro srovnání šedě podbarvené řádky.



Obr. 2.6.1.1 Znárodnění doporučených oblastí stavu interního mikroklimatu – standardní hodnoty pro uchování uměleckých děl (menší, červeně vyšrafovaná oblast), doporučené rozmezí pro pobyt osob (větší, černě vyšrafovaná oblast) [zpracování: autor]

2.7 SYSTÉMY ZAJIŠŤUJÍCÍ INTERNÍ MIKROKLIMA V NEMOVITÝCH PAMÁTKÁCH

Se systémy, které zajišťují požadované mikroklima a pohodu prostředí v obydlích, se setkáváme po statisíciletí. Už naši pravěcí předkové po tom, co dokázali rozdělat oheň, budovali ve svých skalních přibýtcích ohniště, která můžeme označit jako předchůdce lokálních topidel. O mnoho let později, ve starověkých lázních nebo vilách v Řecku a Římě, bylo realizováno vytápění teplým vzduchem pod podlahu tzv. hypocaustum (viz Obr. 2.7.1.0 – vlevo nahoře), které můžeme označit za předchůdce podlahového vytápění. V zemích s horkým klimatem např. v Íránu se dodnes setkáváme se speciální podobou šachtového větrání (viz Obr. 2.7.1.0 - vpravo) (v doslovném překladu z anglického wind catcher = chytač větru nebo wind tower = větrná věž). Při stavbě římského Kolosea zase stavitelé mysleli na ochranu před nadměrným slunečním zářením, která byla realizovaná v podobě látkových markýz směřujících z obvodu zdi do středu Kolosea tzv. velarium (viz Obr. 2.7.1.0 – vlevo dole). Potenciál slunečního záření dokázali lidé zužitkovat i při návrhu budov a začali formovat principy solární architektury. Postupem let se tedy společně s lidstvem vyvíjely i systémy TZB-V. Nejstarší systémy byly založeny na základních fyzikálních principech.



Obr. 2.7.1.0 Dochované pozůstatky hypocaustu (vlevo nahoře) [zdroj: [30]], velarium na římském Koloseu (vlevo dole)[zdroj:[31]], větrací komín – wind catcher (vpravo) [zdroj:[32]]

V následujících podkapitolách se pokusím interpretovat přehled platných fyzikálních principů, na jejichž základě obecně fungují přirozené systémy větrání a vytápění budov. Dále uvedu přehled systémů větrání a vytápění, se kterými se můžeme nejčastěji setkat v souvislosti s nemovitými památkami. Nakonec zde zmíním i možnosti využití přirozených přírodních vlivů při budování staveb. Zde bude krátký odstavec věnován i stínění budov.

2.7.1 Základní fyzikální předpoklady pro přirozené děje využívané v TZB

V této stati bych se zaměřila především na pohyb tekutin. Tekutiny, konkrétně pak vzduch a voda, jsou nejvýznamnějšími teplotně nosnými látkami používanými v oblasti větrání a vytápění. Dle definice Ing. Karla Čupra, CSc., uvedené v [33], jsou tekutiny: „Látky s velmi malou soudržností molekul. Tangenciální síly (třecí) mezi částicemi jsou malé a vždy jsou podmíněny vzájemným pohybem těchto částic. Tekutiny se deformují již při působení velmi malých sil. Tekutina nemá vlastní tvar a spojitě vyplňuje a přijímá tvar vymezeného prostoru.“ Kategorie tekutin se dělí na: kapaliny, vzdušiny (plyny, páry) a plazma.

Matematický popis pohybu skutečných tekutin je i v dnešní době velmi komplikovaný. Nejreálněji popisují pohyb tekutin Navier-Stokesovy rovnice (1. pol. 19. stol.). Složitější případy jsou pomocí rovnic řešitelné pouze numericky. Analytické řešení obecného pohybu tekutin pomocí Navier-Stokesových rovnic však doposud neexistuje. Resp. toto řešení je natolik složité, že bylo zařazeno mezi sedm největších nevyřešených problémů matematiky, tzv. Problémů tisíciletí.

Proto se níže ve své práci omezím pouze na výtah nejdůležitějších jevů a fyzikálních principů, které pohyb tekutin popisují. Z hlediska fyziky se při popisu pohybu tekutin budu opírat především o zákony mechaniky, termodynamiky a kinetické teorie plynů. [33]

2.7.1.1 Vznik přirozeného proudění vzduchu

Horkovzdušné balony, plachtíci ptáci, větroně atp. využívají ke svému pohybu proudy teplého vzduchu, stoupající vzhůru. Tento jev je zapříčiněn pohybem vzduchu, který v přírodě způsobuje vznik větru a v budovách přirozené větrání. Nazýváme ho prouděním.

Proudění představuje jeden ze tří způsobů sdílení tepla, charakteristický pro tekutiny. Proudění můžeme popsat jako přemísťování skupin molekul, které vytvářejí zřetelné proudy. Dalšími dvěma způsoby sdílení tepla je vedení (přenos tepla mezi částicemi hmoty) a sálání (přenos tepla elektromagnetickým vlněním – jediné funguje i ve vakuu). V reálném prostředí se sdílení tepla děje většinou kombinací těchto tří uvedených způsobů. [33]

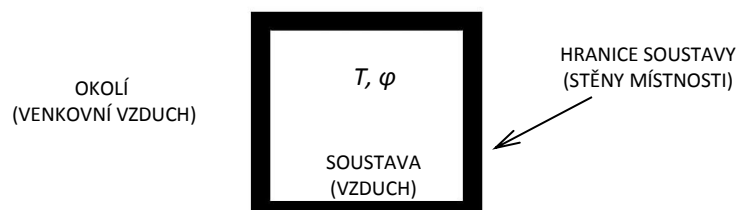
Při popisu přirozeného proudění vzduchu budu vycházet ze základních fyzikálních zákonů a jejich vzájemné interakce. Budou se zde prolínat i dva pohledy na soustavu. Jeden pohled bude popisovat soustavu z hlediska molekulárního a druhý z hlediska makroskopického tzn. jako kontinuum (spojité prostředí dle výkladu [34]). Základní fyzikální principy, které jsou spjaty se vznikem přirozeného proudění vzduchu, jsem se pokusila seřadit dle literatury [35] chronologicky tak, jak byly postupně objevovány a definovány:

- 2. Newtonův pohybový zákon (přelom 17. a 18. stol., Isaac Newton)
- Stavová rovnice ideálního plynu (počátek 19. stol., kolektiv autorů)
- Zákon zachování energie (40. – 50. léta 19. stol., Julius Robert von Mayer)
- 1. zákon termodynamiky (50. – 60. léta 19. stol., Julius Robert von Mayer)

Pro lepší přehled se pokusím problematiku demonstrovat pomocí ilustrací, které budou představovat uzavřenou izolovanou termodynamickou soustavu. Pro zjednodušení si ji

můžeme představit např. jako uzavřenou místnost naplněnou vzduchem (viz Obr. 2.7.1.1). Vzduch v místnosti bude představovat soustavu, stěny místnosti hranici soustavy a vnější vzduch bude představovat okolí.

Tato soustava bude charakterizována dvěma stavovými veličinami – teplotou T a relativní vlhkostí φ . Stavové veličiny obecně určují stav soustavy (stav zkoumané látky). V některých případech bude soustava doplněna o dějové veličiny, které budou určovat její interakci s okolím – např. práce W , teplo Q . [33][36]



Obr. 2.7.1.1 Znárodnění uzavřené izolované termodynamické soustavy charakterizované vybranými stavovými veličinami teplotou T a relativní vlhkostí φ [zdroj: autor]

Nejprve se podíváme na soustavu z hlediska molekulárního. Pro popis soustavy, tvořenu v našem případě vzduchem, můžeme použít stavovou rovnici ideálního plynu dle [36]:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad (1)$$

kde	p	je	tlak plynu [Pa];
	V		objem plynu [m^3];
	n		látkové množství plynu [mol];
	R		obecná plynová konstanta $R = 8,31 [\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$;
	T		termodynamická teplota $T = t (\text{°C}) + 273,15 [\text{K}]$;

Rovnice popisuje souvislost mezi makroskopickými vlastnostmi plynu (tlak, teplota, objem) a vlastnostmi jeho molekul (látkové množství, obecná plynová konstanta). Základem pro vznik tohoto vztahu byly zákony: Avogadrův, Gay-Lussacův a Boyle-Mariottův. [33][36]

Pokud rovnici (1) vztáhneme na 1 kg vzduchu s použitím veličiny měrného objemu v a měrné plynové konstanty r dostáváme stavovou rovnici ve tvaru (2. a). V případě, že nahradíme měrný objem v měrnou hmotností (hustotou) ρ , získáváme upravenou stavovou rovnici ve tvaru (2. b), který je zásadní pro výklad vzniku přirozeného větrání [33][37]:

$$p \cdot v = r \cdot T \quad (2. a)$$

$$\rho = \frac{p}{r \cdot T} \quad (2. b)$$

kde	p	je	tlak vzduchu [Pa];
	v		měrný objem vzduchu [$\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$];
	r		měrná plynová konstanta vzduchu [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$];
	T		termodynamická teplota vzduchu [K];
	ρ		měrná hmotnost (hustota) [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$];

Základním předpokladem je tedy fakt, že hustota vzduchu je nepřímo úměrná teplotě vzduchu. Tedy čím bude vzduch teplejší, tím se bude jeho hustota zmenšovat.

Vzduch, který nás běžně obklopuje, označujeme termínem „vlhký vzduch“ a řadíme jej do kategorie vzdušnin. Vlhký vzduch je složený ze složky suchého vzduchu a vodní páry a platí pro něj Daltonův zákon definovaný vztahem [37]:

$$p = p_a + p_d \quad (3)$$

kde p je celkový tlak vlhkého vzduchu [Pa];
 p_a parciální (dílčí) tlak suché složky vzduchu [Pa];
 p_d parciální (dílčí) tlak vodních par ve vzduchu [Pa];

Při zohlednění výše uvedeného Daltonova zákona (3) můžeme vztah pro výpočet hustoty (2. b) přeformulovat do rovnice běžně používané pro vlhký vzduch takto [37]:

$$\rho = \frac{p - 0,378 p_d}{r_a \cdot T} = \frac{p - 0,378 p_d}{287,1 \cdot (t + 273,15)} \quad (4)$$

kde ρ je hustota vlhkého vzduchu [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$];
 p celkový tlak vlhkého vzduchu [Pa];
 p_d parciální tlak vodních par ve vzduchu [Pa];
 r_a měrná plynová konstanta suchého vzduchu $r_a = 287,1$ [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$];
 T termodynamická teplota $T = t$ ($^{\circ}\text{C}$) + 273,15 [K];

Dalším z výchozích zákonů, pomocí něhož můžeme zdůvodnit pohyb vzduchu, je *zákon zachování energie* definovaný vztahem dle [38]:

$$\Delta E_{celk} = \Delta E_k + \Delta E_p + \Delta E_{int} = 0 \quad (5)$$

kde ΔE_{celk} je změna celkové energie [J];
 ΔE_k změna kinetické energie [J];
 ΔE_p změna potenciální energie [J];
 ΔE_{int} změna vnitřní energie [J];

Přičemž členy E_k a E_p představují mechanickou energii soustavy a člen E_{int} vnitřní energii soustavy (zohledňuje pohyb molekul). Zákon popisuje skutečnost, že energie ze soustavy nemůže náhodně zmizet, ani se v ní objevit. Dále pak ze zákona vyplývá, že jednotlivé typy energií se v uzavřené soustavě mohou přeměňovat, přičemž celková energie soustavy zůstává zachována. Znak Δ vyjadřuje ve vztahu změnu = děj, proces. Změnou tedy rozumíme přechod soustavy z počátečního do koncového stavu. [38]

Pokud budeme uvažovat se vzduchem v místnosti jako s kontinuem, můžeme kinetickou energii E_k a potenciální energii E_p soustavy definovat následujícími vztahy dle [38]:

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad (6)$$

$$E_p = m \cdot g \cdot y \quad (7)$$

kde	E_k	je	celková kinetická energie soustavy [J];
	E_p		tíhová potenciální energie soustavy [J];
	m		hmotnost soustavy [kg];
	v		rychlost pohybu částic soustavy [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$];
	g		tíhové zrychlení $g = 9,81$ [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$];
	y		svislá poloha částic soustavy nad referenčním bodem ($y_0=0$) [m];

Energie souvisí se silami, jimiž na částice v soustavě působí okolí. Změna energie je tedy závislá na práci sil. Síly pak mohou být různého druhu: tíhová, třecí, odstředivá aj. Vztahy (6) a (7) tedy vycházejí z 2. Newtonova pohybového zákona dle [38]:

$$\Sigma \vec{F} = m \cdot \vec{a} \quad (8)$$

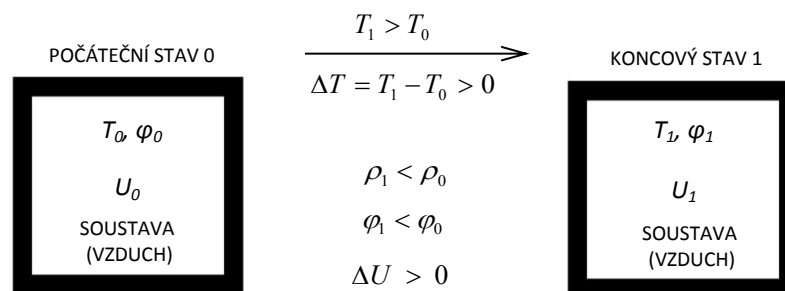
kde	$\Sigma \vec{F}$	je	vektor výslednice sil působících na částici (těleso) [N];
	m		hmotnost částice (tělesa) [kg];
	\vec{a}		vektor zrychlení částice (tělesa) [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$];

V případě, že budeme současně soustavu považovat za soubor částic (molekul), můžeme dále vyjádřit i změnu vnitřní energie značenou tentokrát ΔU a definovanou vztahem dle [36]:

$$\Delta U = n \cdot C_V \cdot \Delta T \quad (\text{pro ideální plyn}) \quad (9)$$

kde	ΔU	je	změna vnitřní energie soustavy [J];
	n		látkové množství plynu [mol];
	C_V		molární tepelná kapacita plynu při stálém objemu [$\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$];
	ΔT		změna termodynamické teploty soustavy [K];

Důležitým závěrem ze vztahu (9) je, že změna vnitřní energie soustavy je závislá na změně teploty. Stejně tak je na teplotě závislá například i střední kinetická energie jedné molekuly $\overline{E_k}$ (která tvoří složku vnitřní energie soustavy) nebo změna objemu ΔV (objemová teplotní roztažnost). Změna teploty má tedy zásadní vliv na energetické změny v soustavě, což je znázorněno na Obr. 2.7.1.2.



Obr. 2.7.1.2 Znázornění uzavřené termodynamické soustavy při přechodu z počátečního do koncového stavu, způsobeného změnou teploty [zdroj: autor]

Při pohledu na Obr. 2.7.1.2 však zdánlivě neplatí výše zmíněný zákon zachování energie definovaný vztahem (5). Jelikož změna teploty v systému způsobí i změnu vnitřní energie ΔU , měla by být výsledná změna celkové energie ΔE_{celk} nenulová. S přihlédnutím k 1. zákonu termodynamiky, vyjádřeným vztahem (11), však zákon zachování energie nepopře a tvrzení o nenulové celkové energii bude pravdivé. Změna teploty (stavové veličiny) totiž nenastala samovolně, ale jako důsledek děje. Soustava přijmula teplo Q a vykonala práci W . V tomto případě již nemůžeme uzavřenou termodynamickou soustavu nazývat jako izolovanou, protože je vystavená působení vnějších sil z okolí a platí pro ni *zákon zachování energie* v následující podobě [36][38]:

$$W = \Delta E_{celk} = \Delta E_k + \Delta E_p + \Delta E_{int} \quad (10)$$

kde	W	je	práce vykonaná vnějšími silami [J];
	ΔE_{celk}		změna celkové energie [J];
	ΔE_k		změna kinetické energie [J];
	ΔE_p		změna potenciální energie [J];
	ΔE_{int}		změna vnitřní energie [J];

Souvislost mezi změnou vnitřní energie soustavy ΔU , teplem Q dodaným do soustavy a prací W vykonanou soustavou, popisuje *1. zákon termodynamiky* následovně [36]:

$$\Delta U = Q - W \quad (11)$$

kde	ΔU	je	změna vnitřní energie soustavy [J];
	Q		teplo vyměněné soustavou [J];
	W		práce vykonaná soustavou [J];

Při izochorickém ději, kdy je změna vnitřní energie ΔU rovna pouze teplu Q dodanému do soustavy, vychází ze vztahů (9) a (11) pro obor TZB-V velmi důležitá rovnice [36]:

$$\Delta U = Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (12)$$

kde	ΔU	je	změna vnitřní energie soustavy [J];
	Q		teplo dodané do soustavy [J];
	m		hmotnost soustavy [kg];
	c		měrná tepelná kapacita soustavy [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$];
	ΔT		teplotní rozdíl mezi počáteční a koncovou teplotou soustavy [K];

Pro doplnění všech souvislostí uvedu ještě vztahy mezi prací vykonanou vnějšími silami W a změnou kinetické a potenciální energie ΔE_k a ΔE_p [38]:

$$\Delta E_k = W \quad (13)$$

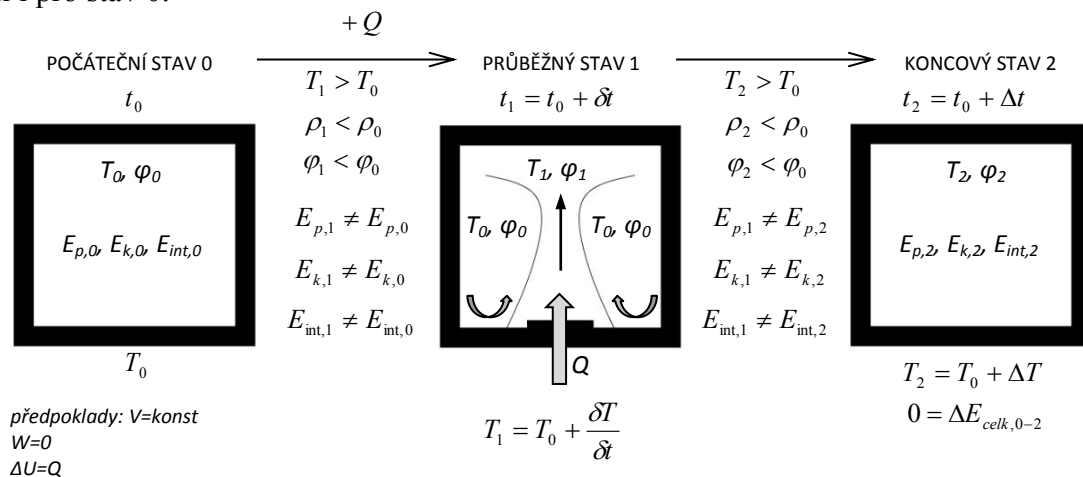
$$\Delta E_p = -W_g \quad (14)$$

kde	ΔE_k	je	změna kinetické energie [J];
-----	--------------	----	------------------------------

ΔE_p	změna potenciální energie [J];
W	práce vykonaná výslednicí sil [J];
W_g	práce tíhové síly [J];

Nyní už lze, kombinací výše uvedených vztahů (1) – (14), vysvětlit děj, který je příčinou vzniku přirozeného proudění vzduchu.

Víme, že teplo je předáváno vždy z prostředí o vyšší teplotě do prostředí o nižší teplotě. Na obrázku Obr. 2.7.1.3 vidíme v průběžném stavu 1 zdroj, který předává do uzavřené soustavy teplo Q . Uvažujme zjednodušení, že objem místnosti zůstává konstantní $V=konst$. V okolí zdroje dochází k ohřátí vzduchu, což má za následek změnu jeho stavových veličin ($T_0 \rightarrow T_1$, $\rho_0 \rightarrow \rho_1$). Oblast teplejšího vzduchu T_1 má menší hustotu ρ_1 a tudíž na ni působí i menší tíhová síla F_G , než na oblast vzduchu s původní teplotou T_0 o hustotě ρ_0 . V důsledku toho teplejší vzduch začíná měnit svoji polohu v soustavě a stoupá vzhůru – mění se potenciální energie E_p . Vlivem zvýšení teploty dochází i ke změně vnitřní energie ΔU . V důsledku zákona zachování energie se soustava snaží udržet v rovnováze a na místo, které opustil ohřátý vzduch s teplotou T_1 se přemístí vzduch s původní teplotou T_0 , který se v důsledku sdílení tepla ohřeje a děj se opakuje. V koncovém stavu 2 je zdroj tepla odstraněn a dochází k vyrovnání a ustálení teploty v místnosti tak, aby všechny složky celkové energie byly opět v rovnovážném stavu, který platil i pro stav 0.



Obr. 2.7.1.3 Znárodnění uzavřené termodynamické soustavy při přechodu z počátečního do koncového stavu (kroky 0-1-2), kdy ve stavu 1 dochází ke sdílení tepla a ke vzniku proudění vzduchu [zdroj: autor]

2.7.1.2 Přirozené proudění v kontextu se systémy TZB

Jak již bylo řečeno výše, vzduch a voda (včetně páry) jsou nejdůležitějšími teplonosnými látkami, které se používají ve vytápění, větrání a ochlazování budov. Princip popsany na Obr. 2.7.1.3 by byl charakteristický pro lokální způsob úpravy interního mikroklimatu, např. pro vytápění místnosti otevřeným ohništěm. Zdroj tepla je přímo v místnosti, kterou chceme vytápět. Ve vytápění a vzduchotechnice se však setkáváme i s centrálními systémy, kde zdroj tepla upraví teplonosnou látku mimo místnost. Do místnosti je teplonosná látka distribuována pomocí rozvodů, které jsou zakončeny distribučními prvky umístěnými v místnosti. Z tohoto

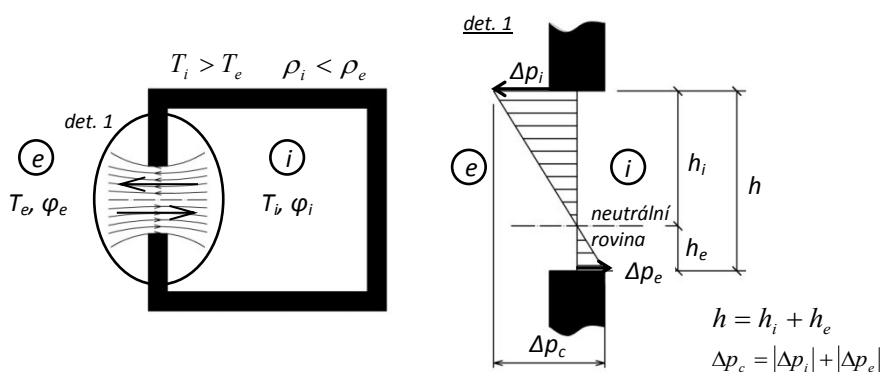
důvodu je nutné rozšířit fyzikální základy zmiňované v kapitole 2.7.1.1 o další formule, pomocí kterých lze popsat proudění tekutin skrz ohraničenou oblast, vymezenou plochou S . Opět se pokusím uvést tyto vztahy dle literatury [35] v chronologickém pořadí:

- Rovnice kontinuity (přelom 15. – 16. stol., první definice - Leonardo da Vinci)
- Vztahy pro výpočet tlaku v tekutině (polovina 17. stol., Pascalovy zákony)
- Bernoulliho rovnice (40. léta 18. stol., Daniel Bernoulli)

V předchozím odstavci byl zjednodušeně demonstrován vznik přirozeného proudění vzduchu v uzavřené termodynamické soustavě. Reálné budovy a místnosti však představují spíše soustavu polouzavřenou. Definice dle literatury [33] chápe polouzavřenou soustavu jako soustavu, která je s okolím v kontaktu přes vymezenou plochu. Vymezenou plochu si lze představit jako otvory, spáry a netěsnosti obálky budovy. Všemi těmito vymezenými plochami může docházet k přirozenému větrání budovy.

Vznik přirozeného větrání

Pokud bych měla znázornit polouzavřenou soustavu, mohla bych si ji představit jako místnost s otvorem v jedné z obvodových stěn. V tomto případě bude vzduch v místnosti představovat soustavu, venkovní vzduch okolí a otvor vymezenou kontaktní plochu. Budu předpokládat, že teplota vzduchu v místnosti T_i je vyšší než teplota vzduchu v exteriéru T_e . Opět zde platí zákony zachování energie. Aby bylo dosaženo tepelné rovnováhy mezi teplotou vzduchu v místnosti a teplotou vzduchu v exteriéru, začne otvorem proudit vzduch. Hmotnostní průtoky přiváděného i odváděného vzduchu M_p a M_o musí být taktéž v rovnováze. V případě bezvětří, bude teplejší vzduch T_i proudit horní částí otvoru a chladnější vzduch T_e spodní částí otvoru. Toto proudění vzduchu je na Obr. 2.7.1.4 (vlevo) znázorněno pomocí proudnic (proudnice = myšlená čára, která znázorňuje trajektorii pohybu částic).



Obr. 2.7.1.4 Přirozené větrání - schéma polouzavřené termodynamické soustavy s vyznačením proudnic v otvoru (vlevo), znázornění tlakových poměrů v otvoru při větrání (vpravo)
[zdroj: autor]

Pomyslným rozhraním mezi proudnicemi směřujícími dovnitř do místnosti a ven z místnosti je tzv. neutrální rovina. Neutrální rovina představuje oblast s nulovým tlakem a

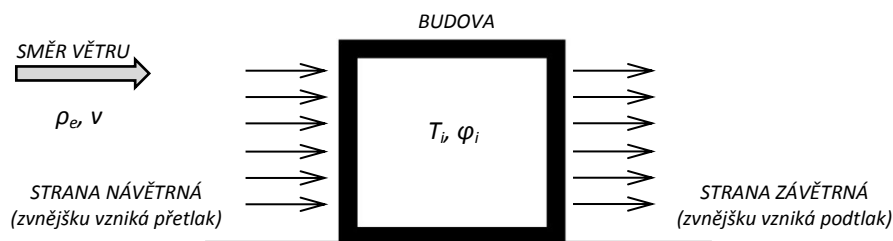
virtuálně rozděluje otvor na dvě plochy – plochu přiváděného vzduchu a plochu odváděného vzduchu. V pravé části obrázku jsou pak znázorněny tlakové poměry v ploše otvoru.

U přirozeného větrání je, v případě bezvětrí, vyvětrání místnosti otvorem závislé na tlakové diferenci, která je daná rozdílem teplot (přesněji hustot) vnitřního a venkovního vzduchu. Tuto tlakovou diferenci označujeme též termínem „termický vztlak“ a platí pro něj vztah [37]:

$$\Delta p_t = h \cdot (\rho_e - \rho_i) \cdot g \quad (15)$$

kde	Δp_t	je	tlaková diference způsobená rozdílem teplot [Pa];
	h		výška [m];
	ρ_e		hustota venkovního vzduchu [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$];
	ρ_i		hustota vnitřního vzduchu [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$];
	g		tíhové zrychlení [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$];

V reálných podmínkách však přirozené větrání ovlivňuje ještě jeden faktor a tím je vítr. Proto bychom měli kromě termického vztlaku uvažovat i s dynamickým účinkem větru. Vítr představuje kinetickou energii, která působí zvenku na budovu. V tomto případě je nutné u budovy rozlišovat návětrnou a závětrnou stranu viz Obr. 2.7.1.5.



Obr. 2.7.1.5 Znázornění návětrné a závětrné strany budovy [zdroj: autor]

Pro zohlednění vnějších tlakových poměrů, které vznikají na různých stranách budovy, existují experimentálně stanovené koeficienty tzv. tlakové součinitele větru A , které mohou teoreticky nabývat hodnot z intervalu $\langle -1; 1 \rangle$. Přičemž na návětrné straně nabývá součinitel kladných hodnot a na závětrné straně záporných hodnot. Tlak vyvolaný účinky větru je tedy charakterizován vztahy dle [37]:

$$p_n = A_n \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_e \cdot v^2 \quad (16. a)$$

$$p_z = A_z \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_e \cdot v^2 \quad (16. b)$$

$$\Delta p_v = (A_n - A_z) \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_e \cdot v^2 \quad (16. c)$$

kde	p_n	je	dynamický tlak větru na návětrné straně budovy [Pa];
	p_z		dynamický tlak větru na závětrné straně budovy [Pa];
	Δp_v		tlaková diference způsobená vlivem větru [Pa];

A_n	tlakový součinitel větru na návětrné straně budovy [-];
A_z	tlakový součinitel větru na závětrné straně budovy [-];
ρ_e	hustota venkovního vzduchu [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$];
v	rychlost větru [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$];

V analogii se zákonem zachování mechanické energie, kdy celkovou mechanickou energii E tvoří součet potenciální energie E_p a kinetické energie E_k , platí pro celkový tlak, působící na větrací otvor následující vztah:

$$\Delta p_c = \Delta p_t + \Delta p_v \quad (17)$$

kde	Δp_c	je	celkový tlak působící na větrací otvor [Pa];
	Δp_t		tlaková diference způsobená rozdílem teplot [Pa];
	Δp_v		tlaková diference způsobená vlivem větru [Pa];

Přirozené proudění v ohraničené oblasti

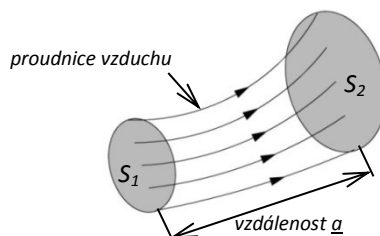
V úvodu této podkapitoly bylo uvedeno, že kromě lokálních systémů pro úpravu interního mikroklimatu existují i centrální systémy. U těchto systémů je teplotněsustanná látka distribuována pomocí rozvodů. Rozvody představují ohraničenou oblast, kterou proudí teplotněsustanná látka. Při popisu proudění tekutin v rozvodech nás zajímají především tlakové poměry, objemové průtoky a rychlosti proudění.

Pro vyjádření tlaku tekutiny ve vztahu k ploše můžeme používat následující vztah dle [36]:

$$p = \frac{F}{S} \quad (18)$$

kde	p	je	tlak v tekutině [Pa];
	F		síla působící na plochu [N];
	S		obsah plochy [m^2];

Pokud nalistujeme zpět Obr. 2.7.1.4, byly v levé části obrázku znázorněny proudnice, které představovaly trajektorie jednotlivých molekul vzduchu, procházející skrz otvor. Otvor si lze také představit jako dvě plochy (počáteční a koncovou) vzdálené od sebe o určitou délku a , přes které tekutina protéká. Na Obr. 2.7.1.6 je znázorněn výsek svazku proudnic, které procházejí plochami S_1 a S_2 .



Obr. 2.7.1.6 Znáznornění proudu vzduchu protékajícího ohraničenými plochami S_1 a S_2
[zdroj: autor]

Opět zde platí zákon zachování energie. Oběma vymezenými plochami S_1 a S_2 , musí při ustáleném proudění procházet konstantní množství tekutiny, které můžeme definovat objemovým tokem \dot{V} případně hmotnostním tokem \dot{M} . Z obrázku 2.7.1.6 je patrné, že u menšího průřezu S_1 jsou proudnice blíže u sebe a tekutina touto oblastí protéká větší rychlostí v_1 , než je rychlost v_2 v průřezu S_2 . Vztah, který popisuje tuto skutečnost, se nazývá *rovnice kontinuity* a je definován následovně [36]:

$$\dot{V} = S \cdot v = konst \quad (19)$$

kde S je obsah průřezu [m^2];
 v rychlost tekutiny v průřezu [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$];
 \dot{V} objemový tok [$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$];

Pro vyjádření tlakových poměrů uplatníme vztah, který se nazývá *Bernoulliho rovnice*. Tvary Bernoulliho rovnice mohou mít různou podobu, nejjednodušší zápis lze vyjádřit vztahem dle [36]:

$$g \cdot \rho \cdot y + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 + p = konst \quad (20)$$

kde g je tíhové zrychlení [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$];
 ρ hustota tekutiny [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$];
 y převýšení průřezu od vztažné vodorovné roviny [m];
 v rychlost tekutiny v průřezu [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$];
 p statický tlak tekutiny v průřezu [Pa];

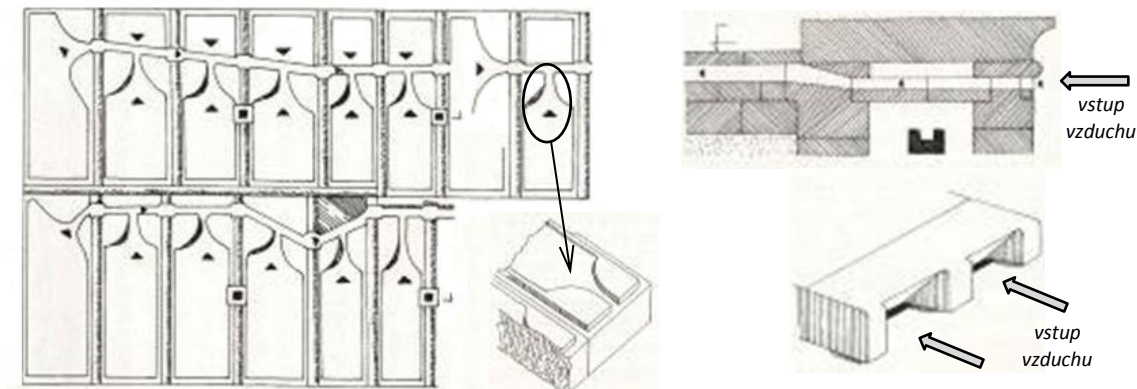
V rovnici (20) je dobře patrná analogie se zákonem zachování energie ve tvaru (5). Celková energie zůstává konstantní a je rovna součtu potenciální ($g \cdot \rho \cdot y$) a kinetické energie ($\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2$) a statického tlaku (p).

Nejstarší z výše uvedených vztahů, jistou podobu rovnice kontinuity (19), použil Leonardo da Vinci před bezmála 500 lety [35]. Přirozené děje a jevy, které jsem se výše pokoušela vyjádřit aplikací platných fyzikálních zákonů, znali naši předkové už tisíce let a dokázali je využít ve svůj prospěch. Aniž by uměli tyto děje exaktně popsat nebo zdůvodnit, dokázali postavit budovy, které byly přirozeně větrané, teplovzdušně vytápěné, nebo dokonce adiabaticky ochlazované. Důkazem je kupříkladu již zmiňovaný hypocaust, používaný ve starověku. Při stavbě budov se totiž lidé řídili empirickými pravidly. Můžeme říci, že každá kultura si vytvořila know-how, které se formovalo na základě zkušeností po celé generace.

I v dnešní době, kdy jsou nejnovější vědecké poznatky a metody na dosah ruky, však není na škodu, ohlédnout se na know-how našich předků a pokusit se pochopit principy, které při návrhu systémů větrání, vytápění nebo chlazení používali. Zkoumání – pochopení – obnova případně vhodná náhrada těchto systémů, to je proces vedoucí k zachování nejen cenných historických interiérů, ale i celé budovy.

2.7.2 Přirozené větrání

Nejstarší větrací systémy byly uplatněny na egyptských chrámových stavbách před téměř 5 000 lety, jak uvádí literatura [39] a [12]. Jednalo se o horizontální systém na sebe navazujících dutin, situovaných pod dlažbou, které byly vytvořené tesanými kamennými bloky různých tvarů (viz Obr. 2.7.2.0). Tento systém sloužil mimo větrání i k odvodu srážkových vod ze střechy. Větrací dutiny tedy pomáhali stavbu i vysoušet. [12] [39]



Obr. 2.7.2.0 Nejstarší doložený větrací systém egyptských staveb – půdorys horizontálního systému na sebe navazujících dutin pod dlažbou (vlevo) s vyznačeným detailem tesaného kamenného bloku, detail větrací dutiny ve střeše s napojením na zbytek systému pod dlažbou (vpravo nahoře), detail tesaného kamenného bloku s dutinami pro přívod vzduchu (vpravo dole)
[zdroj: [39], upraveno: autor]

V předchozí kapitole byl vysvětlen vznik a fyzikální princip přirozeného větrání. V nemovitých památkách se můžeme setkat se čtyřmi základními podobami tohoto typu větrání: *infiltrace*, *provětrávání*, *aerace* a *šachtové větrání*.

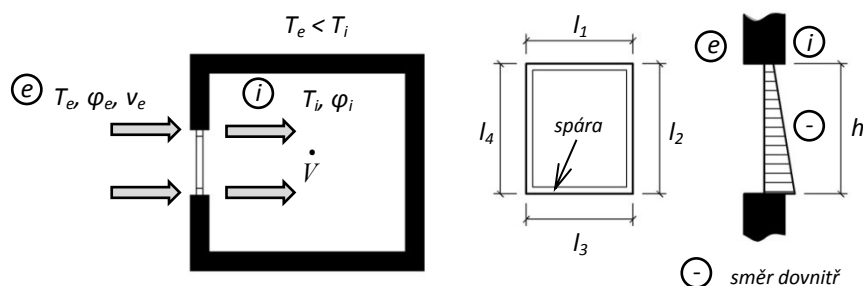
Zásadní výhodou přirozeného větrání je to, že není nijak energeticky náročné a funguje samovolně. Z toho však vyplývá i jeho hlavní nevýhoda a to, že jeho správné fungování je závislé na příznivých okrajových podmínkách – funguje dobře při větším teplotním rozdílu vnitřního a venkovního vzduchu a také při příznivém působení větru.

V následujících podkapitolách budu stručně charakterizovat jednotlivé typy přirozeného větrání.

2.7.2.1 Infiltrace

Infiltrací rozumíme přirozenou výměnu vzduchu v budovách. Dochází k ní vlivem netěsnosti obálky budovy, zejména pak netěsnostmi v okolí oken a dveří – jedná se především o spáry. K infiltraci dochází vlivem rozdílů teplot vnitřního a venkovního vzduchu a také účinkem větru (podrobněji viz kapitola 2.7.1.2). Čím větší je rozdíl teplot vnitřního a venkovního vzduchu, tím intenzivnější je infiltrace. Největší průtok vzduchu spárami oken a dveří tedy můžeme zaznamenat při větrném zimním počasí, kdy venková teplota klesá hluboko pod bod mrazu. [40][41]

Schéma větrání infilrací je znázorněno na obrázku Obr. 2.7.2.1.



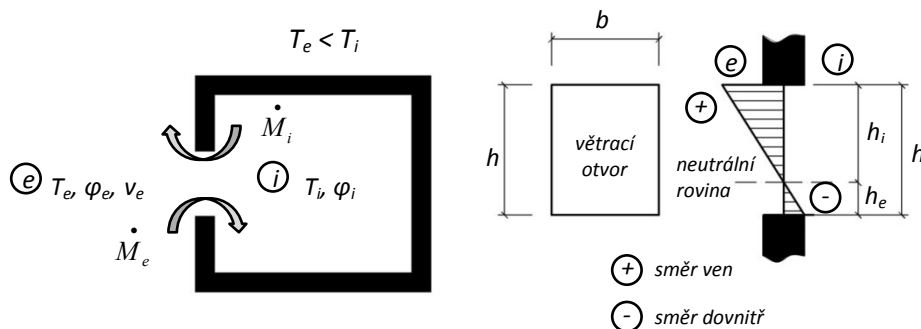
Obr. 2.7.2.1 Schéma větrání infiltrací s naznačením proudění vzduchu (vlevo) a s naznačením tlakových poměrů ve větracím otvoru (vpravo) [zdroj: autor]

Objemový průtok vzduchu \dot{V} infiltrací závisí na tlakovém rozdílu Δp (vliv teplot i působení větru), na délce spar l a na součiniteli spárové průvzdušnosti i . Pro výpočet objemového průtoku vzduchu \dot{V} infiltrací, platí vztahy uvedené například v literatuře [37] a [20]. [37]

2.7.2.2 Provětrávání

Tento druh přirozeného větrání je realizován např. otevřením okna v místnosti, kterou potřebujeme vyvětrat. Pohyb vzduchu při větrání je opět závislý na rozdílu teplot mezi interiérem a exteriérem a na působení větru. [41]

Schéma větrání otevřeným oknem je znázorněno na Obr. 2.7.2.2.



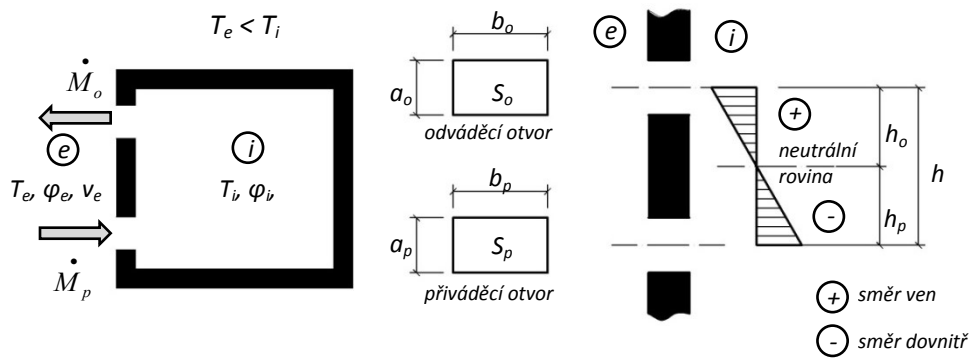
Obr. 2.7.2.2 Schéma provětrávání otevřeným oknem s naznačením proudění vzduchu (vlevo) a s naznačením tlakových poměrů ve větracím otvoru (vpravo) [zdroj: autor]

Do výpočtu hmotnostního průtoku vzduchu \dot{M} otevřeným otvorem vstupují parametry: rozměry otvoru - šířka b a výška h , hustoty vzduchu v interiéru a exteriéru ρ_i a ρ_e , tíhové zrychlení g a výtokový součinitel μ (stanovený empiricky pro různé typy otvorů a výplní). Pro výpočet hmotnostního průtoku vzduchu \dot{M} infiltrací, platí vztahy dohledatelné v literatuře [37] a [20]. [37]

2.7.2.3 Aerace

Jedná se znovu o samočinné větrání. V tomto případě jsou v obvodové zdi větrané místnosti umístěny regulovatelné otvory, které zajišťují přívod a odvod vzduchu. Přívadecí otvory jsou umístěny zpravidla co nejnižší u podlahy a odváděcí otvory pod stropem. [40][41]

Schéma větrání pomocí aeračních otvorů je znázorněno na obrázku níže.



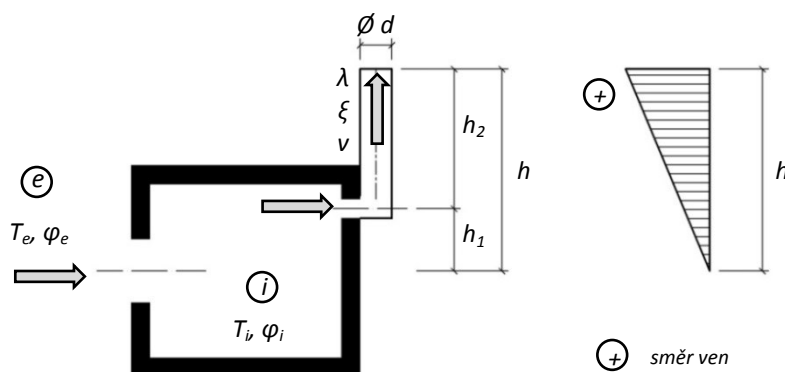
Obr. 2.7.2.3 Schéma větrání aerací s naznačením proudění vzduchu (vlevo) a s naznačením tlakových poměrů ve větraném prostoru (vpravo) [zdroj: autor]

Při stanovení velikosti aeračních otvorů vycházíme z větrací rovnováhy, která je charakterizována hmotnostními průtoky odváděného a přiváděného vzduchu \dot{M}_o, \dot{M}_p . Dále nás při výpočtu aerace zajímá tlakový rozdíl Δp způsobený rozdílem teplot vnitřního a venkovního vzduchu. Podrobné výpočtové vztahy pro stanovení velikosti a převýšení aeračních otvorů uvádí např. literatura [37] a [20]. [37]

2.7.2.4 Šachtové větrání

Jak již sám název napovídá, větrání místnosti je zajištěno otvory, ústícími do svislých šachet vyvedených nad střechu objektu. Větrací otvory bývají umístěny pod stropem místnosti. Zde se shromažďuje teplý vzduch, který je potřeba odvést. K větrání dochází opět díky rozdílu teplot mezi vnitřním a venkovním prostorem, který je podpořen vztlakem vzniklým vlivem účinné výšky šachty (komínový efekt). [40][41]

Schéma šachtového větrání je znázorněné níže na Obr. 2.7.2.4.

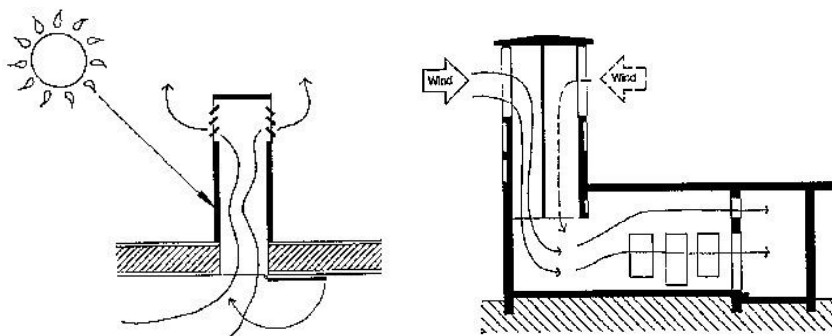


Obr. 2.7.2.4 Schéma šachtového větrání s naznačením proudění vzduchu (vlevo) a s naznačením tlakových poměrů v šachtě (vpravo) [zdroj: autor]

U tohoto typu větrání je stěžejní určit účinný tah šachty, charakterizovaný tlakovým rozdílem Δp . Parametry, které v tomto případě vstupují do výpočtu, jsou: hustoty vzduchu v interiéru a exteriéru ρ_i a ρ_e , tíhové zrychlení g , převýšení h , průměr šachty d (resp. rozměr

šachty $a \times b$), rychlost proudění vzduchu v šachtě v , součinitel tření λ , součet součinitelů vřazených odporů $\Sigma\zeta$, rozdíl tlaků vně a uvnitř budovy p_e a p_i . Vztah pro výpočet šachtového větrání můžeme nalézt v literatuře [37] nebo [20]. [37]

Někdy mohl být komínový efekt šachty podpořen i solární energií – obdobný princip jak u solárních komínů (schéma viz Obr. 2.7.2.5 vlevo). Jindy byl zase komínový efekt podpořen kinetickou energií větru. Tento systém se používá dodnes především v zemích s horkým klimatem, kde jsou součástí budov chytače větru (viz Obr. 2.7.1.0 v úvodu kapitoly). Schéma větrání budovy pomocí chytače větru je znázorněno na Obr. 2.7.2.5 vpravo.



Obr. 2.7.2.5 *Specifické podoby šachtového větrání – šachtové větrání podpořené účinkem solární energie - solární komín, šachtové větrání podpořené hybností větru – wind catcher [zdroj: [42]]*

2.7.3 Nucené větrání

Nucené větrání se na rozdíl od přirozeného vyznačuje tím, že pohybu vzduchu je dosaženo dodáním mechanické práce³. V souladu se zákonem zachování energie zmiňovaným výše víme, že práce vykonaná vnějšími silami W je rovna přírůstku kinetické energie ΔE_k (viz vztah (13)). Mechanickou práci v systému nuceného větrání zajišťuje ventilátor, kinetická energie je pak charakterizována rychlostí proudění ve vzduchovodu.

Ventilátor ke svému chodu potřeboval přísun energie (převážně elektrické, dříve však i páry). Proto se se systémy nuceného větrání v budovách můžeme reálně setkávat nejdříve na přelomu 18. a 19. století. V 19. století byl nejvýznamnějším zdrojem energie parní stroj. Později, ve 2. polovině 19. stol., se začala v technických aplikacích využívat i elektřina.

O nuceném větrání stále hovoříme i v případech, kdy kromě řízené výměny vzduchu provádíme ještě filtraci vzduchu a nejvýše jednu termodynamickou úpravou. Nejčastěji bývá realizován ohřev vzduchu, pak se jedná o teplovzdušné větrání s vytápěním. [37]

³ Teoreticky lze za nucené větrání označit i případy, kde mechanickou práci potřebnou k uvedení vzduchu do pohybu vykonávali lidé. Takovéto nucené větrání je známé už z dob před našim letopočtem, kdy se používaly „vějíře“ spletené z rostlinných vláken a ovládané lidmi.

V novodobější historii se s vějíři můžeme setkat i v budovách, kde jsou zavěšeny pod stropem větrané místnosti. Pohyb vějíře obvykle zajišťovala soustava lan ovládaná opět člověkem. Modernější vějíře bývají poháněny i elektromotorem. Vějíře mohou mít různé tvary a bývají vyrobeny z různých materiálů.

Tento typ nuceného větrání v budovách je možné nalézt dodnes např. v Indii, a je rozšířený pod názvem *punkah*. [43][43]

Jedním z nejdůležitějších parametrů, který určujeme při návrhu nuceného větrání je objemový tok přiváděného a odváděného vzduchu \dot{V}_p a \dot{V}_o . Hodnotu objemového toku přiváděného vzduchu pak určujeme pomocí některé z následujících bilancí: bilance škodlivin (z hmotnostního toku škodliviny), tepelné bilance (z tepelných ztrát a zisků různého původu), vlhkostní bilance (z hmotnostního toku vznikajících vodních par), dávky čerstvého vzduchu (dle počtu osob) resp. intenzity výměny vzduchu (dle objemu místnosti). Další důležitou veličinou, kterou je třeba stanovit při návrhu nuceného větrání je teplota přiváděného vzduchu t_p . Podrobnou klasifikaci systémů nuceného větrání a jednotlivé výpočtové vztahy je možné nalézt v publikacích [37], [20]. [20][37]

Co se týče provedení systémů, mohou být opět lokální nebo centrální. Lokální systémy v tomto případě větrají pouze určité oblasti v místnosti. Patří sem vzduchové sprchy, oázy, clony a místní odsávání. Podrobněji opět literatura [37]. Centrální systémy jsou určeny k větrání celé místnosti. Centrální systém nuceného větrání je obvykle tvořen následujícími částmi: vzduchotechnickou jednotkou přívodní (obsahující minimálně ventilátor, často doplněnou o filtr, ohřívač a směšovací komoru) vzduchotechnickou jednotkou odvodní (obsahující minimálně ventilátor, často doplněnou o filtr), rozvody vzduchu, koncovými distribučními elementy ve větrané místnosti, koncovými elementy ústíci do exteriéru.

2.7.4 Klimatizace

Jak již bylo naznačeno v předchozím odstavci, klimatizace má mnoho společných atributů s nuceným větráním. Fakticky se liší pouze v počtu prováděných termodynamických úprav. Nucené větrání se vyznačovalo nejvýše jednou termodynamickou změnou. U klimatizačních systémů lze provádět kombinaci až čtyř termodynamických úprav vzduchu - ohřev, chlazení, vlhčení a odvlhčování. Podrobně se klasifikací klimatizačních systémů a jednotlivými výpočtovými vztahy zabývá literatura [37] a [20]. [20]

Jedním z parametrů, který určujeme při návrhu klimatizace, je opět objemový tok přiváděného a odváděného vzduchu \dot{V}_p a \dot{V}_o . Klimatizace může tak jako nucené větrání pracovat v provozu ventilačním, cirkulačním nebo kombinovaném. Objemový průtok přiváděného vzduchu se stanovuje z bilancí vyjmenovaných v předchozí kapitole. Při stanovování parametrů přiváděného vzduchu nás nyní kromě teploty t_p zajímá i měrná vlhkost přiváděného vzduchu x_p . K vizualizaci požadovaných úprav vzduchu a k rychlému stanovení parametrů jednotlivých stavů vzduchu je výhodné používat Mollierův h-x diagram.

Pokud bych měla uvést příklad sestavy typické klimatizační jednotky centrálního systému, mohl by odpovídat následujícímu schématu: vzduchotechnická jednotka přívodní – obsahující filtr, předehřívač, adiabatickou pračku vzduchu, chladič, ohřívač, ventilátor; vzduchotechnická jednotka pro odvod vzduchu – obsahující minimálně ventilátor. V klimatizačních zařízeních mohou být samozřejmě i další komponenty, například: směšovací komory, rekuperační výměníky, speciální stupně filtrace, vyvíječe páry aj.

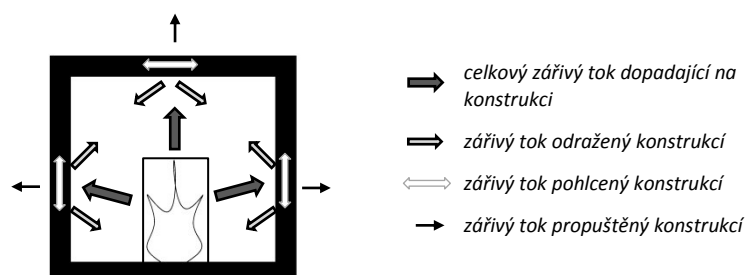
2.7.5 Vytápění

Jak již bylo řečeno v úvodu kapitoly Obr. 2.6.1.1, počátky vytápění jsou úzce spjaty s historií používání ohně. V publikacích [44] a [45] se můžeme dočíst o posledních archeologických průzkumech z naleziště na území Izraele, které potvrzují, že člověk vzpřímený dokázal řízeně používat oheň přibližně před 790 000 lety (Acheulská kultura, Pravěk - Starý Paleolit) [44][45]. V této době se oheň používal jako všestranný nástroj pro osvětlení, vaření, ochranu před divokou zvěří a v neposlední řadě i jako zdroj tepla. Oheň v jeskyni můžeme tedy označit za první formu lokálního sálavého vytápění.

2.7.5.1 Sálavé vytápění

Tento systém vytápění je založen na přenosu tepla sáláním. Sálání (záření) představuje z fyzikálního hlediska elektromagnetické vlnění, které přenáší tepelnou energii. Základní fyzikální zákony, které obecně popisují záření a také sdílení tepla sáláním jsou podrobněji popsány např. v literatuře [33]. Důležitým faktem v souvislosti se sálavým vytápěním je poznatek, že každá hmota dopadající záření v různém poměru pohltí, odrazí nebo propustí. [33]

V souvislosti s výše uvedeným mohou sálavé vytápění charakterizovat tím, že tepelná energie je předávána stěnám, stropům a předmětům v prostoru přímo a vzduch v místnosti, který záření téměř dokonale propouští, je ohříván až sekundárně od zdí a okolních předmětů viz Obr. 2.7.5.0. [40][41]



Obr. 2.7.5.0 Schéma sálavého vytápění s naznačením přenosu tepelné energie [zdroj: autor]

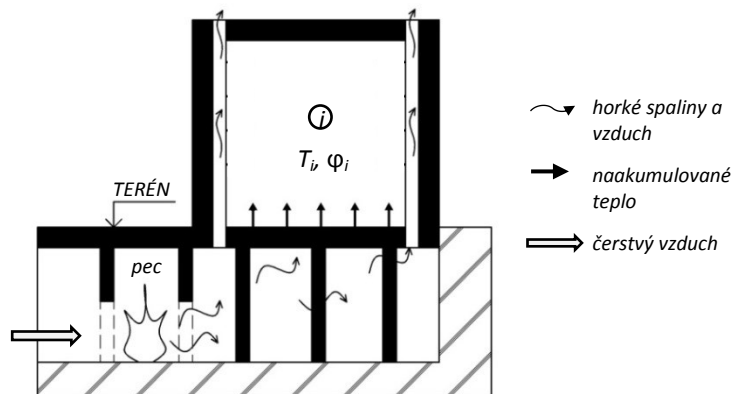
Lokální systémy

Mezi původní zástupce lokálního sálavého vytápění patří bezesporu otevřené ohniště. V tomto případě byl přenos tepla částečně realizován i prouděním ohřátého vzduchu. Ohniště bylo umístěno přímo ve vytápěné místnosti. Místnost s ohništěm byla v podstatě centrem veškerého dění v domě. Ve středověkých vesnických domech bývala zpravidla vytápěna pouze jediná místnost domu, které se říkalo dymná jizba. Její název byl odvozen od toho, že kouř z ohně odcházel přímo do vytápěné místnosti, kde se shromažďoval pod stropem a odtud postupně odcházel speciálními otvory. Později byly budovány komíny. Podrobněji o vývoji vytápění ve vesnických domech hovoří např. literatura [46]. [46]

Dalšími zástupci sálavého vytápění jsou otevřené krby nebo sálavá kamna. Přehled historie s detailním rozbořením různých typů krbů a kamen uvádí literatura [12] nebo [47].

Speciální systémy

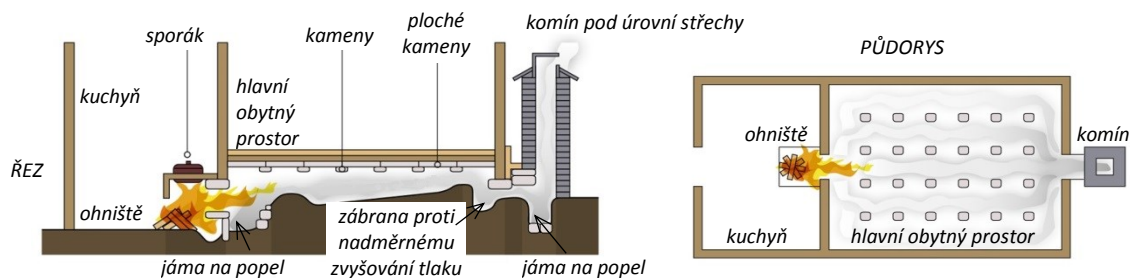
Speciálním případem sálavého vytápění je vytápění horkými spaliny a vzduchem pod podlahu místnosti tzv. *hypocaustum* (dochované pozůstatky vytápění hypocaustem viz Obr. 2.7.1.0, schéma vytápění viz Obr. 2.7.5.1). Principem tohoto vytápění byla akumulace tepla z horkých spalin do masivní vrstvy podlahy. Sdílení tepla z naakumulované podlahy do místnosti probíhalo z větší části sáláním a z menší části prouděním. Tento způsob vytápění byl používán ve starověkém Římě v 1. stol. př. n. l., můžeme ho označit za předchůdce podlahového vytápění. [12]



Obr. 2.7.5.1 Schéma vytápění horkým vzduchem pod podlahu tzv. *hypocaust* [zdroj: autor]

Celý systém sestával z podzemní části a z vytápěné místnosti. V podzemní části pod místností byly zděné pilíře, mezi kterými proudily horké spaliny a vzduch. Ve vstupu do této podzemní části bylo zděné topeniště (pec). Topenišť mohlo být i více, dle velikosti vytápěné místnosti. Spaliny odcházely z podzemní části komíny, umístěnými obvykle v rozích místnosti a podél stěn. Někdy byly drobnější průduchy pro odvod spalin vybudovány ve stěnách podél celého obvodu místnosti. V tomto případě mohly i stěny akumulovat teplo ze spalin a předávat ho do vytápěné místnosti.

Podobný systém vytápění jako hypocaust byl používán př. n. l. i v Koreji, jednalo se o tzv. *ondol* (viz Obr. 2.7.5.2). Výjimečně se s ním lze setkat ještě dnes. Systém měl na rozdíl od hypocaustu nad topeništěm umístěnou ještě nádobu, ve které bylo možné vařit. Samotná konstrukce podpodlahové a podlahové části byla mírně odlišná, princip vytápění byl ale totožný. [30]



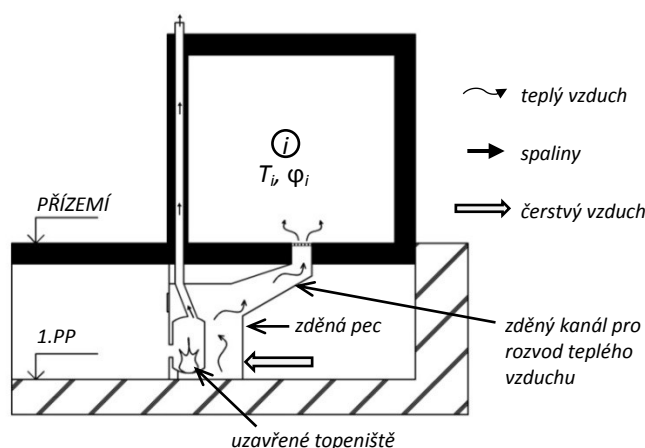
Obr. 2.7.5.2 Schéma vytápění horkým vzduchem pod podlahu, používané v Koreji - tzv. *ondol*; vlevo řez budovou, vpravo půdorys budovy [zdroj: [48], upraveno: autor]

2.7.5.2 Vytápění teplým vzduchem

Tento způsob vytápění místností je založen na přenosu tepla prouděním. Teplo je do vytápěného prostoru distribuováno proudícím teplým vzduchem, přičemž vlivem tepelných ztrát se přiváděný teplý vzduch v místnosti ochlazuje. Ve vytápěné místnosti jsou umístěny otvory nebo jiné regulovatelné elementy, kterými je teplý vzduch do místnosti distribuován. Fyzikální základy pro přenos tepla prouděním byly popsány v kapitole 2.7.1. [40][41]

Vytápění teplým vzduchem má mnoho společných atributů s hypocaustem. Systém se také skládá z vytápěné místnosti a z podzemní části. Hlavní rozdíl spočívá v tom, že topeniště je uzavřené a spaliny odchází přímo do komína. V tomto případě se již jednalo o centrální systém vytápění, kde byl teplonosnou látkou vzduch.

Vzduch je ohříván ve větších vyzděných prostorech, které obklopují uzavřené topeniště. Dá se říci, že je takto vytvořena jakási pec nebo kamna (viz Obr. 2.7.5.3). Ze zděného prostoru je ohřátý vzduch dále veden kanálem přes distribuční elementy až do vytápěné místnosti. Distribuční elementy představují mřížky nebo polohovatelné prvky různých tvarů, které jsou umístěny v podlaze případně ve zdech místnosti. Přívod vzduchu do celého systému podzemních zděných kanálů byl proveden otvory situovanými při podlaze a umístěnými většinou v blízkosti topeniště. Součástí některých systémů byly i zabudované vodní nádrže, které měly zajistit zvlhčení teplého vzduchu.



Obr. 2.7.5.3 Schéma vytápění teplým vzduchem – příklad jedné z variant provedení topeniště a zděné pece [zdroj: autor]

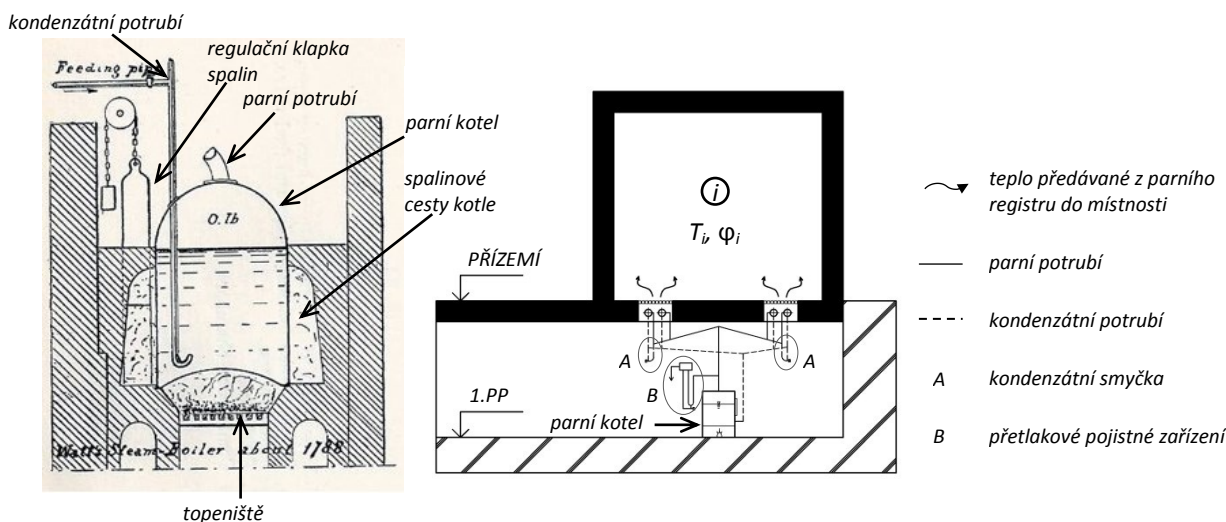
2.7.5.3 Parní vytápění s přirozeným oběhem

Využívání páry jako teplonosné látky pro vytápění budov se váže ke konci 18. století. První patenty, které souvisely s parním vytápěním, pocházely z Anglie. [12]

Parní vytápění představuje na rozdíl od předchozích typů vytápění uzavřenou otopnou soustavu. Parní otopná soustava má své specifické atributy, podle nichž lze poměrně přesně identifikovat. Jedná se především o typické vybavení kotle v podobě specifického pojistného zařízení (zpočátku pákové bezpečnostní ventily) a přímého vodoznaku s vyznačením max. a min. hladiny. Dále se tato soustava vyznačuje charakteristickým provedením potrubních rozvodů, kdy parní potrubí (přívodní) má větší dimenzi než kondenzátní potrubí (vratné) a

vyskytuje se zde také zařízení pro odvod kondenzátu – kondenzátní (odvodňovací) smyčky, kondenzátní nádrže atp. Systémy z přelomu 18. a 19. stol. disponovaly i regulační klapkou spalín, umístěnou mezi spalinovými cestami kotle a komínem (viz Obr. 2.7.5.4). Posledním charakteristickým znakem je přítomnost otopných ploch ve vytápěných místnostech. Nejčastěji se jednalo o trubkové výměníky pára-vzduch v různých provedeních. [49]

Celý cyklus parního vytápění je založen na změně skupenství teplotnosné látky (vody) z kapalného na plynné (pára) a zpět na kapalné (kondenzát). Ve zdroji tepla vzniká ohřátím vody pára. Pára může pouze omezeně zvětšit svůj objem, a proto se zvýší její tlak (viz kap. 2.7.1). Natlakovaná horká pára přirozeně stoupá parním potrubím do otopných ploch. Sdílení tepla mezi otopnou plochou a místností probíhá prouděním a sáláním. V důsledku odevzdání tepla přes otopnou plochu dochází v soustavě ke změně skupenství teplotnosné látky z plynného (pára) na kapalné (kondenzát). Kondenzát se vrací kondenzátním potrubím zpět do parního kotle, kde se opět ohřeje a vzniká pára. Celý cyklus se opakuje. Podrobný popis parního vytápění uvádí např. literatura [50] a [49]. Schéma parního vytápění je znázorněno na obrázku níže.

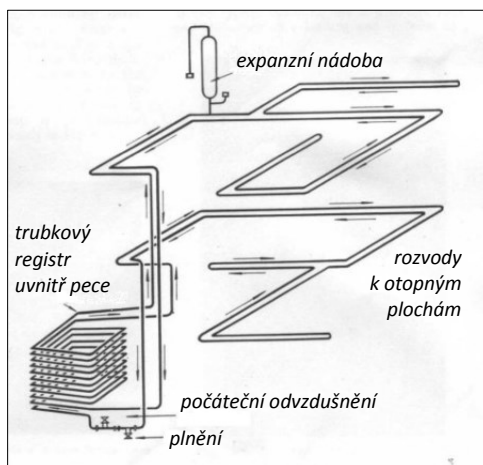


Obr. 2.7.5.4 Parní vytápění – řez kotlem používaným kolem roku 1788 (James Watt) (vlevo) [zdroj:[49], upraveno: autor], schéma modernější soustavy parního vytápění s umístěním otopných ploch do zděného kanálu (vpravo)[zdroj: autor]

2.7.5.4 Teplovodní vytápění s přirozeným oběhem

První zmínky o systémech s atributy teplovodního vytápění sahají k počátku 18. stol. První patenty však byly zaznamenány až koncem 18. a začátkem 19. stol. Za průkopníky teplovodního vytápění lze považovat Francouze Jeana Simona Bonnemaina a Američana Angiera March Perkinse, žijícího a působícího ve Velké Británii. [51][52]

Teplovodní vytápění představuje stejně jako parní vytápění uzavřenou otopnou soustavu (viz Obr. 2.7.5.5). Soustava byla tvořena teplovodním zdrojem tepla, potrubními rozvody, otopnými plochami, specifickým pojistným zařízením (expanzní nádoba, pojistný ventil) a armaturami. Otopné plochy nalézáme nejčastěji v podobě trubkových výměníků voda-vzduch, později i v podobě článkových otopných těles.



Obr. 2.7.5.5 Schéma soustavy teplovodního vytápění s přirozeným oběhem otopné vody od A. M. Perkinse [zdroj: [52], přeloženo a upraveno: autor]

Teplonosnou látkou je teplá (horká) voda. Přirozený pohyb otopné vody v systému je způsoben rozdílem hustot (teplot) mezi přívodní a vratnou vodou (viz princip v kapitole 2.7.1). Přes otopnou plochu opět dochází k předání tepla a k ochlazení otopné vody. Mezi otopnou plochou a vytápěnou místností probíhá sdílení tepla prouděním a sáláním. Ochlazená vratná voda se vrací potrubním rozvodem zpět do zdroje a celý cyklus se opakuje. Podrobnější informace o systému jsou k dispozici kupříkladu v literatuře [53].

Na závěr bych zmínila i modernější způsoby vytápění, využívané zejména při památkových obnovách a rekonstrukcích. Jedná se o soustavy s nuceným oběhem teplonosné látky, elektrické přímotopné vytápění nebo centrální zásobování teplem (CZT). Podrobněji o těchto systémech pojednává např. literatura [53].

2.7.6 Využití přírodních vlivů k dotváření vnitřního klimatu budov

Jak jsem již poznamenala v úvodu, při budování staveb si naši předkové předávali know-how (většinou se jednalo o empirická fakta a postupy), které bylo o mnoho let později vysvětleno pomocí fyzikálních teorií a principů. Pro stavbu budov a dotváření jejich vnitřního klimatu jsou však neméně důležité i přírodní vlivy a z nich vyplývající přirozené jevy, které dokázali lidé využít ve svůj prospěch. Jednalo se např. o využití polohy krajiny, vhodnou orientaci ke světovým stranám, výsadbu zeleně v okolí budovy nebo o instalaci vodních ploch.

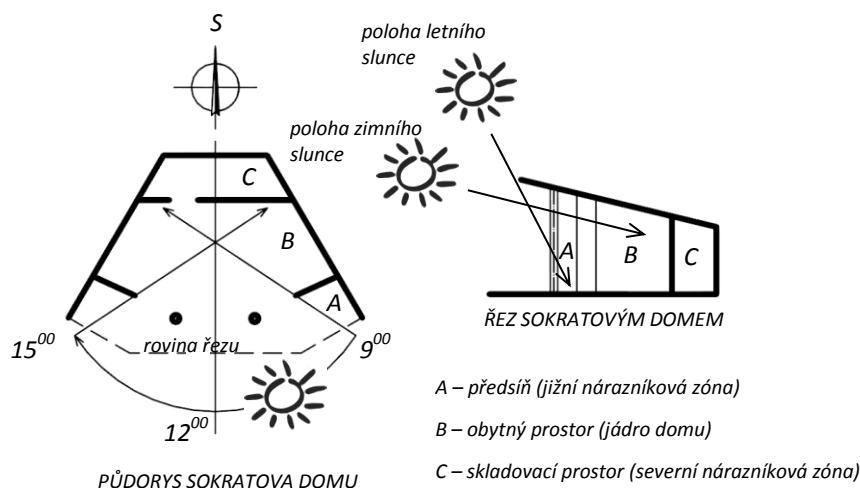
2.7.6.1 Solární architektura

Ač se může zdát, že solární architektura je celkem „mladý“ pojem, základní principy využití sluneční energie v budovách byly popsány již v 5. stol. př. n. l. K rozvoji solární architektury téměř vždy přispěla ekologická nebo ekonomická krize. [54][55]

Pojmem „solární architektura“ můžeme označit obor, který se zaměřuje na problematiku vytápění a chlazení budov pomocí pasivního využívání solární energie. Principem pasivního využívání solární energie, je zužitkovat přímo energii slunečního záření bez přispění jakýchkoli technických zařízení (aktivních prvků). Uplatňuje se zde hlavně tzv. skleníkový

jev, kdy sluneční paprsky procházejí prosklenými částmi budov a teplo se akumuluje v konstrukcích a předmětech v místnosti. [55]

Základními znaky solární architektury disponuje tzv. Sokratův dům (viz Obr. 2.7.6.1). Tento dům maximálně využíval potenciál sluneční energie v chladnějším období a zároveň zabraňoval přehřívání v teplém období. Dům je navržen přesně podle výšek a azimutů Slunce v průběhu dne a roku. Návrh je připisován starořeckému učenci Sokratovi. [55]



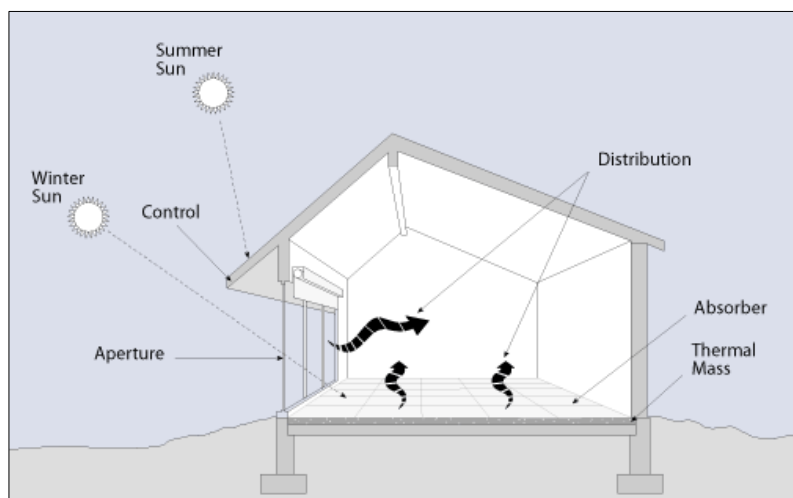
Obr. 2.7.6.1 Schéma Sokratova domu [zdroj: autor]

Další vývoj solární architektury probíhal v Římě. Zde například v lázních využívali zasklená, jižně orientovaná okna k vyhřívání místností. Své poznatky otiskli Římané i do svého práva, kde měl každý občan zaručen přístup slunce na svůj pozemek a mohl využít jeho energii k vyhřívání domu. [54][55]

Solární architektura využívá následující pasivní prvky [55][56]:

- *Osazení budovy do terénu a její ideální orientace ke světovým stranám;*
- *Velikost a orientace prosklených (průsvitných) ploch* - největší prosklené plochy jsou umístěny na jižní, jihovýchodní nebo jihozápadní fasádě, zimní zahrady na východní nebo západní straně; naopak na severní fasádě neumísťujeme pokud možno žádné nebo jen velmi malé prosklené plochy;
- *Volbu vhodných stínících prvků* (slunolamy, žaluzie, markýzy, rolety, okenice, antireflexní fólie, záclony a závěsy, vegetace) – přispívají k minimalizaci nežádoucích solárních zisků v letním období;
- *Tvoření akumulčních jader v budovách* – spočívá ve vhodné volbě skladby konstrukcí, akumulční hmotu většinou představuje beton, ze strany exteriéru se pak jedná o dostatečně silnou vrstvu tepelné izolace;
- *Půdorysné tepelné zónování* – vychází z dispozice místností v Sokratově domu – na jižní stranu a do jádra domu jsou orientovány obytné prostory; severní strana je pak určena pro šatny, hygienické zázemí, sklady, technické místnosti atp.

Aplikaci výše zmíněných prvků pasivního využití solární energie v budově znázorňuje obrázek níže.



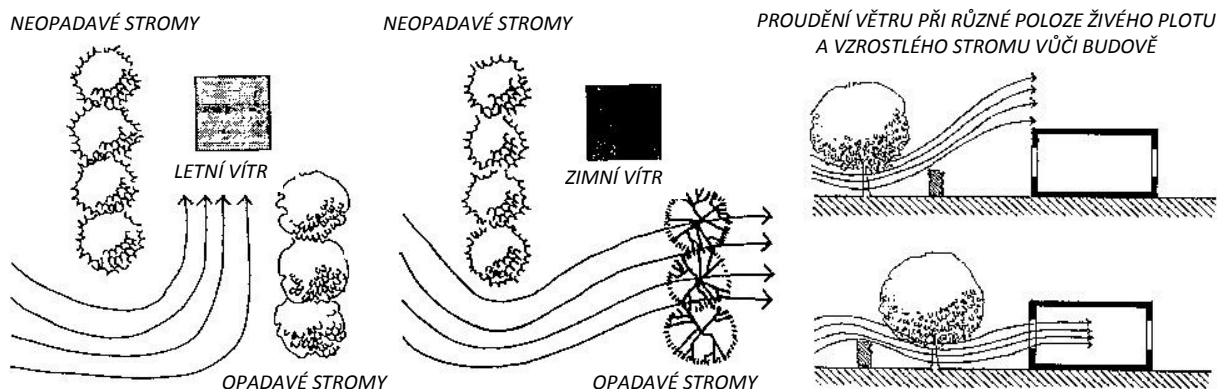
Obr. 2.7.6.2 Základní prvky pasivního využití solární energie (orientace velkých prosklených ploch na jih, stínění v podobě přesahu střechy, akumulční jádro v podobě betonové podlahy s tepelnou izolací) [zdroj: [57]]

Kromě výše zmíněných základních pasivních prvků, můžeme mezi zástupce solární architektury zařadit také akumulční solární stěny (Trombeho stěny), energetické fasády a střechy (vzduchové kolektory zabudované do fasád a střech) nebo již zmiňované solární komíny. [55]

2.7.6.2 Poloha a funkce vegetace ve vztahu k budovám

Dalším přirozeným prostředkem, který dokáže příznivě ovlivnit klima v okolí i uvnitř budovy, je volba vhodné vegetace. Pomocí zeleně vysazené v okolí budovy je možné ovlivnit směr a rychlost větru a podpořit tak přirozené větrání. Pokud budou stromy nebo živý plot (které vytvářejí přirozené větrolamy) vysázeny v řadě podél budovy, vytvoří se mezi budovou a zelení zúžený koridor, ve kterém se proudění vzduchu zrychlí a zároveň zde poklesne tlak (tzv. Venturiho efekt – vycházející z rovnice kontinuity (19) a z Bernoulliho rovnice (20)). Opadavé stromy dokáží vytvořit v letním období přirozený stínící prostředek, v zimním období naopak většinu sluneční energie a světla propustí. V neposlední řadě umí stromy a vegetace částečně ochladit okolí budovy díky transpiraci (vypařování vody z listů rostlin). V podstatě jde o obdobu adiabatického chlazení (viz níže). Stromy vysázené poblíž budov mohou také příznivě ovlivňovat vlhkost základů a zdiva. Kromě výše jmenovaného má výsadba vegetace ještě mnoho dalších výhod. Podrobněji se pravidly pro výsadbu vegetace v okolí budov zabývají obory krajinářství a územní plánování. [58]

Pokud budu chtít pomocí výsadby zeleně ovlivnit klima uvnitř budovy, musím zohlednit minimálně tyto faktory: druh použité vegetace (stromy opadavé, neopadavé, keře atd.), vzdálenost vegetace od budovy a výšku vegetace, stranu budovy, u které bude zeleň vysazena (návětrná, závětrná). Na obrázku Obr. 2.7.6.3 níže jsou ilustrovány některé případy ovlivnění proudění vzduchu pomocí zeleně.

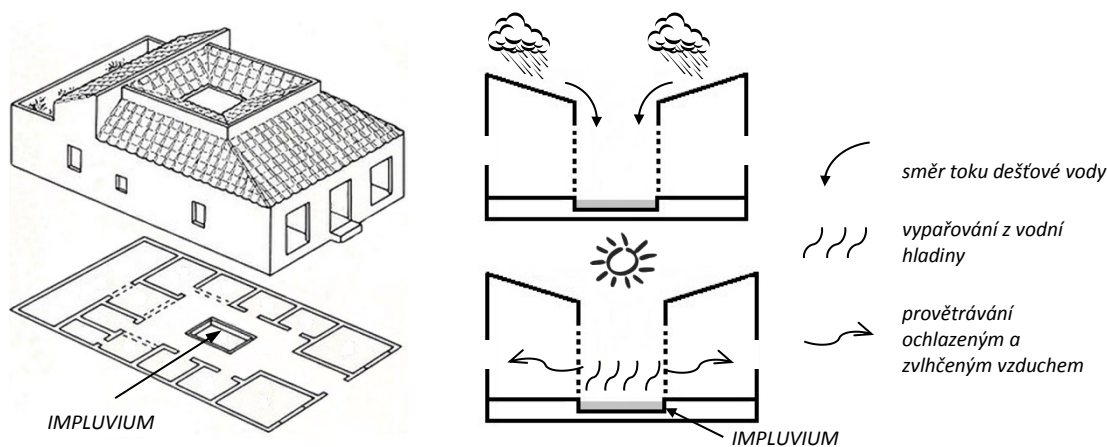


Obr. 2.7.6.3 Příklady usměrnění proudění vzduchu pomocí výsadby vhodné vegetace v blízkosti budovy [zdroj: [42], přeloženo a upraveno: autor]

Detailně se problematikou zeleně v okolí budov zabývá například literatura [42] a [58].

2.7.6.3 Ochlazování staveb pomocí vody a vodních ploch

S ochlazováním staveb pomocí vodních ploch se setkáváme už ve starověkém Římě. Jedním z typických představitelů tehdejších obytných budov byl atriový dům (zvaný *domus*), kde se uprostřed otevřeného atria nacházela vodní plocha tzv. *impluvium* (viz Obr. 2.7.6.4).



Obr. 2.7.6.4 Ukázka atriového domu s impluviem – lokalizace impluvia v půdorysu (vlevo) [zdroj:[59], upraveno: autor], řez atriovým domem se znázorněním větrání ochlazeným vzduchem (vpravo) [zdroj:[60], zpracování: autor]

Tato otevřená vodní plocha sloužila jednak jako nádrž na dešťovou vodu a zároveň zajišťovala přirozené ochlazení vzduchu v oblasti atria. Opět zde fungoval princip adiabatického chlazení (výstižnější anglický výraz zní „evaporative cooling“). Základním fyzikálním principem tohoto děje je přeměna citelného tepla (teplo odebrané vzduchu, dodané sluncem) na latentní teplo způsobující vypařování vody. Z volné vodní plochy se vypařovala voda, čímž docházelo k ochlazení a současnému zvlhčení vzduchu v nejbližším okolí impluvia. Ochlazeným vzduchem z oblasti atria byly provětrávány přilehlé místnosti domu.

2.8 ZHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU A DOSTUPNOSTI INFORMAČNÍCH ZDROJŮ

NPÚ disponuje obecnými i podrobnými metodikami, které předepisují postup při průzkumech památky. Tyto metodiky jsou velmi přínosné a propracované. Mému tématu nejbližší existující metodikou je publikace *Mikroklima v historických budovách* [21], která se zabývá převážně problémem vlhkosti vzduchu a jejím působením na inventář a mobiliář památek. Svazek postihuje jak základní fyzikální předpoklady pro přirozené děje, tak i přehled škod, které mohou být způsobeny nevhodným větráním, prudkými výkyvy teplot atp. Metodika se ale nezabývá samotnými systémy TZB-V, které mají za úkol zajistit vhodný stav vnitřního prostředí. Nicméně na tyto systémy alespoň zčásti odkazuje.

V současné době (od roku 2013) řeší Technické muzeum v Brně v součinnosti s NPÚ-ÚOP v Brně a Moravskou galerií v Brně projekt (DF13P01OVV016), podporovaný Ministerstvem kultury, v rámci „Programu aplikovaného výzkumu a vývoje národní a kulturní identity (NAKI)“. Název projektu je: „Metodika uchovávání předmětů kulturní povahy – optimalizace podmínek s cílem dosažení dlouhodobé udržitelnosti.“ Projekt se zabývá vytvořením metodiky pro optimalizaci parametrů vnitřního klimatu v budovách, které uchovávají památky kulturní povahy. Tento aktuální projekt, který bude řešen do roku 2017, svým způsobem koresponduje jak s tématem, tak i s dílčími cíli mé disertační práce. Vzhledem k tomu, že projekt byl schválen v roce 2013, začínají se teprve nyní (prosinec 2014) objevovat první publikované výstupy z řešení projektu.

2.8.1 České informační zdroje

Na tomto místě bych zmínila tištěné i elektronicky přístupné zdroje informací, které se problematikou spojenou s mým tématem nejvíce zabývají. Mezi informační prameny, poukazující nějakým způsobem na problematiku TZB-V v nemovitých památkách, patří:

2.8.1.1 *Historické stavební řády platné pro oblasti Čech, Moravy a Slezska*

Zmíněné dokumenty představovaly např. předchůdce dnešních hygienických požadavků (nutnost přivádět čerstvý a odvádět znehodnocený vzduch z budovy nebo nutnost odvádět odpadní vody z budovy apod.). Postupem času byly požadavky z různých profesí implementovány ve vyhláškách, zákonech a normách, kde jsou k nalezení v aktuálním znění i dnes.

Ze současných předpisů souvisejících s ochranou památek bych uvedla soubor několika desítek dílů technických norem ČSN EN, označených společným názvem „Ochrana kulturního dědictví - ...“. Soubor výše zmíněných norem je k nalezení např. na webových stránkách Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ), prostřednictvím aplikace „vyhledávání v seznamu normativních dokumentů ÚNMZ“.

2.8.1.2 Národní památkový ústav

Předkládá velké množství tištěných i online přístupných informací ohledně historických průzkumů a metodik. Dále zahrnuje odkazy na zahraniční, tematicky příbuzné weby. Specializovaná část informační sítě (MonumNet) umožňuje nahlížení do evidenčních seznamů nemovitých památek. Část sítě CARMEN nabízí k dispozici dokumentační fondy (zprávy z průzkumů a výzkumů, odborně zaměřené publikace, mapy, speciální dokumenty aj.). Dále je možné dozvědět se informace i na webových stránkách jednotlivých nemovitých památek (např. webové stránky Vily Tugendhat, oficiální webové stránky zámku Lednice na Mor. apod.).

V rámci jednotlivých ÚOP-NPÚ je možné fyzicky navštívit archiv, kde jsou k nahlédnutí již zpracované dokumenty k nemovitým památkám (SHP, OPD aj.). V neposlední řadě má např. NPÚ-ÚOP v Brně určeny informační dny pro veřejnost, kdy je možné domluvit si schůzku s odborníky z jednotlivých oborů, případně navštívit odbornou knihovnu.

Informace získané od této instituce v jakékoli formě byly pro moji práci velmi přínosné a inspirující.

2.8.1.3 Specializované semináře a konference

Semináře, zaměřené na historické budovy, se nejčastěji zabývají jednotlivými případovými studii s řešením konkrétního problému na konkrétní budově. Vesměs je však opět řešena problematika z pohledu architektury, pozemního stavitelství, stavebních materiálů a statiky (např. semináře pořádané Národním stavebním centrem, s.r.o.). O systémech TZB-V a dopadu na interní mikroklima je pojednáváno v minimálním rozsahu nebo vůbec.

Tematicky se na systémy TZB a na vnitřní prostředí historických budov zaměřují některé akce pořádané Společností pro techniku prostředí (STP) v součinnosti s Katedrou TZB, ČVUT v Praze.

2.8.1.4 Individuální práce a specializované studie

Do této kategorie bych zařadila disertační práce, výzkumné zprávy a případové studie, zaměřené na systémy TZB-V. Zmíněné publikace většinou popisují řešení konkrétního problému na konkrétních nemovitých památkách. Některé z těchto prací a studií jsou k dispozici v odborných časopisech (např. Vytápění, větrání, instalace; Topenářství instalace) nebo ve sbornících konferencí, pořádaných nejčastěji STP.

Publikace, které jsem využila jako inspiraci pro svoji práci, jsou např. zdroje [28] a [39]. První z publikací s názvem *Historické systémy větrání* [39] se zabývá dochovaným systémem přirozeného větrání v barokním klášteře Plasy. V úvodu je zde uveden i přehled historických systémů větrání. Druhá studie s názvem *Úprava vzduchu v historických objektech* [28] se zabývá popisem moderního způsobu celoroční úpravy vzduchu v Kapli Sv. Kříže na hradě Karlštejn.

2.8.2 Zahraniční informační zdroje

Ze zahraničních zdrojů, zabývajících se problematikou systémů TZB-V v historických budovách, bych uvedla následující, pro mou práci nejvýznamnější zdroje:

2.8.2.1 *ASHRAE (ASHRAE Handbook)*

Jedná se o Americkou společnost, která mimo jiné produkuje celosvětově používané standardy v oblasti vytápění, chlazení, větrání a klimatizace. Ve standardech (ASHRAE Handbook) lze nalézt i popisy a parametry systémů pro historické budovy.

2.8.2.2 *Heritage Group Website of the CIBSE*

Jedná se o odnož britské společnosti CIBSE (Chartered Institution of Building Services Engineers), která sdružuje specialisty oboru TZB. Stránky Heritage Group Website [49] se specializují na systémy TZB-V nalezené a zdokumentované v historických budovách ve Velké Británii. Na stránkách se nachází i velké množství informací o dobových vynálezcích, kteří přispěli svými patenty do oboru TZB-V. Nalézt zde můžeme životopisy vynálezců, původní popisy, originální schémata i fotografie zařízení zdokumentovaných v jednotlivých budovách.

Informace z těchto stránek pro mě byly velice přínosné a období takového sdružení u nás v ČR postrádám.

2.8.2.3 *Literatura popisující komplexně téma systémů TZB-V v historických budovách*

Jedinou „zahraniční“ literaturou, která nejvíce koresponduje s tématem mé práce, je kniha Slovenských autorů *Energetická efektivnost' obnovy historických budov* [12]. Publikace se zabývá jak tématem památkové péče a obnovou památek, tak i systémy TZB-V včetně jejich historie. Předkládá některé případové studie budov, u kterých byla provedena památková obnova s cílem snížení jejich energetické náročnosti. Literatura se zabývá i rozbohem provozu jednotlivých systémů TZB-V a možností jejich obnovy.

Knihu vidím opět jako velmi přínosnou, protože se v ní kloubí jak obor památkové péče, tak i obor TZB-V zaměřený na systémy vytvářející interní mikroklima.

2.8.2.4 *Individuální práce a specializované případové studie*

Obdobně jako v ČR, jsou i v zahraničí realizovány četné případové studie, které řeší vždy jen jeden konkrétní problém na vybrané historické budově. Tyto případové studie jsou většinou součástí publikací, které jsou k nalezení v citačních databázích. Nejvíce příspěvků, které se týkají historických budov a jejich systémů lze najít v bibliografické databázi BCIN (viz kap. 2.4.2.1). Příspěvky zabývající se počítačovými simulacemi systémů v historických budovách jsou k nalezení převážně v odborných databázích (např. EBSCO, ProQuest, Springer, Science Direct, Web of Science, Scopus).

3. CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

Předmětem předkládané disertační práce je aplikovaný výzkum v oblasti systémů TZB-V (větrání a klimatizace, vytápění, stínění) v nemovitých památkách. V této kapitole budou definovány jednotlivé cíle mé práce spolu s odůvodněním, proč jsem si právě tyto cíle zvolila.

3.1 SPECIFIKACE CÍLŮ PRÁCE

- *Cíl 1:* Analýza současného stavu problematiky průzkumu a dokumentace systémů TZB-V v nemovitých památkách.
- *Cíl 2:* Specifikace základní sady informací o systémech TZB-V v nemovitých památkách za účelem zefektivnění průzkumu a dokumentace.
- *Cíl 3:* Tvorba materiálu určeného k záznamu informací z dočasného měření a k zajištění reprodukovatelnosti měření.
- *Cíl 4:* Případová studie postihující: a) problematiku tvorby a zjednodušení geometrického modelu památky pro následnou počítačovou simulaci; b) možnost verifikace a kalibrace modelu pomocí naměřených dat pro následnou počítačovou simulaci.

3.2 ODŮVODNĚNÍ ZVOLENÝCH CÍLŮ

Cíle 1 a 2 jsou zaměřeny na: analýzu systémů TZB-V a jejich průzkum a dokumentaci ve třech zvolených nemovitých památkách. Součástí cíle 1 je analýza současného stavu dokumentace nemovitých památek a predikce moderního způsobu dokumentace nemovitých památek, který umožňuje efektivněji využívat shromážděné informace a data. Důvodem pro volbu druhého cíle je snaha o zjednodušení a zefektivnění práce specialistů TZB nebo památkářů, při průzkumu systémů TZB-V in-situ.

Ke zvolení třetího cíle mě vedla opět myšlenka na zefektivnění a zjednodušení práce při měření parametrů interního mikroklimatu in-situ. V rámci tohoto cíle se v reprezentativním vzorku budov zaměřuji na možnosti dočasného měření vybraných parametrů vnitřního klimatu. Zejména je kladen důraz na dokumentaci měření a na jeho reprodukovatelnost.

Součástí cíle 4 je zjednodušená případová studie, na které budu demonstrovat možnost využití počítačové simulace jako nedestruktivní metody zkoumání. Počítačovou simulaci lze za určitých podmínek využít jako nástroj pro prognózu chování interního mikroklimatu v závislosti na změnách provozu budovy i systémů TZB-V. V rámci posledního cíle se tedy zaměřím na praktickou ukázkou sestavení a zjednodušení geometrického modelu budovy pro simulaci a možnost jeho kalibrace a verifikace pomocí naměřených dat.

Přínos mé práce vidím zejména v oblastech: průzkumu a dokumentace systémů TZB-V; měření parametrů vnitřního klimatu; simulace jako nedestruktivní metody, sloužící k prognóze chování parametrů vnitřního klimatu památky. Zobecněné výsledky mé disertační práce mohou být využity jak v oboru TZB, tak v praxi památkové péče či konzervace, kde mohou posloužit jako podklad pro tvorbu dalších metodik.

3.3 PROSTŘEDKY VYUŽITÉ KE SPLNĚNÍ ZVOLENÝCH CÍLŮ

Jelikož se celá moje práce odvíjela od výzkumu a analýz systémů TZB-V ve vybraných nemovitých památkách, byl pro mě klíčovou osobou můj školitel, doc. Ing. Jiří Hirš, CSc. Díky němu, a jeho dlouholeté spolupráci se správou vybraných objektů, mi byl umožněn přístup do památek za účelem zkoumání, a v rámci možností poskytnuta i potřebná dokumentace. Za další klíčovou osobu považuji pana Mgr. Petra Czajkowského z oddělení evidence nemovitých památek, územního odborného pracoviště NPÚ v Brně, který mi kromě mnoha užitečných rad a postřehů poskytl i cenné studijní materiály z vlastního archivu.

Dalším prostředkem ke splnění vytyčených cílů, byla možnost využití měřicích přístrojů (Comet), kterými disponuje Ústav technických zařízení budov v Brně. To mi umožnilo dlouhodobé sledování parametrů vnitřního klimatu (teploty, vlhkosti a teploty rosného bodu) ve zkoumaných budovách. K získání sady dataloggerů (Omega) jsem využila i finanční prostředky z vlastního projektu VG FAST 09 č. 288 – *Analýza energetického managementu VUT z hlediska úspor energie na FAST* (role: řešitelka projektu).

V posledním z výše uvedených cílů se zabývám počítačovou simulací. V tomto případě pro mě bylo nezbytné zajištění přístupu k potřebnému simulačnímu softwaru. Pro simulace provozu systémů TZB-V v budovách jsem si zvolila dánský simulační software BSim 2002, který byl každoročně upgradován na aktuální verzi (BSim 2008 – BSim 2013). Dále jsem ke svému zkoumání využívala aplikace Teplo a Energie z balíčku softwaru Stavební fyzika od doc. Zbyňka Svobody. Posledními z použitých softwarů byly nástroje ze sady MS Office (Excel, Word, Power Point a Publisher) a software AutoCAD. Licence ke všem výše jmenovaným softwarům je k dispozici zaměstnancům FAST na portálu VUT v Brně (sekce CVIS). Dostupné licence jsem ke zpracování této disertační práce využila i já.

Dalším prostředkem, díky kterému jsem měla možnost získat pro svou disertační práci databázi klimatických dat referenčního roku ze stanice Brno – Tuřany, byla participace na projektu EFEKT 2008, I-3 č. 122142-8903 – *Databáze meteorologických dat prezentujících klimatické podmínky na celém území ČR* (role: člen řešitelského týmu).

K prezentaci a publikaci výsledků mého výzkumu a k nákupu potřebné odborné zahraniční literatury mi posloužily ještě následující dva projekty: FAST-J-10-76/343 – *Využití pasivní solární energie v historické budově* (role: řešitelka projektu) a FAST-J-11-27/1316 – *Vliv sluneční energie a energie země na snížení energetické náročnosti budov* (role: spoluřešitelka projektu).

V neposlední řadě bych zde uvedla ještě projekt „*Brno Ph.D. talent*“, vyhlášený Jihomoravským centrem pro mezinárodní mobilitu (JCMM) a finančně podporovaný statutárním městem Brnem v rámci Regionální inovační strategie 3 Jihomoravského kraje. Díky této získané finanční podpoře od města Brna jsem se po dobu tří let mohla věnovat výhradně studiu problematiky systémů TZB-V v nemovitých památkách a nemusela jsem hledat ani využívat jiné prostředky pro své materiální zajištění.



4. ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ

V této kapitole se pokusím představit a přiblížit výzkumné metody a z nich sestavené metodiky⁴, které jsem se rozhodla použít k realizaci zvolených cílů.

Z hlediska metodologie vědy představuje předkládaná disertační práce ve své podstatě formu kvalitativního výzkumu. Použité metody lze rozdělit dle typu vědeckého postupu na *teoretické* a *empirické*. [61]

4.1 TEORETICKÉ METODY

Při zpracovávání zadaného tématu jsem používala následující obecně teoretické metody: *analýza, syntéza, analogie, specifikace, predikce, PC modelování (počítačová simulace), případová studie*. Aplikací zmíněných metod jsem dospěla k dílčím závěrům v rámci jednotlivých cílů. Níže, v kapitole 4.3, představím zasazení konkrétních teoretických metod v procesu realizace cílů.

Literatura [34] a [61] předkládá význam a podrobnou charakteristiku obecně používaných metod (analýza, syntéza, analogie, specifikace, predikce). Proto se v následující části podrobněji zaměřím pouze na metodu *PC modelování* a na *případovou studii*. V závěru obou podkapitol objasním i důvod, proč jsem si právě tyto metody pro svoji práci zvolila.

4.1.1 PC modelování (PC simulace)

Počítačové modelování představuje metodu, při které lze pomocí numerických simulací na virtuálním modelu zkoumaného objektu (2D, 3D) predikovat jeho chování při zadání různých, stacionárních i nestacionárních, okrajových podmínek.

Metoda PC modelování má následující *výhody*: nedestruktivní charakter, je opakovatelná, umožňuje zkoumání zatím neexistující (nebo již neexistující) budovy, umožňuje porovnávat nejrůznější kombinace provozních stavů, umožňuje jednoduše modifikovat tepelně-technické parametry konstrukcí, lze simulovat různé orientace budovy ke světovým stranám, v případě analýzy výsledků je poměrně snadné doplnit další sady simulovaných dat.

Mezi *nevýhody* této metody lze zahrnout: v případě licencovaného SW většinou vysoké pořizovací náklady, časová náročnost zpracování úkolu, někdy i časová náročnost vlastní simulace a s tím související zvýšené nároky na hardwarové vybavení, potřeba získání a zpracování obrovského množství informací k nastavení relevantních okrajových podmínek, nutnost zjednodušení geometrie objektu při tvorbě matematického modelu. Z posledních dvou poznámek vyplývá vyšší pravděpodobnost selhání lidského faktoru při zadávání okrajových podmínek a časová náročnost verifikace modelu pro zajištění reálných výsledků simulace.

Z výčtu výhod a nevýhod je zcela zřejmé, že metoda PC modelování je rozšířená a také prakticky využitelná zejména v akademické sféře. Běžná technická praxe, kde je ze strany zadavatelů zakázek vyvíjen obrovský tlak zejména na rychlost zpracování při současné co

⁴ Ve své práci používám slovo metodika ve významu „pracovní postup“ – dle výkladu [34][34].

nejnižší ceně, si většinou nemůže z pochopitelných důvodů dovést zahrnout do svého repertoáru i PC modelování. Nicméně musím konstatovat, že i přes zmíněné nevýhody se metoda PC modelování začíná objevovat i v technické praxi (zejména u nadnárodních a větších firem).

Pro simulace budov existuje nepřehledné množství volně dostupných i licencovaných počítačových programů, rozdělených podle požadovaného zaměření. Jejich přehled, včetně charakteristiky, můžeme nalézt např. na americkém vládním webu *energy.gov*, v oddělení *Office of Energy Efficiency & Renewable energy* viz [62]. V seznamu softwarů (SW) figuruje i český nástroj NKN pro zpracování průkazů energetické náročnosti budov, ale také další SW jako: *BSim*, *Design Builder*, *Energy Plus*, *ESP-r*, *FLOVENT*, *TRNSYS* a mnoho dalších. Kurzívou vyznačené simulační SW prošly mým výběrovým hodnocením dle předem zvolených kritérií (dostupnost licence, data, zaměření simulace).

Tab. 4.1.1.0 Tabulka s vyhodnocením výběru optimálního simulačního SW pro moji práci (+ vyjadřuje pozitivní hodnocení kritéria, - vyjadřuje negativní hodnocení) [zdroj: autor]

Název simulačního SW	Země původu (práv. předpisy, standardy)	Dostupnost licence		Import dat	Dostupnost klimadat (formát)		Dostupný lektor		Zaměření simulace	Hodnocení z hlediska mých požadavků		
BSim	Dánsko	FAST	+	• AutoCAD *.dwg => *.dxf • IFC	+	• vlastní z projektu • Energy Plus • Meteororm • ASHRAE	+	ano	+	• analýza parametrů IM • energetické bilance • systémy TZB, vlhkostní a tepelné zátěže	+	NEJVHODNĚJŠÍ
ESP-r	Velká Británie	volná	+	• AutoCAD • ECOTECH	+	• Energy Plus	-	ne	-	• analýza parametrů IM • energetické bilance • systémy TZB, zátěže	+	VHODNÝ
TRNSYS	USA	není	-	• SketchUp • ASCII files	-	• vlastní z projektu • Energy Plus	+	ano	+	• komponenty systémů TZB a jejich vzájemné vazby	-	NEJMÉNĚ VHODNÝ

Z hodnocení (viz Tab. 4.1.1.0) vyšel pro mé potřeby jako nejvhodnější simulační nástroj BSim.

4.1.1.1 Simulační nástroj BSim

Tento simulační nástroj je od roku 1999 soustavně aktualizován a vyvíjen na dánské univerzitě *Aalborg University Copenhagen* v oddělení *Danish Building Research Institute*. Je vhodný pro analýzu fyzikálních dějů v jednotlivých budovách nebo i v komplexech budov a je napsaný programovacím jazykem MS-Visual C++. [62][63]

Mezi fyzikální děje, které lze simulací v nástroji BSim postihnout patří: přenos tepla a vlhkosti v konstrukcích, sdílení tepla a vlhkosti v rámci zón, sdílení tepla sáláním mezi povrchem a zónou, sdílení tepla sáláním mezi modelem a okolím (solární radiace). Z uvedeného vyplývá, že pomocí nástroje BSim je možné provádět: energetické bilance budov, tepelně-vlhkostní analýzy, simulace průběhu parametrů interního mikroklimatu, simulace oslunění a simulace denního osvětlení. [62][63]

Algoritmus výpočtů nástroje BSim vychází z následujících teoretických základů: problematika sdílení tepla a vlhkosti v rámci zón (bilance) je řešena pomocí stacionárních a kvazi-stacionárních výpočtů; nestacionární výpočet je použit pro matematický popis problematiky vedení tepla (Fourierovi rovnice) a přenosu vlhkosti (Fickovi rovnice difúze) v konstrukcích. Zde je výsledků dosaženo pomocí metody kontrolních objemů a v obou případech je použit maticový zápis rovnic. Výpočet probíhá s diskrétním časovým krokem. Z tohoto důvodu se při simulacích někdy stává, že při zadání určitého kroku výpočtu simulace sice proběhne, ale výsledek pouze konverguje ke konečné hodnotě. V těchto případech je uživatel pomocí dialogového okna požádán o navýšení kroku výpočtu na konkrétní hodnotu tak, aby bylo výsledku optimálně dosaženo. Výpočet sálání vychází z problematiky Lambertovských (kosinových) zářičů – 2 povrchy mezi sebou vzájemně emitují a absorbují záření. Pomocí integrálních rovnic je řešena velikost osálaných ploch těchto 2 povrchů.[63]

Podrobný popis celého simulačního nástroje BSim, včetně nápovědy, tutoriálů a matematicko-fyzikálních základů s uvedenými výpočtovými vztahy, nalezneme v literatuře [63].

4.1.1.2 *Důvod volby metody*

Metodu počítačového modelování jsem si zvolila zejména kvůli jejímu nedestruktivnímu charakteru, který je v případě zkoumání nemovitých památek velmi podstatný. Dále mi tato metoda nabízela možnost analyzovat průběh parametrů interního mikroklimatu při různých provozních stavech systémů TZB-V, aniž bych musela fyzicky zasahovat do zaběhnutých provozních režimů nemovité památky.

4.1.2 Případová studie

Podstatou případové studie je důkladné prozkoumání jednoho nebo několika málo případů tak, abychom mohli lépe porozumět jiným podobným případům. Jejím úkolem je zachytit složitost řešeného problému. Případové studie se opírají o metodu indukce, kdy se na základě pozorování jednotlivých případů dají vyvodit všeobecné závěry [34].

4.1.2.1 *Důvod volby metody*

Použití této specifické metody jsem velmi dlouho zvažovala, neboť se nejedná o typickou metodu využívanou v technických vědách, ale naopak hojně využívanou ve vědách o člověku (humanitní, medicínské, ekonomické, právní, manažerské aj.). Při studiu tématu historických budov v souvislosti se systémy TZB-V jsem však zjistila, že zejména v zahraniční literatuře se právě k popisu specifík v tomto oboru používají „case study“ tedy případové studie. S použitím případových studií jsem se pak následně setkávala i u příspěvků na zahraničních konferencích.

4.2 EMPIRICKÉ METODY

Z empirických výzkumných metod jsem pro řešení své práce zvolila *observační metodu a měření*. Aplikací těchto dvou metod jsem opět dospěla k dílčím závěrům v rámci jednotlivých

cílů. Níže, v kapitole 4.3, představím zasazení konkrétních empirických metod v procesu realizace cílů.

4.2.1 Observační metoda

Jedná se o nejstarší a nejrozšířenější vědeckou metodu vůbec. Observace dle výkladu literatury [34] znamená pozorování, pátrání, zkoumání.

4.2.1.1 Důvod volby metody

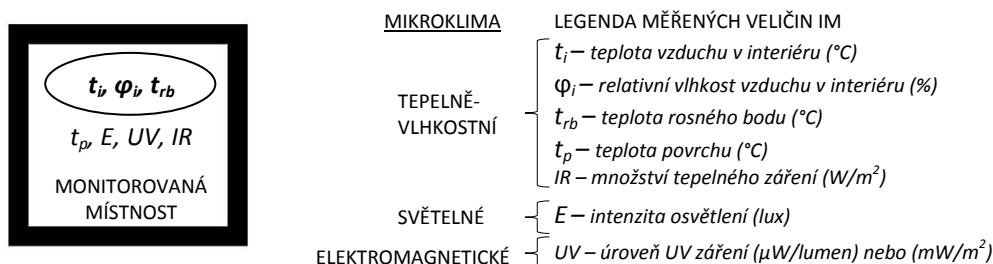
Tato metoda byla pro celou moji práci klíčová. Veškeré dříve zmíněné průzkumy nemovitých památek stojí převážně na observační metodě a z tohoto důvodu jsem si ji zvolila i já, jako základ svého aplikovaného výzkumu.

4.2.2 Měření

Tato metoda je založena na sledování a záznamu fyzikálních veličin pomocí vhodné přístrojové techniky. Ve své práci se konkrétně zabývám měřením parametrů tepelně-vlhkostního mikroklimatu nemovitých památek in-situ.

4.2.2.1 Měřené veličiny

V kapitole 2.6 jsem se zabývala tepelně-vlhkostním mikroklimatem nemovitých památek. Pro interiéry nemovitých památek, nebo lépe řečeno pro uchovávané předměty, je rovněž důležité i světelné, elektromagnetické, mikrobiální a toxické mikroklima. Na obrázku Obr. 4.2.2.0 jsou znázorněny nejčastěji sledované veličiny IM v nemovitých památkách. Zvýrazněny jsou veličiny teplota t , relativní vlhkost φ (RH) a teplota rosného bodu t_{rb} , které jsem při své práci sledovala.



Obr. 4.2.2.0 Přehled nejobvykleji sledovaných veličin IM nemovitých památek [zdroj: autor]

Z důvodů empirické validace simulovaných dat jsem kromě vybraných parametrů IM měřila současně tytéž parametry i v exteriéru. Princip empirické validace bude objasněn ve výsledcích cíle 4.

4.2.2.2 Specifikace použitých měřících přístrojů

K měření jsem využila přenosné datalogery (záznamníky) pro záznam teploty t ($^{\circ}C$), vlhkosti φ (nebo RH %) a z nich stanovené teploty rosného bodu t_{rb} ($^{\circ}C$). Datalogery značky Comet, typ S3120 a R3120, jsem měla zapůjčené ze skladu přístrojů Ústavu TZB (FAST).

K zakoupení dataloggerů značky Omega, typ OM-EL-USB-2, jsem využila vlastní grant (VG FAST 09 č. 288). Všechny uvedené přístroje byly kalibrovány v kalibračních laboratořích, což dokladují jejich kalibrační listy. Podrobný popis technických parametrů výše jmenovaných přístrojů je uveden v Příloze 1.

4.2.2.3 Důvod volby metody

Metodu měření jsem využila k tomu, abych získala povědomí o reálném chování vybraných parametrů IM při provozu budovy. Zpracovaná data z naměřených hodnot jsem použila ke konfrontaci s výstupy počítačové simulace. Pomocí naměřených dat bylo možné verifikovat počítačový model. Bez tohoto kroku bych mohla pouze spekulovat, zda simulace různých provozních stavů odpovídají skutečnému chování budovy.

4.3 METODIKY VEDOUcí K REALIZACI ZVOLENÝCH CÍLŮ

Metodiky uplatněné při zpracování jednotlivých cílů představují většinou kombinaci několika metod z obou základních kategorií (teoretické i empirické).

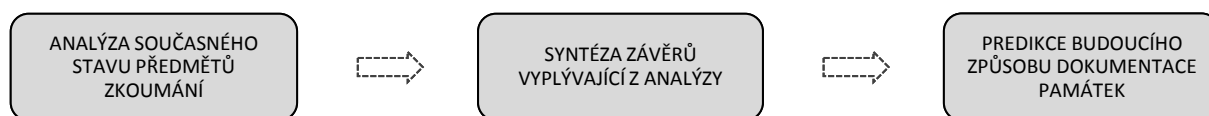
4.3.1 Metodika sestavená pro řešení cíle 1

Předmět zkoumání

Předmětem mého zájmu byla problematika procesu péče o nemovité památky. Zaměřila jsem se konkrétně na aktuální stav průzkumů nemovitých památek v ČR ve vztahu k systémům TZB-V, a na současný přístup k realizaci dokumentace nemovitých památek v ČR.

Vymezení pracovního postupu s uplatněním konkrétních metod

Úkol stanovený v prvním cíli jsem řešila prostřednictvím sledu metod, které jsou popsány pomocí Obr. 4.3.1.0.



Obr. 4.3.1.0 Chronologické řazení metod použitých pro řešení cíle 1 [zdroj: autor]

Podstatou tohoto cíle byla komplexní analýza výše uvedených předmětů zkoumání, provedená většinou formou rešerší z odborné literatury a dostupných informačních zdrojů, a dále formou rozhovorů s osobami zainteresovanými v oblasti zájmu. Na základě zjištěných informací jsem vyhodnotila současný stav řešené problematiky a provedla syntézu závěrů z něj vyplývajících. U tématu dokumentace památek jsem si dovolila predikovat budoucí způsob dokumentace, vycházející ze současných trendů.

4.3.2 Metodika sestavená pro řešení cíle 2

Předmět zkoumání

V tomto cíli jsem se zaměřila na konkrétní typ informací, zjišťovaných při průzkumu nemovitých památek v souvislosti se systémy TZB-V, a na míru jejich podrobnosti.

Vymezení pracovního postupu s uplatněním konkrétních metod

Řešení cíle 2, s uplatněním konkrétních, chronologicky řazených metod, je naznačeno pomocí Obr. 4.3.2.0.



Obr. 4.3.2.0 Chronologické řazení metod použitých pro řešení cíle 2 [zdroj: autor]

Podstatou mého druhého cíle byl zejména vlastní průzkum systémů TZB-V v reprezentativním vzorku budov (vybrané objekty budou specifikovány v kapitole 5.2.1). Na základě získaných informací jsem prostřednictvím analogie s teoretickými základy (viz kapitola 2.7 včetně podkapitol) a analogie s jinými dokumentovanými případy provedla vlastní analýzu vybraných systémů TZB-V, s následnou syntézou závěrů a zobecněním. Cíl byl sestaven se záměrem vytvořit co možná nejjednodušší systém při sběru informací o systémech TZB-V. Současně bylo účelem získané informace vhodně strukturovat.

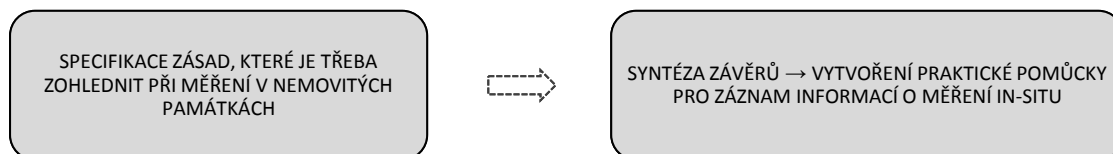
4.3.3 Metodika sestavená pro řešení cíle 3

Předmět zkoumání

Třetí cíl je zaměřen na dočasný záznam parametrů interního mikroklimatu in-situ, pomocí přístrojové techniky.

Vymezení pracovního postupu s uplatněním konkrétních metod

Výše zmíněný cíl 3 jsem řešila aplikací metod znázorněných níže na Obr. 4.3.3.0.



Obr. 4.3.3.0 Chronologické řazení metod použitých pro řešení cíle 3 [zdroj: autor]

Součástí tohoto cíle bylo zohlednění několika kritérií, které je nutné vzít v úvahu při instalaci dočasných měřících přístrojů v nemovitých památkách. Na základě získaných

poznatků jsem si stanovila za cíl vytvořit pomůcku, která by dokázala relevantně zajistit reprodukovatelnost měření.

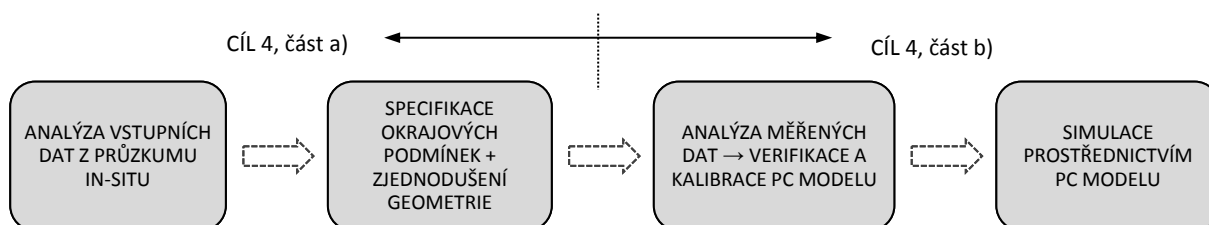
4.3.4 Metodika sestavená pro řešení cíle 4

Předmět zkoumání

V rámci posledního cíle jsem chtěla prostřednictvím zjednodušené případové studie nastínit řešení konkrétních problémů spojených s PC modelováním. V části a) cíle 4 jsem se zaměřila na tvorbu matematického modelu (nastavení okrajových podmínek výpočtu) a zjednodušení geometrie zkoumaného objektu. V části b) cíle 4 se pak zaměřuji na možnost verifikace a kalibrace sestaveného modelu pomocí naměřených dat.

Vymezení pracovního postupu s uplatněním konkrétních metod

Cíl 4 vychází z analýzy poznatků získaných v rámci předchozích tří cílů. Metodika sestavení PC modelu pro simulaci je znázorněna pomocí Obr. 4.3.4.0. Cíl je řešen formou případové studie.



Obr. 4.3.4.0 Chronologické řazení metod použitých pro řešení cíle 4 a) a b) [zdroj: autor]

Posledním cílem mé disertační práce je konkrétně demonstrovat možnosti metody PC modelování při zkoumání systémů TZB-V v nemovitých památkách. Snahou cíle je objektivní zhodnocení předností a úskalí této metody.

5. VÝSLEDKY DISERTAČNÍ PRÁCE

V následujících kapitolách představím konkrétní výsledky a dílčí závěry své práce, které plně korespondují s vytyčenými cíli.

5.1 AKTUÁLNÍ STAV PRŮZKUMŮ A DOKUMENTACE SYSTÉMŮ TZB-V V NEMOVITÝCH PAMÁTKÁCH

Následující syntéze závěrů předcházela komplexní analýza procesu péče o nemovité památky, zaměřená především na současný stav průzkumů a dokumentace systémů TZB-V. Tuto problematiku jsem dostudovala, zpracovala a předkládám ji v úvodních kapitolách 2.1 až 2.4. Téma bylo zpracováno na základě rešerší z různých informačních zdrojů (odborná literatura, elektronické zdroje, konzultace se zainteresovanými osobami).

Analýza současného stavu problematiky představuje výsledek cíle 1, který měl být zařazen na tomto místě. Z důvodu logické návaznosti celé práce jsem jej však zařadila na úvod a nikoliv do této kapitoly. Mezi vlastní výsledky cíle 1 patří především autorská schémata, předložená v kapitolách 2.1 až 2.4, s označením Obr. 2.1.1.0 až Obr. 2.4.2.0.

5.1.1 Syntéza závěrů řešeného tématu

V procesu péče o památky jsou průzkumy a dokumentace základem celého procesu. Stávající průzkumy a dokumentace se opírají o řadu zpracovaných metodik. Většina metodik se však týká oborů, jako jsou: archeologie, historie, architektura, pozemní stavby, stavební materiály, statika atp. Dokumentace památky vyplývající z těchto oborů také zaujímá největší rozsah. Systémům TZB-V jsou věnovány pouze drobné statě z výše zmíněných hlavních kapitol.

5.1.1.1 Zhodnocení a závěry z oblasti průzkumů

V současné době neexistuje v ČR průzkum ani k němu zpracovaná metodika, která by se zaměřovala speciálně na systémy TZB-V v nemovitých památkách. Zmínka o systémech TZB-V bývá ve větším nebo menším rozsahu součástí specializovaných průzkumů, ale samotný průzkum, který by se soustředil přímo a pouze na systémy TZB-V a popis jejich původní funkce tu zastoupen není.

Jako tematicky nejbližší považuji ze souboru prováděných specializovaných průzkumů klimatologický průzkum, průzkum inženýrských sítí a průzkum vlhkostních poměrů. *Klimatologický průzkum* se zaměřuje mimo jiné na stav interního mikroklimatu památky. Systémy TZB-V, které interní mikroklima zajišťují a ovlivňují, zde bývají zmíněny, ale není zde popsána jejich funkce. *Průzkum inženýrských sítí* se zase zabývá primárně zdravotně-technickými instalacemi (vodovod, kanalizace, plynovod a elektroinstalace) a jejich trasami. *Průzkum vlhkostních poměrů* ve svém hodnocení zmiňuje např. nefunkční přirozené větrání původními větracími průduchy, ale pouze jako příčinu nepříznivé vlhkostní bilance. Samotnou původní funkcí systémů TZB-V se již nezabývá.

Závěry

Z mého pohledu by si zasloužily systémy vytápění, větrání a klimatizace, i stínění větší a detailnější pozornost, protože jsou to právě tyto systémy, které dotvářejí vnitřní klima nemovitých památek. Vhodné vnitřní klima je nezbytné jak pro zachování dobrého stavu budovy a konstrukcí, tak pro inventář, mobiliář a uchovávané předměty. Dále může zkoumání výše jmenovaných systémů v nemovitých památkách přinést nové poznatky pro obor TZB. Stejně tak může mít velký přínos i pro praxi památkové péče či pro konzervátory.

S mým tvrzením o potřebném rozšíření metodiky průzkumu a dokumentace na systémy TZB-V, které mají vliv na vnitřní klima budovy, koresponduje i téma již zmíněného projektu NAKI. Jeho cílem je mimo jiné i cituji: „...otázka proudění vzduchu v klimatizovaných objektech i problematika nedostatečného proudění vzduchu v památkách bez funkčních průduchů včetně neprovozovaného teplovzdušného topení. Pro tuto oblast budou využity moderní způsoby měření pohybu vzduchu, na jejichž základě bude simulováno rozložení klimatických parametrů. V rámci návrhů způsobů regulace prostředí moderních objektů budou zkoumány též možnosti minimalizace energetické náročnosti, u památek potom zejména otázky spojené s minimalizací intervence...“

Dílčím závěrem cíle 1 tedy je, že: Komplexní průzkum a k němu vytvořenou metodiku, zabývající se systémy TZB-V, jejich původní funkcí a vyhodnocením jejich dopadu na stav vnitřního prostředí, zde v současné době postrádám.

5.1.1.2 *Zhodnocení a závěry z oblasti dokumentace*

Systém dokumentace a evidence nemovitých památek je v ČR dle mého názoru velmi kvalitní a propracovaný (viz kapitola 2.4.1). V současné době je veškerá fyzická dokumentace nemovitých památek převedena také do elektronické podoby a je dostupná prostřednictvím informačního systému IISPP. Subsystem MIS obsahuje veškeré zpracované průzkumy k jednotlivým památkám. V současné době probíhá vzájemná integrace metainformačního systému (MIS) a geografického informačního systému (GIS NPÚ). Tyto systémy mezi sebou dokáží komunikovat a zobrazují vzájemně provázané informace. Nutno podotknout, že možnost nahlížení do složek systému IISPP je závislá na přístupových právech uživatele.

Zdokumentovaný materiál z průzkumů je důležitý nejen z důvodu archivace, ale poskytuje také sadu klíčových informací, které se dají dále použít. Získané informace je možné prakticky využít například jako podklad při měření parametrů vnitřního klimatu nebo při počítačové simulaci a prognóze různých provozních stavů.

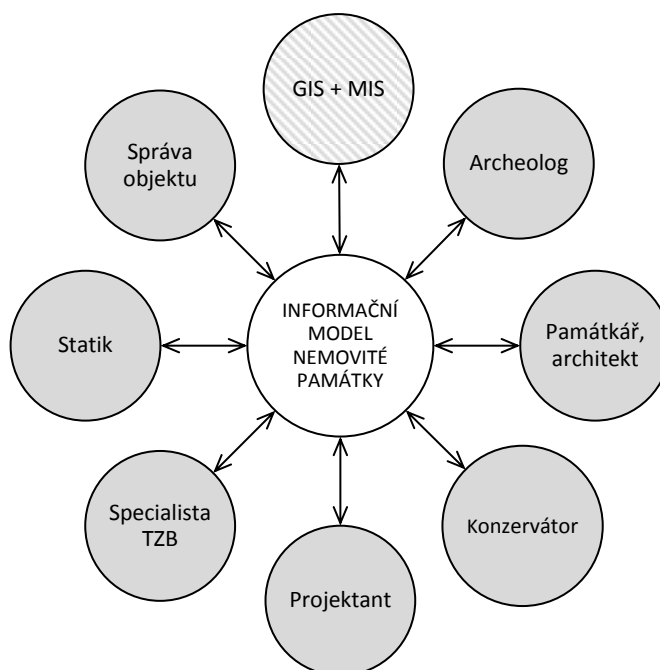
5.1.2 **Predikce budoucího vývoje v oblasti dokumentace nemovitých památek**

Podmínkou efektivního využití dostupných informací o nemovité památce je podle mého názoru jejich systematický záznam, a co možná nejvíce jednotná struktura. Dosavadní metodiky pro jednotlivé průzkumy zajišťují jistou míru systematickosti v dokumentaci památek. V důsledku zavedení informačních systémů MonumNet (evidence) a IISPP (dokumentace) byla dána těmto zpracovávaným informacím i jednotná struktura. Informační

data zde tedy v jistém smyslu již funguje. Uchovávaná data by navíc měla být archivovaná v takovém datovém formátu, aby byla přístupná po celou dobu životnosti nemovité památky.

Z uvedených skutečností vychází i moje predikce, která současně koresponduje i s vývojem aktuálních trendů nakládání s informacemi ve stavebnictví obecně.

Proces BIM, zmiňovaný v kapitole 2.5, by se dal podle mého názoru výhledově využít právě při dokumentaci nemovitých památek. Jak jsem již uvedla, v současné době existuje propojení metainformačního systému NPÚ (MIS) s geografickým systémem (GIS). Tato vzájemná vazba by se dala považovat za první krok k informačnímu modelování nemovitých památek.



Obr. 5.1.2.0 Zachycení vzájemných vazeb při procesu vytvářejícím informační model nemovité památky [zdroj: autor]

Schéma na Obr. 5.1.2.0 znázorňuje mou představu o vzájemných vazbách mezi subjekty zainteresovanými v procesu BIM v průběhu životního cyklu nemovité památky. Odlišnou šrafou je v diagramu na Obr. 5.1.2.0 zaznačena již existující vazba mezi GIS a MIS.

5.2 SPECIFIKACE ZÁKLADNÍ SADY INFORMACÍ O SYSTÉMECH TZB-V V NEMOVITÝCH PAMÁTKÁCH

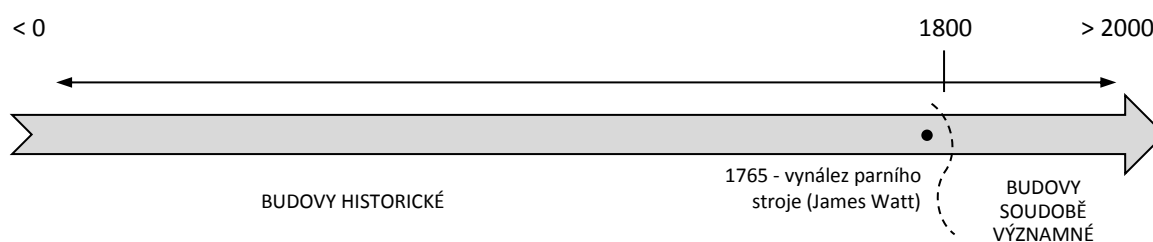
5.2.1 Výběr reprezentativního vzorku nemovitých památek

K vypracování této disertační práce a zobecnění výsledků jsem potřebovala nemovité památky rozdělit do dvou následujících kategorií:

- budovy historické
- budovy soudobě významné

Výše zmíněné kategorie nemovitých památek jsem volila tak, abych současně přihlédla jak k jejich stavebnímu (resp. konstrukčnímu) řešení, tak i k *původním* systémům TZB-V. I přes veškerou snahu se mi pochopitelně nemohlo podařit jednoznačně stanovit limitní stáří budovy (10 let, 100 let, 1 000 let...), které by vytvořilo pomyslnou hranici mezi označením *budova historická* a *budova soudobě významná*. Klíčem k tomuto rozdělení tedy nebude pouze stáří budovy, ale také soubor atributů, kterými budou jednotlivé kategorie charakterizovány.

Z hlediska původních systémů TZB-V, provozovaných ve zkoumané budově, lze pomyslnou hranici mezi oběma kategoriemi určit relativně jednoduše. Hranice obou kategorií konverguje ke konci 18. století (viz Obr. 5.2.1.0). Do této doby se v budovách setkáváme (téměř bez výjimky) se systémy TZB-V, které pracují pouze na přirozeném principu.



Obr. 5.2.1.0 Časová osa s vyznačením přibližného přechodu mezi budovami historickými a soudobě významnými [zdroj: autor]

Na konci 18. století byl vynalezen parní stroj, který způsobil průmyslový přelom a zapříčinil pokrok v technických aplikacích. Proto se přibližně od rozhraní 18. a 19. století začínáme i v budovách setkávat se systémy, využívajícími ke svému provozu nejprve páru, později elektrickou energii. Jednotlivé systémy TZB-V byly podrobněji popsány v kapitole 2.7.

Nyní bych definovala atributy, charakteristické pro skupinu budov historických a pro skupinu budov soudobě významných. K oběma kategoriím uvedu konkrétní budovy, které je budou dále v mé disertační práci reprezentovat.

5.2.1.1 Budovy historické

Charakteristické znaky z pohledu systémů TZB-V

V kategorii historických budov se setkáváme s původními systémy větrání a vytápění, které fungovaly samovolně, tedy na základě přirozených dějů. Nejvýznamnějším z přirozených dějů je *přirozené proudění tekutin* (viz kapitola 2.7.1 včetně podkapitol).

V historických budovách můžeme nalézt následující *původní* systémy:

- *přirozené větrání* – infiltrace; provětrávání; aerace; šachtové větrání;
- *vytápění* – sálavé lokální systémy; vytápění teplým vzduchem – centrální systémy;

Historické budovy byly dále navrhovány a stavěny tak, aby dokázaly využít maximální potenciál přírodních prvků a zdrojů, vyskytujících se v místě stavby. V nemovitostech a jejich blízkém okolí se tedy setkáváme s využitím:

- *slunce* – aplikace prvků solární architektury (např. stínící prvky, orientace budovy ke světovým stranám, tvorba akumulčních jader v podobě velmi hmotných konstrukcí);
- *vegetace* – její poloha vůči budově, různé druhy zeleně (např. opadavé a neopadavé stromy);
- *vodních ploch* – přirozené ochlazování staveb odpařováním z vodní hladiny;

Často také docházelo k tomu, že např. šlechtická sídla byla v průběhu let modernizována a původní přirozené systémy byly nahrazeny „nejmodernějšími“ systémy své doby. V historických budovách však bývají fragmenty původních přirozených systémů dochované.

Charakteristické znaky z pohledu stavebního řešení a použitých materiálů

Zaměříme-li se na stavební řešení historických budov, nalezneme následující společné atributy:

- *masivní zdivo o tloušťkách větších než 0,5 m* → poměrně dobrá tepelná stabilita místností, téměř nedocházelo ke kolísání teplot (fázové posunutí teplotního kmitu v rozsahu několika desítek hodin, někdy až dnů);
- *tradiční stavební materiál*: kámen, cihly (nejprve nepálené tzv. vepřovice, později i pálené), dřevo, sklo, hlína, sláma nebo kombinace materiálů, které byly při stavbě dostupné, tzv. smíšené zdivo;
- *sedlové, valbové a stanové střechy se sklonem > 45°* → tento tvar střech vykazuje dobrou stabilitu a nejsou tolik zatížené sněhem;
- *okna tvaru obdélníku, orientovaného na výšku* → účinnější přirozená výměna vzduchu v místnostech (viz kapitola 2.7.1.2); současně je pravděpodobné, že tento tvar oken mohl částečně minimalizovat letní tepelnou zátěž solárními zisky;
- *vysoké stropy v místnostech* → opět zvyšovaly účinnost přirozeného proudění vzduchu v místnosti;

Obecní reprezentanti historických budov

Mezi reprezentanty této skupiny bych zařadila: hrady, zámky, chrámy, kaple, rotundy, divadla, opery, muzea, univerzitní a vzdělávací budovy, lazarety, lázeňské budovy, reprezentační budovy, hospodářské budovy (sýpky, mlýny atp.) nebo i venkovské usedlosti a stavby lidové architektury, dochované např. ve skanzenech.

Vybraní reprezentanti historických budov

K výsledkům a závěrům své disertační práce jsem došla aplikací zadaného tématu na následující stavby, které reprezentují kategorii historických budov a zároveň představují nemovité památky ze seznamu ÚSKP:

- *Historická aula* – nacházející se v budově A, areálu Fakulty stavební, Vysokého učení technického v Brně, na ulici Veveří č. p. 331, v Brně - městě. Památková ochrana se vztahuje na uliční průčelí budovy A. Budova byla zapsána do ÚSKP roku 1958, pod číslem 48488/7–7804. Budova je památkou s národním statutem - nemovitá kulturní památka.
- *Palmový skleník a k němu přilehlá část Zámku Lednice* – nacházející se v obci Lednice, pod č. p. 1. Zámek včetně skleníku byl zapsán do ÚSKP roku 1958, pod číslem 46546/7-1343. Obě stavby představují památku s národním statutem – národní kulturní památka od r. 1995. Současně jsou obě stavby od roku 1996 památkou s mezinárodním statutem – Světové kulturní dědictví UNESCO.

U obou vybraných budov jsou zastoupeny výše zmíněné atributy, zejména co se týká stavebního řešení a použitých materiálů. Původní systémy TZB-V jsou dnes v obou budovách nahrazeny současnými systémy. Nicméně podle dochovaných pozůstatků původních přirozených systémů lze tyto stavby zařadit do skupiny historických budov.

5.2.1.2 Budovy soudobě významné

Charakteristické znaky z pohledu systémů TZB-V

Původní systémy v těchto budovách ztělesňovaly použití moderních technických aplikací tehdejší doby. V objektech se tedy kromě přirozených systémů setkáváme i se systémy, které ke svému provozu potřebovaly přísun pomocné energie⁵. V soudobě významných budovách se můžeme setkat s následujícími *původními* systémy:

- *přirozené větrání* – infiltrace; provětrávání; výjimečně šachtové větrání; aerace výhradně u výrobních nebo zemědělských objektů;
- *nucené větrání*
- *klimatizace*
- *vytápění* – centrální systémy → parní, teplo/horkovodní – nejprve s přirozeným oběhem teplonosné látky, později i s nuceným oběhem; CZT; lokální systémy → elektrická topidla, plynová topidla; tradiční sálavé vytápění (krb, kamna) bývá zařazeno jako estetický prvek;

Dále se u soudobě významných budov setkáváme s využitím následujících přírodních prvků a zdrojů:

- *slunce* – pasivní využití (aplikace prvků solární architektury, Trombeho stěny) a aktivní využití (předchůdci solárních a fotovoltaických panelů)
- *vegetace* – její poloha vůči budově, různé druhy zeleně (např. opadavé a neopadavé stromy);

⁵ Pomocná energie - dle definice vyhlášky 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov, se jedná o energii potřebnou pro provoz technických systémů.

- *vodních ploch* – přirozené ochlazování staveb odpařováním z vodní hladiny;

V soudobě významných budovách můžeme zaznamenat jedny z prvních technických vynálezů, pomocí nichž bylo možné energii z přírodních zdrojů využívat i aktivně. S pasivním využitím přírodních prvků a zdrojů se setkáváme ve větší míře u rodinných a vilových domů, umístěných v řidší zástavbě. Zde bylo stavebníkovi díky dostatku prostoru umožněno využít potenciál, který mu příroda nabídla. Naopak hustá městská zástavba využití tohoto přírodního potenciálu mnohdy znemožňovala. Navíc díky stavebním předpisům a nařízením, nebyla někdy možná ani vhodná orientace budovy ke světovým stranám, protože by budova např. narušila kompaktní vzhled celého uličního průčelí atp.

Charakteristické znaky z pohledu stavebního řešení a použitých materiálů

Zaměříme-li se na stavební řešení soudobě významných budov, nalezneme následující společné atributy:

- *stěny o tloušťkách menších než 0,5 m; konstrukce stěn je často vícevrstvá* → menší akumulční schopnosti zdiva, horší tepelná stabilita místností;
- *stavební materiál*: kámen, cihly pálené (plné i dutinové), beton, železobeton, cement, ocel, dřevo, sklo, plasty a tehdejší „moderní“ materiály;
- *ve skladbách konstrukcí se objevují hydroizolační (HI) a tepelněizolační (TI) materiály*: živičné vrstvy (HI), pryžové vrstvy (HI), lisované vláknité desky (TI) – např. Torfoleum, Hobra, skelná vata;
- *nové typy konstrukcí* → začínají se objevovat skeletové konstrukce (ocelové, betonové), konstrukce z prefabrikátů, ploché střechy;
- *velké prosklené plochy u některých budov* → jejich předností měl být co největší kontakt uživatelů s venkovním prostředím; na druhou stranu byly tyto prosklené plochy zdrojem nežádoucích solárních zisků a příčinou přehřívání místností v letním období;

Obecní reprezentanti soudobě významných budov

Mezi reprezentanty této skupiny bych zařadila: soukromé vily, rodinné domy, činžovní domy, administrativní budovy, obchodní domy, kulturní domy, zdravotní střediska, nemocnice, hotely, výstavní budovy, sportovní haly, zemědělské a výrobní objekty se specifickou technologií (kravíny, strojírna atp.).

Vybraní reprezentanti soudobě významných budov

K výsledkům a závěrům své disertační práce jsem došla aplikací zadaného tématu na následující stavbu, která reprezentuje kategorii soudobě významných budov a zároveň představuje nemovitou památku ze seznamu ÚSKP:

- *Vila Tugendhat* – nacházející se v ulici Černopolní č. p. 237, v Brně - městě. Vila včetně přilehlé zahrady byla zapsána do ÚSKP roku 1958, pod číslem 16079/7-98. Vila včetně zahrady představuje památku s národním statutem – národní kulturní

památkou od r. 1995. Současně je od roku 2001 památkou s mezinárodním statutem – Světové kulturní dědictví UNESCO.

Ve vile Tugendhat jsou zastoupeny výše zmíněné atributy, zejména co se týká stavebního řešení a použitých materiálů. Část systémů TZB-V je původní a část je nahrazena moderními instalacemi. Z hlediska všech původně používaných systémů lze vilu Tugendhat zařadit mezi soudobě významné budovy.

5.2.2 Analýza systémů TZB-V ve vybraných budovách na základě předložené teorie a průzkumu in-situ

Předkládaná analýza jednotlivých systémů je čistě autorská. Vychází tedy z vlastní aplikace teorie (viz kapitola 2.7), dále z analogie s jinými dokumentovanými případy, a v neposlední řadě vychází z poznatků získaných vlastním průzkumem in-situ. V následujících odstavcích uvádím přehled nejzajímavějších skutečností o systémech TZB-V ve zvolených nemovitých památkách, které se mi v průběhu výzkumu podařilo zjistit. Pro lepší přehlednost je ponecháno shodné řazení systémů jako v kapitole 2.7.

5.2.2.1 Infiltrace

Troufám si tvrdit, že větrání infiltrací najdeme u všech nemovitých památek, historickými počínaje a soudobě významnými konče.

5.2.2.2 Provětrávání

Provětrávání otevřenými okny je možné u všech tří zkoumaných budov. Konkrétní ukázky jsou zdokumentovány na následujícím obrázku.



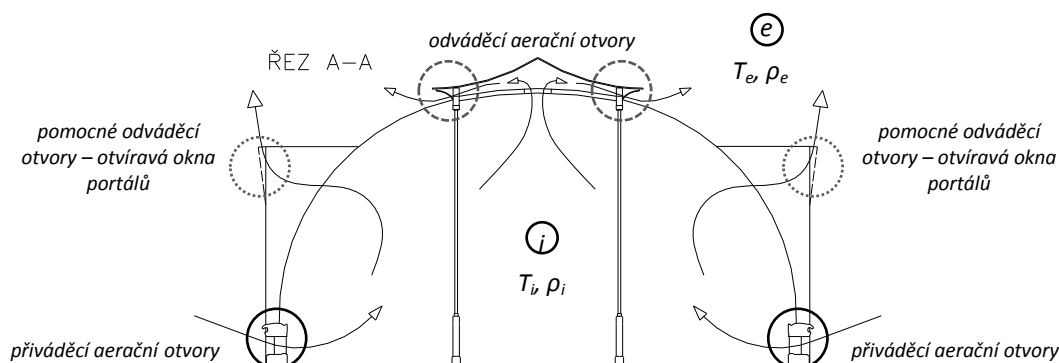
Obr. 5.2.2.0 Provětrávání oknem – Lednice na Moravě: větrání skleníku oknem v portálu (vlevo) [zdroj: [64]], větrání 2.NP zámku (uprostřed) [zdroj: autor], větrání obytné haly vily Tugendhat (vpravo) [zdroj: David Židlický [65]]

Shrnutí a závěr

Převážná většina historických budov má okna tvaru obdélníku otočeného na výšku. Spolu s poměrně vysokou světlou výškou místností je to dobrý předpoklad pro účinné přirozené větrání. Kromě historických budov se s provětráváním setkáváme i u budov soudobě významných.

5.2.2.3 Aerace

Příklad větrání aerací je možné najít v Zámeckém palmovém skleníku v Lednici na Moravě. Aeraci zde zajišťují přívaděcí otvory umístěné v soklu a odváděcí otvory umístěné ve stropě, střeše a v portálech skleníku (viz Obr. 5.2.2.1).



Obr. 5.2.2.1 Příklad aerace – řez Zámeckým palmovým skleníkem v Lednici na Moravě se zvýrazněním aeračních otvorů a naznačeným prouděním větracího vzduchu [zdroj: autor]

Přívodních otvorů v soklu je celkem 88. Odváděcích otvorů ve střeše je 44. Stropní odváděcí otvory byly původně v každém poli, nyní jsou pouze v polích v ose portálů. Pomocné odváděcí otvory umocňující větrání jsou umístěny v portálech a je jich dohromady 5. Detaily otvorů jsou znázorněny na fotografiích Obr. 5.2.2.2.



Obr. 5.2.2.2 Detaily aeračních otvorů Zámeckého palmového skleníku v Lednici na Moravě – přívodní a odváděcí aerační otvory (vlevo), detail přívodního aeračního otvoru v soklu (druhý zleva), detail odváděcího otvoru ve stropě - interiér (druhý zprava), detail odváděcího aeračního otvoru ve střeše (vpravo) [zdroj: autor]

Větrací otvory ve stropě lze uzavřít víky, které jsou z prostoru půdy ovládány pomocí lana na kladkách (viz Obr. 5.2.2.3). Otvory v soklu jsou navíc opatřeny mřížkou, která zabraňuje vniknutí škůdců do prostoru skleníku. V zimním období se otvory v soklu utěšňují, aby nepromrzly rostliny pěstované ve skleníku.



Obr. 5.2.2.3 Krov nad Zámeckým palmovým skleníkem – detail kladkového mechanismu, který ovládá víko nad větracím otvorem ve stropě [zdroj: autor]

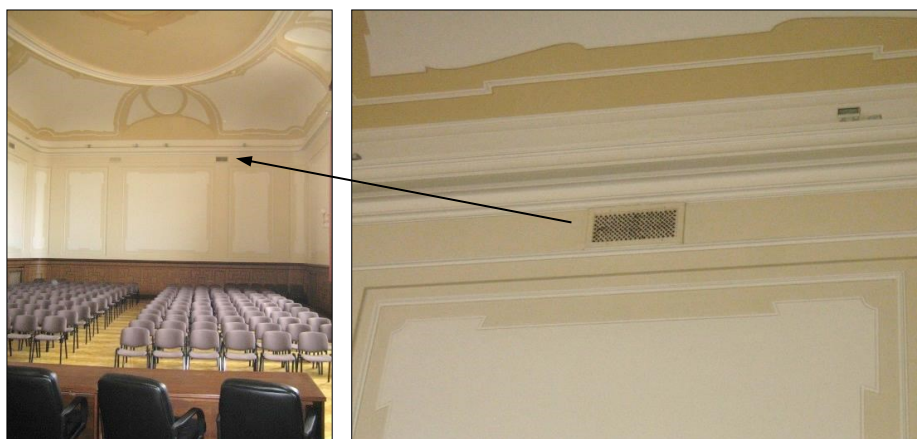
Shrnutí a závěr

S aerací se u nemovitých památek můžeme setkávat především tam, kde v interiéru vznikalo velké množství agencií tepelného i látkového charakteru (např. teplo, vodní pára).

Tématem větrání palmového skleníku jsem se podrobněji zabývala v rámci případové studie, která byla publikována s názvem *Vliv přirozeného větrání na vnitřní prostředí skleníku* (viz Seznam publikací autora, rok 2010). Dále je možné nalézt podrobné informace o větrání skleníku v publikaci [66].

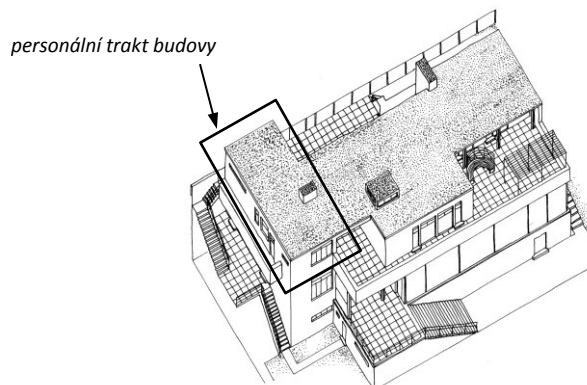
5.2.2.4 Šachtové větrání

Historická aula Fakulty stavební byla původně větrána pomocí šachtového větrání v kombinaci s provětráváním okny. Mřížky, jimiž byly zakončeny původní větrací šachty, jsou v aule umístěny cca v 1/3 světlé výšky směrem od stropu (viz Obr. 5.2.2.4). V současné době jsou původní šachty a mřížky využity pro odvod vzduchu z auly do vzduchotechnické jednotky.



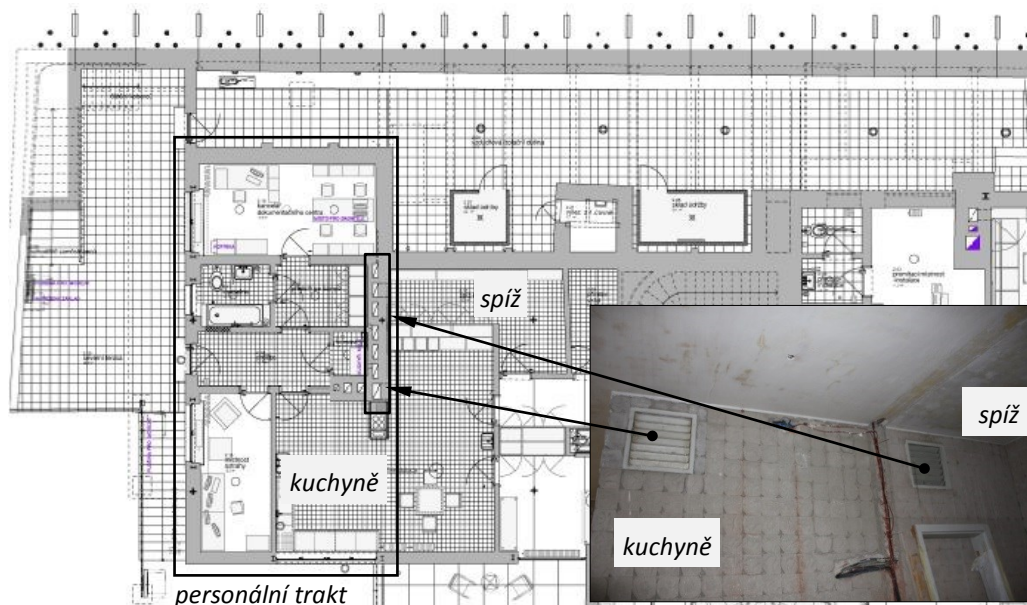
Obr. 5.2.2.4 Historická aula Fakulty stavební – původní otvory šachtového větrání [zdroj: autor]

Další ze zkoumaných budov, ve které doposud funguje šachtové větrání, je vila Tugendhat. Šachtově větrané jsou místnosti 1.PP a 1.NP, situované v personálním traktu vily (viz Obr. 5.2.2.5).



Obr. 5.2.2.5 Vila Tugendhat – lokalizace personálního traktu [zdroj:[67]]

Ve vnitřní nosné zdi, která tvoří pomyslnou hranici mezi personálním traktem a obytnou částí vily se nachází větrací šachty (viz Obr. 5.2.2.6 půdorys 1.NP). Každá ze šachet je určena pro větrání jedné místnosti. Větrací mřížky na vstupu do šachet jsou umístěny pod stropem jednotlivých místností.



Obr. 5.2.2.6 Vila Tugendhat – půdorys 1.NP s vyznačením šachet pro šachtové větrání (vlevo) [zdroj: autor], fotografie s detailem odvodní mřížky v kuchyni a ve spíži (vpravo) [zdroj: autor]

Šachty probíhají od 1.PP přes 1.NP až do 2.NP, kde ústí nad dlažbu vstupní terasy (viz Obr. 5.2.2.7). Stěna personálního traktu, ve které se nacházejí otvory ústící z jednotlivých šachet nad dlažbu vstupní terasy, je od ranních hodin přibližně do 11 hodin vystavena přímému slunečnímu záření (vycházím zde z naměřených dat a simulace oslunění budovy viz kap. 5.2.2.11). Je tedy více než pravděpodobné, že k lepšímu tahu šachet zejména v letním období zde napomáhá sluneční záření, které prohřeje stěnu s koncovými otvory.



Obr. 5.2.2.7 Vstupní terasa vily Tugendhat - elipsou je vyznačeno zakončení větracích šachet v podobě otvorů vyústěných na vstupní terasu 2.NP [zdroj: David Židlický [18]]

Shrnutí a závěr

Kromě konkrétních výše uvedených příkladů, se s šachtovým větráním často setkáváme také v hradech, zámcích, kláštrech atp. Systémy často sloužily k větrání prevétoých kobek (viz literatura [39]). Na stejném principu fungovaly i světlíky činžovních domů, kde světlík představoval šachtu probíhající podél celé budovy ve vnitrobloku. Do této šachty byla zaústěna okna podružných místností (koupelny, WC, spíže), pomocí kterých byl do celého bytu nasáván chladnější venkovní vzduch. [39]

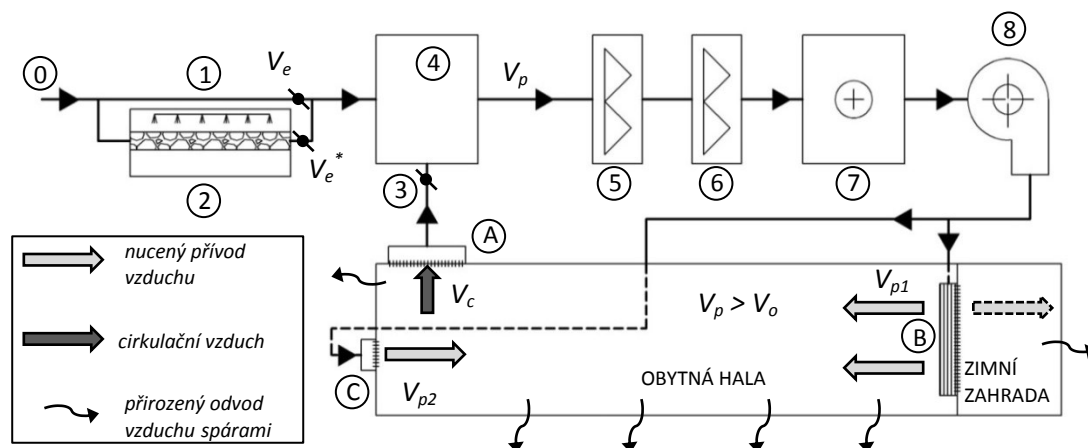
Šachtové větrání se tedy v hojné míře vyskytovalo jak u historických, tak u soudobě významných budov.

5.2.2.5 Nucené větrání

Se speciálním systémem úpravy vzduchu se můžeme setkat ve vile Tugendhat. V různých publikacích je systém označován jako klimatizační, avšak s přihlédnutím ke způsobu jeho provozu jsem ho raději zařadila do kapitoly nuceného větrání (níže vysvětlím proč). Před poslední památkovou obnovou v letech 2010 – 2012 bylo možné napočítat ve vile přes 55 místností. Nucený způsob úpravy vzduchu je možný pouze v jediné a tou je obytná hala s přílehlou zimní zahradou v 1.NP. Zbylé místnosti jsou větrány přirozeně, přičemž 9 místností v 1.PP a 1.NP je větráno šachtovým větráním (viz odstavec 5.2.2.4).

Systém úpravy vzduchu v obytné hale lze označit jako specifický způsob nuceného větrání kombinovaného s přirozeným, kde kromě obvyklé filtrace a ohřevu větracího vzduchu je systém doplněn další úpravou a to adiabatickým chlazením/vlhčením (v případě vily Tugendhat použitelným pouze pro letní provoz). Pokud bych chtěla tento systém zařadit dle účelu, tlakových poměrů, skladby a úpravy vzduchu v souladu s literaturou [37] a [20], lze ho klasifikovat jako systém: komfortní, přetlakový, centrální, s úpravou vzduchu (filtrace, ohřev) a specifickým chlazením/vlhčením.

Vzduchotechnický systém se skládá ze: zděného kanálu pro přívod čerstvého vzduchu, zděných komor pro chlazení/vlhčení, cirkulaci a směšování vzduchu (s manuálním ovládacím systémem), filtrů (olejového a hoblinového), ohřivače, radiálního ventilátoru pro distribuci vzduchu, rozvodného potrubí a distribučních prvků včleněných do interiéru. Funkční schéma celého systému je znázorněno na následujícím obrázku Obr. 5.2.2.8.



Obr. 5.2.2.8 Vila Tugendhat – schéma specifického systému nuceného větrání obytné haly a přilehlé zimní zahrady: 0 – přívod čerstvého vzduchu, 1 – komora pro přívod čerstvého vzduchu, 2 – komora adiabatického chlazení/vlhčení a mineralizace vzduchu, 3 – komora cirkulačního vzduchu, 4 – směšovací komora, 5 – olejový filtr (1. stupeň filtrace), 6 – hoblinový filtr (2. stupeň filtrace), 7 – teplovodní ohřivač, 8 – radiální ventilátor, A – odvodní obdélníková vyústka, B – přívodní podlahová vyústka s možností odklonění části proudu vzduchu do zimní zahrady, C – přívodní obdélníková vyústka [zdroj: autor]

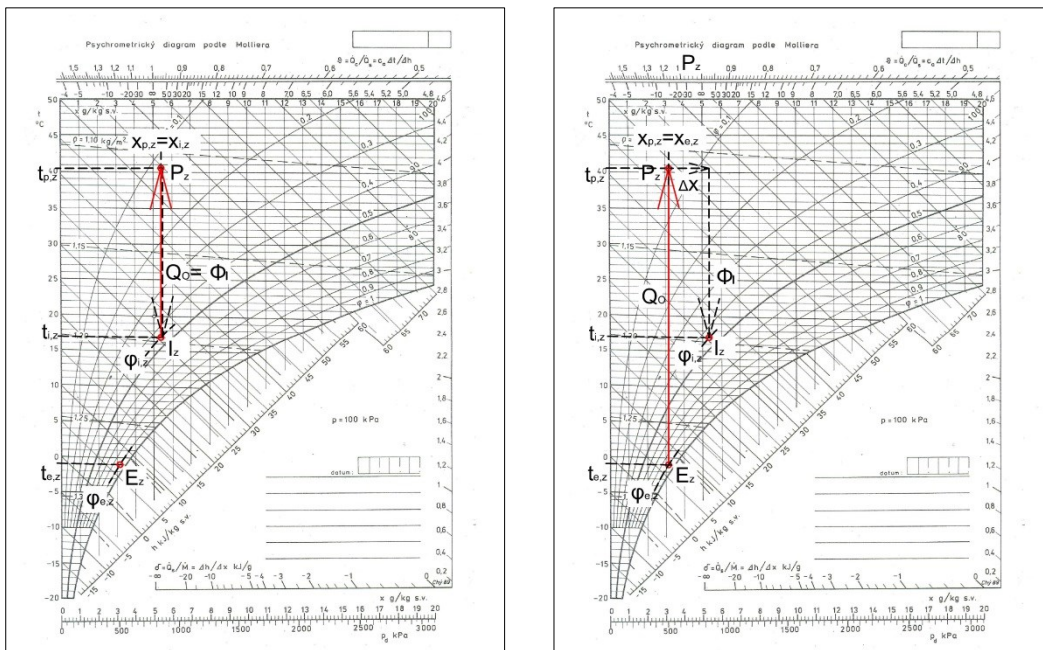
Systém je schopen pracovat ve ventilačním, cirkulačním i kombinovaném provozním stavu (viz Tab. 5.2.2.0). Dle informací pracovníka vily M. Charváta, který technické zázemí léta obsluhoval, se reálně používaly provozní stavy zvýrazněné v Tab. 5.2.2.0 podbarvením.

Tab. 5.2.2.0 Možné provozní stavy nuceného větrání ve vile Tugendhat (nastavení regulačního panelu 0 – neaktivní, 1 – aktivní) [zdroj: autor]

Provozní stavy nuceného větrání	Přívod vzduchu (V_p)	Odvod vzduchu (V_o)	Nastavení na regulačním panelu			Použitelné v období
			Čerstvý vzduch (V_e)	Cirkulace (V_c)	Chlazení (V_e^*)	
CIRKULAČNÍ	NUCENÝ	NUCENÝ	0	1	0	ZIMA
VENTILAČNÍ I.	NUCENÝ	PŘIROZENÝ	1	0	0	ZIMA
VENTILAČNÍ II.	NUCENÝ	PŘIROZENÝ	0	0	1	LÉTO
VENTILAČNÍ III.	NUCENÝ	PŘIROZENÝ	1	0	1	LÉTO
KOMBINOVANÝ I.	NUCENÝ	NUCENÝ	1	1	0	ZIMA
KOMBINOVANÝ II.	NUCENÝ	NUCENÝ	0	1	1	LÉTO
KOMBINOVANÝ III.	NUCENÝ	NUCENÝ	1	1	1	LÉTO
PŘIROZENÉ VĚTRÁNÍ	PŘIROZENÝ	PŘIROZENÝ	0	0	0	ZIMA, LÉTO

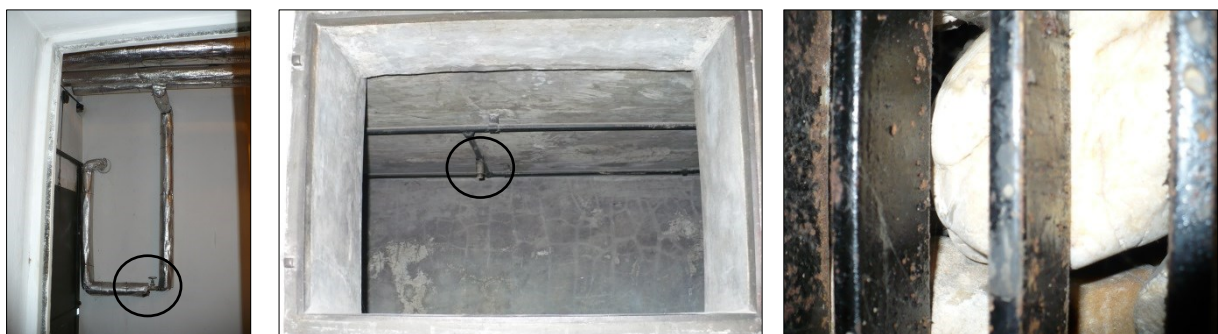
V posledních letech byla vzduchotechnika ve vile používána nahodile, především při zasedáních a větších akcích konaných v obytné hale. V těchto případech byla místnost pouze teplovzdušně vytápěna. V zimním období tedy fungoval provoz cirkulační, případně provoz

kombinovaný I. Teoreticky je možné v zimním období zařadit i provoz ventilační I., který je však ekonomicky nevýhodný, což dokazuje porovnání na Obr. 5.2.2.9. Na zmíněném obrázku jsou zobrazeny dva h-x diagramy, které znázorňují ohřev vzduchu v zimním období při cirkulačním provozu (vlevo) a ventilačním I. (vpravo). Z velikosti potřebného topného výkonu ohříváče Q_o (W) je patrné, že provoz ventilační I. bude ekonomicky nákladnější v porovnání s cirkulačním. Z tohoto důvodu režim ventilační I. pro reálný provoz používán nebyl. Doplňující komentář k h-x diagramům, obsahující přehled použitých veličin a způsob stanovení okrajových podmínek, je součástí Přílohy 2.



Obr. 5.2.2.9 Mollierův h-x diagram – ohřev vzduchu při cirkulačním provozu (vlevo) a při provozu ventilačním I. (vpravo) – pozn. zde je naznačena možnost zvýšení měrné vlhkosti (Δx) v obytné hale otevřením dveří do zimní zahrady [zdroj: autor]

Ze zařazení komory adiabatického chlazení/vlhčení v systému vzduchotechniky dále vyplývá, že provozní stavy ventilační II., III. a kombinovaný II., III., nemohly být použity pro zimní provoz. Komora adiabatického chlazení/vlhčení je konstrukčně provedena jako sprchová pračka vzduchu. Voda z rozprašovacích trysek (viz Obr. 5.2.2.10 uprostřed) navíc smáčí vrstvu mořských kamenů uložených na kovovém roštu (viz Obr. 5.2.2.10 vpravo).



Obr. 5.2.2.10 Vila Tugendhat – pohled do směšovací komory, kde je viditelný rozvod studené a teplé vody – v kroužku je vyznačen uzavírací ventil na potrubí studené vody, které vede do trysek

pračky vzduchu (vlevo), pohled do revizního otvoru umístěného v cirkulační komoře – otvorem lze vidět registr pračky vzduchu – v kroužku je vyznačena tryska (uprostřed), detail roštu s mořskými kameny (vpravo) [zdroj: autor]

Do komory s tryskami je přímo přiváděn venkovní vzduch. Pokud by tedy s adiabatickým chlazením/vlhčením bylo uvažováno v zimním provozu, kdy teplota venkovního vzduchu klesá pod bod mrazu, hrozilo by zamrznutí a popraskání rozvodu vody i samotných trysek. Z umístění uzavíracího ventilu pro tryskový registr (patrné na Obr. 5.2.2.10 vlevo) mohu usuzovat, že v zimním období byl celý registr vypuštěn. Toto opatření mohlo dostatečně ochránit potrubí i trysky před poškozením. Adiabatické chlazení/vlhčení bylo před památkovou obnovou sice funkční, ale nepoužívalo se z důvodu malé průchodnosti sprchovacích trysek.

Z výše uvedeného lze tedy vyvodit závěr, že adiabatické chlazení/vlhčení bylo do systému zařazeno primárně za účelem chlazení v letním období a nikoli jako stupeň vlhčení, známý z klimatizačních systémů. Jelikož byl systém v posledních letech využíván pouze k teplovzdušnému vytápění, řadím ho do kapitoly o nuceném větrání.

Poměr čerstvého a cirkulačního vzduchu byl regulován ručně, na základě letitých zkušeností pana M. Charváta. Manuální regulační panel (viz Obr. 5.2.2.11 vlevo) umožňuje regulaci přívodu čerstvého, cirkulačního a chlazeného vzduchu a to v rozsahu 0 – 100 %. Značky na stupnici regulačního panelu jsou pro polohy: otevřeno, zavřeno, ½. Funkční mechanismus, který označuji termínem „regulační klapka“, sestává z kovového rámu, ve kterém se pomocí kladkového systému pohybuje nahoru a dolů masivní kovový panel. Prostřednictvím panelu je možné regulovat množství objemového toku vzduchu jednotlivými komorami (viz Obr. 5.2.2.11). Pokud je nucené větrání vypnuté, je hala větrána přirozeně infiltrací a provětráváním (pomocí spouštěcích oken).



Obr. 5.2.2.11 Vila Tugendhat – komponenty systému nuceného větrání: manuální regulační panel (vlevo), pohled na „regulační klapku“ komory cirkulačního vzduchu (uprostřed), pohled na otevřenou „regulační klapku“ komory cirkulačního vzduchu a na zavřené „regulační klapky“ komory čerstvého vzduchu /horní komora/ a chlazeného vzduchu /spodní komora/ (vpravo) [zdroj: autor]

Na závěr bych se ještě pozastavila u jedné možnosti využití celého unikátního systému. Jelikož jsou v adiabatické komoře umístěny mořské kameny, a dle informací pana Charváta

byl v olejovém filtru používán cedrový olej a hobliny druhého filtru byly údajně také cedrové, nabízí se zde úvaha o funkci mineralizace a aromatizace vzduchu v obytné hale. Tuto hypotézu se mi však zatím nepodařilo dostatečně ověřit a podložit.

Shrnutí a závěr

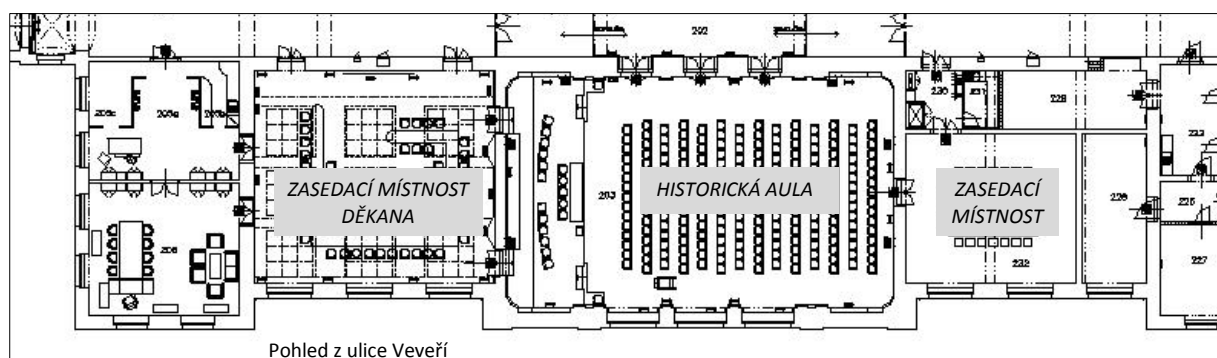
S původními systémy nuceného větrání se setkáváme výhradně v soudobě významných budovách. Nejčastěji se jedná o centrální systémy. Pokud se tento systém objeví v historické budově, je pravděpodobné, že se jedná o dodatečnou instalaci v rámci památkové obnovy nebo rekonstrukce.

Podrobným popisem unikátního systému vzduchotechniky ve vile Tugendhat a monitorováním parametrů IM na vybraných místech vily jsem se zabývala v rámci následujících publikovaných případových studií: *Unikátní systém vzduchotechniky v historické budově; Villa Tugendhat – An Unique Air-conditioning System in Residential Hall* (viz Seznam publikací autora, rok 2011 a 2013). Informace o památkové obnově technických zařízení vily Tugendhat shrnuje publikace [68].

5.2.2.6 Klimatizace

Jak již bylo řečeno výše, v případě areálu FAST v Brně se památková ochrana vztahuje pouze na průčelí budov A, B, C a jejich spojovacích krčků. Interiéry nespádají pod památkovou ochranu, což umožnilo při rekonstrukci v roce 2001 instalaci vzduchotechnických jednotek pro vybrané prostory fakulty.

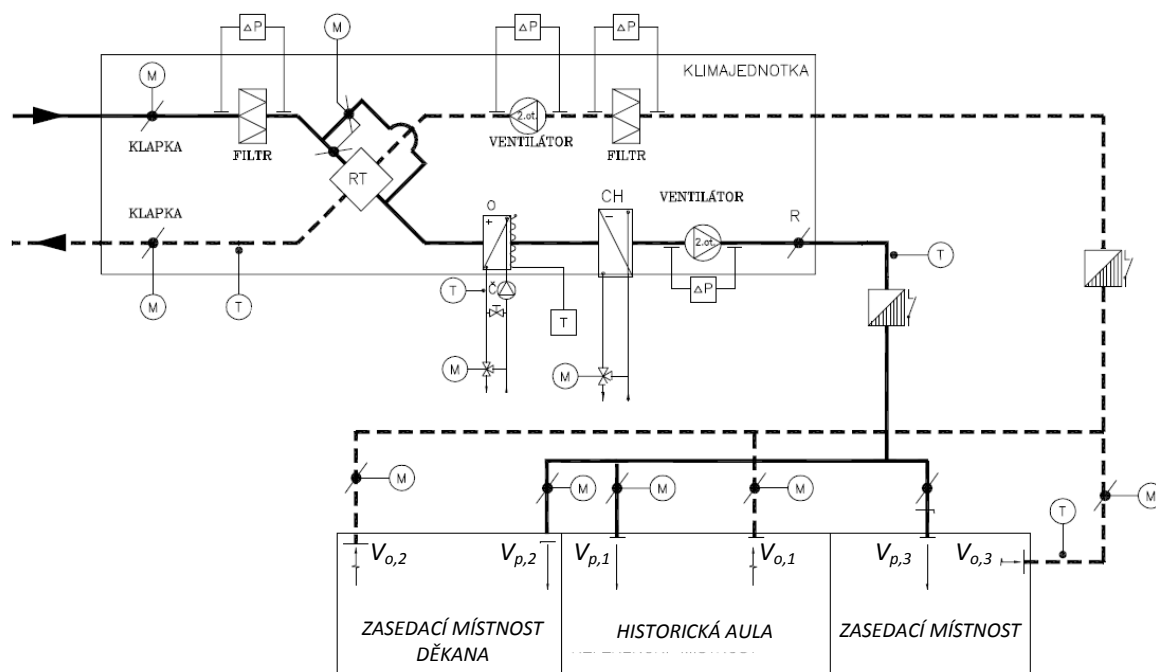
Samostatnou jednotku tvoří zařízení pro větrání a klimatizaci historické auly a přilehlých zasedacích místností ve 2. NP budovy A (viz Obr. 5.2.2.12). Střídavý provoz pak zajišťuje to, že v případě kdy není aula využívána, jsou klimatizovány obě přilehlé zasedací místnosti.



Obr. 5.2.2.12 Výřez části půdorysu 2.NP budovy A - lokalizace historické auly a zasedacích místností [zdroj: projektová dokumentace – rekonstrukce budovy A; upraveno: autor]

Vzduchotechnická jednotka, která se nachází ve strojovně 4.NP, je vybavena přívodním a odtahovým ventilátorem, vstupní a výstupní klapkou, filtry, ohříváčem vzduchu (O), chladičem vzduchu (CH) a rekuperátorem (RT). V jednotce i na trase vzduchotechniky jsou osazena čidla a regulační členy řídicího systému MaR (T, M). Schéma jednotky je znázorněno

na Obr. 5.2.2.13. Jednotka pracuje se 100 % čerstvého vzduchu. Vzduchotechnika auly byla navržena pro kapacitu 300 osob.



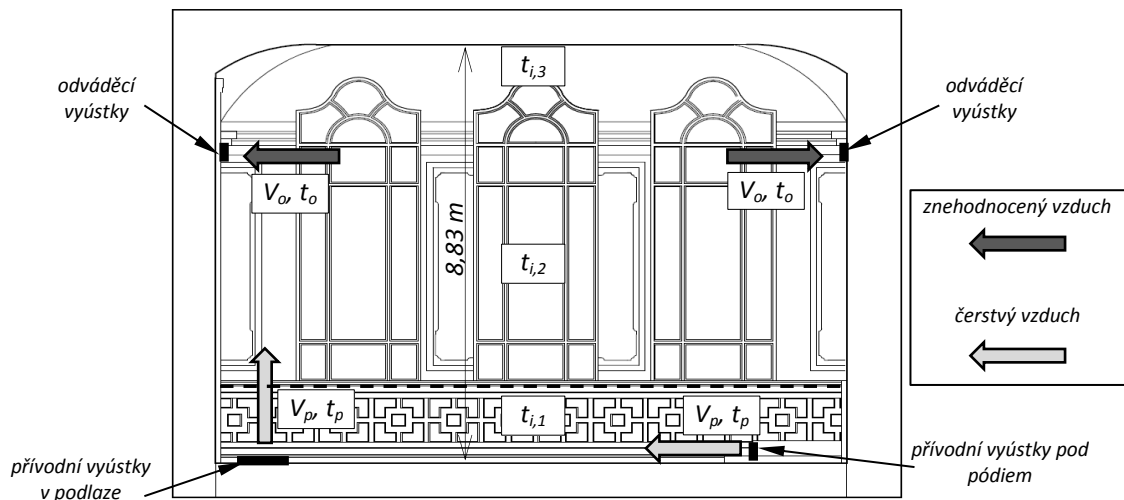
Obr. 5.2.2.13 Schéma vzduchotechnické jednotky pro historickou aulu a přilehlé zasedací místnosti [zdroj: projektová dokumentace VUT Brno, Veverí 95, objekt "A" - Schéma technologie VZT 6 a 7; upraveno: autor]

Distribuci přírodního vzduchu zajišťuje čtyřhranné vzduchotechnické potrubí, zakončené šesti obdélníkovými mřížkami ve stupínku pódia a podlahovými mřížkami v zadní části auly (viz Obr. 5.2.2.14 vlevo a uprostřed). V prostoru pod pódium jsou osazeny jednotky fan-coil, které slouží k chlazení v letním období. Odvod znehodnoceného vzduchu je proveden mřížkami umístěnými pod stropem cca ve 2/3 výšky místnosti (šachty sloužily dříve pro šachtové větrání auly viz kapitola 5.2.2.4). Odvodní mřížky jsou zvýrazněny na Obr. 5.2.2.14 vpravo.



Obr. 5.2.2.14 Historická aula FAST – přírodní vyústky umístěné pod pódium v přední části auly (vlevo), přírodní podlahové vyústky v zadní části auly (uprostřed), odvodní vyústky po obvodu auly ve 2/3 výšky místnosti – zvýrazněné elipsami (vpravo) [zdroj: autor]

Světlá výška auly činí 8,83 m, z čehož vyplývá i nutnost zohledňovat vliv přírůstku teploty Δt po výšce místnosti. Způsob distribuce vzduchu v aule je znázorněn na Obr. 5.2.2.15. Na témže obrázku je znázorněno i různé rozložení teplot po výšce místnosti. Osoby pobývají v pásmu vymezeném úrovní podlahy a čárkovanou čarou (oblast s teplotou $t_{i,1}$).



Obr. 5.2.2.15 Řez historickou aulou FAST – znázornění distribuce vzduchu přívodními a odváděcími výústkami [zdroj: projektová dokumentace – rekonstrukce budovy A; upraveno: autor]

Shrnutí a závěr

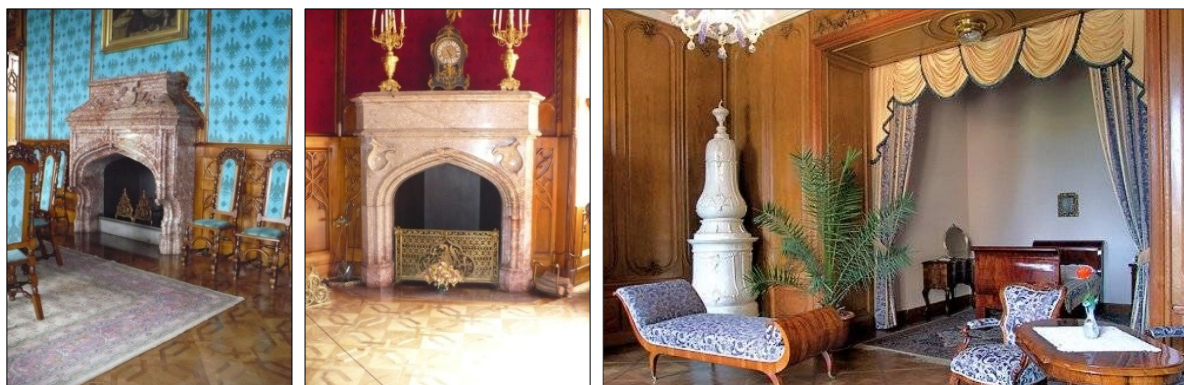
V kontextu s nemovitými památkami se s klimatizací setkáváme převážně u památkových obnov a rekonstrukcí. Původní klimatizační systémy můžeme najít u památek soudobě významných, nikoli však u památek historických. Typickými nemovitými památkami, kde je potřeba upravovat vnitřní prostředí pomocí klimatizace jsou: archivy, depozitáře, galerie, výstavní sály, divadla a prostory sloužící kulturním účelům.

Podrobným popisem systému klimatizace v aule FAST, monitorováním parametrů IM v průběhu cyklu promoci a počítačovou simulací parametrů IM v průběhu promoci jsem se zabývala v následujících publikovaných případových studiích: *Klimatizace historické auly*; *Monitorování parametrů vnitřního klimatu v historické aule*; *Sledování kvality vnitřního prostředí v historické aule* (viz Seznam publikací autora, rok 2008, 2009 a 2010).

5.2.2.7 Sálavé vytápění

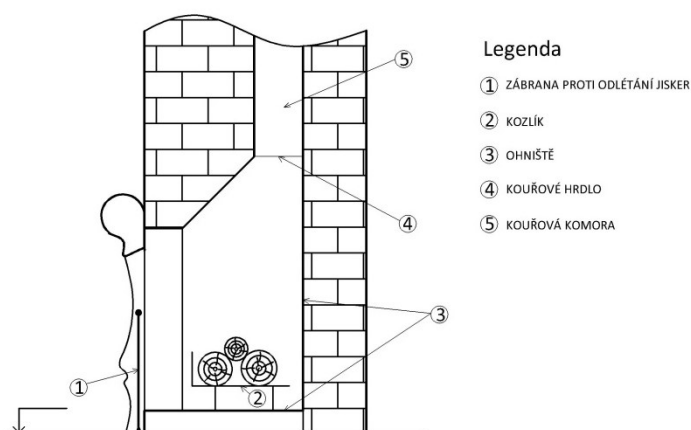
Se zástupci sálavého vytápění, v podobě otevřených krbů a sálavých kamen, se můžeme setkat v interiérech Lednického zámku. V reprezentativních sálech v přízemí zámku se nacházejí otevřené krby (viz Obr. 5.2.2.16). Kromě krbů zde nalezneme také distribuční elementy pro vytápění teplým vzduchem, na které se zaměřím v následující kapitole.

V soukromých apartmánech v prvním patře zámku nalezneme převážně sálavá kamna, která byla služebnictvem obsluhována z vedlejší místnosti, což zajišťovalo panstvu dostatek soukromí (viz Obr. 5.2.2.16).



Obr. 5.2.2.16 Interiéry zámku Lednice s představiteli sálavého vytápění – krb v Tyrkysovém sálu se zdobeným kozlíkem uvnitř (vlevo) [zdroj: autor], krb v Červeném sálu se zábranou proti odlétání jisker (uprostřed) [zdroj: autor], sálavá kamna v ložnici Sofie Esterhazy, obsluhovaná z vedlejší místnosti (vpravo) [zdroj: [69]]

Krby v zámku jsou dle způsobu odkouření amerického typu⁶, což znamená, že komínový průduch vede jen od podlaží, kde je krb instalován. Krby realizované v zámeckých interiérech většinou sestávaly z částí popsanych na Obr. 5.2.2.17.



Obr. 5.2.2.17 Schematický řez krbem Lednického zámku [zdroj: autor]

Shrnutí a závěr

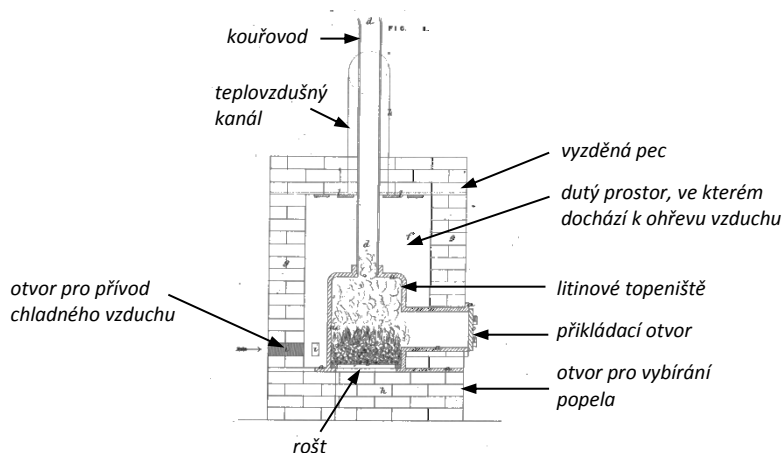
Původní reprezentanty sálavého vytápění (otevřená ohniště, krby, kamna, sálavá kamna) nalézáme nejčastěji v historických budovách. V případě soudobě významných budov plní zástupci původního sálavého vytápění (krby a kamna) spíše estetickou funkci. Na tomto místě bych ještě ráda zmínila i plynové a elektrické lokální systémy vytápění, které sice nejsou z pohledu sdílení tepla do prostoru ryze sálavé, ale v soudobě významných budovách i při obnovách historických budov se s nimi často setkáváme.

Problematikou jsem se zabývala v publikacích: *Systém vytápění zámku v Lednici a Historické budovy a jejich systémy TZB* (viz Seznam publikací autora, rok 2009, 2013).

⁶ Později se používalo i odkouření evropského typu, kdy byl krb napojen na komínový průduch, probíhající podél krbového tělesa od nejspodnějšího podlaží až po nadstřešní vyústění. [47]

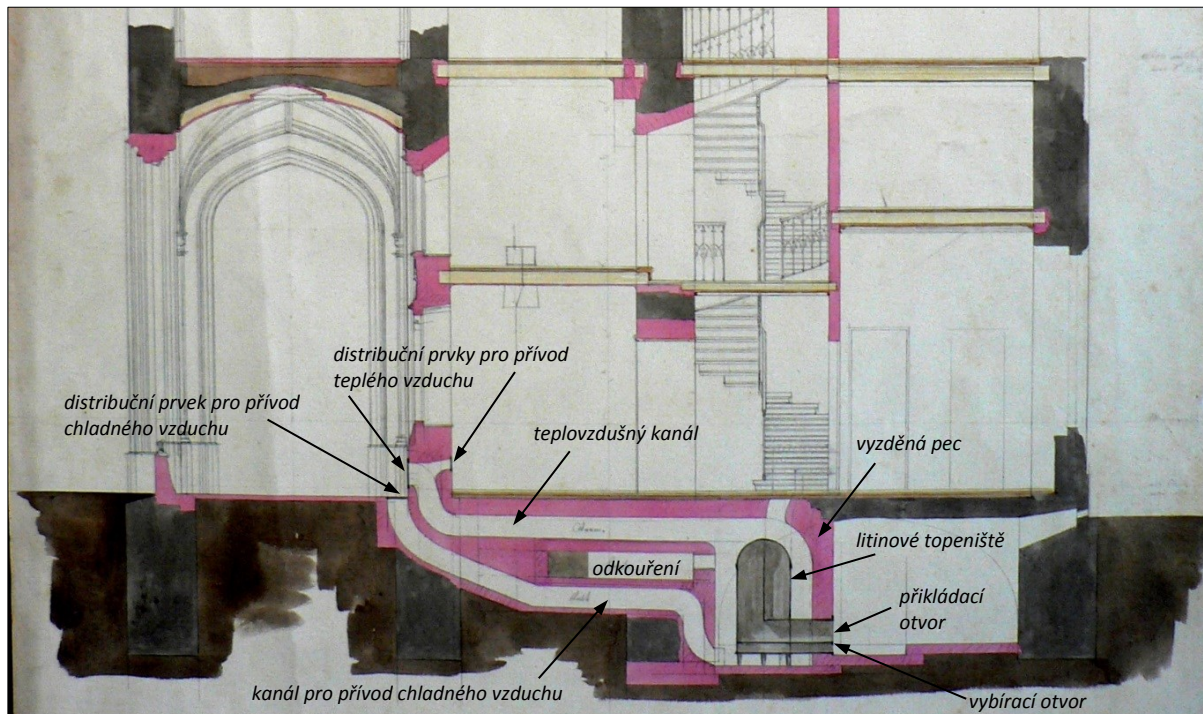
5.2.2.8 Vytápění teplým vzduchem

Mnoho dochovaných systémů tohoto typu vytápění je bohatě zdokumentováno ve Velké Británii (viz webové stránky Heritage Group Website of the CIBSE [70]). Na obrázku Obr. 5.2.2.18 je znázorněn řez pecí, kterou si nechal v roce 1864 patentovat John Grundy (Anglie).



Obr. 5.2.2.18 Schéma pece pro vytápění teplým vzduchem - patent č.2949 z roku 1864 registrovaný Johnem Grundym [zdroj: [70], upraveno: autor]

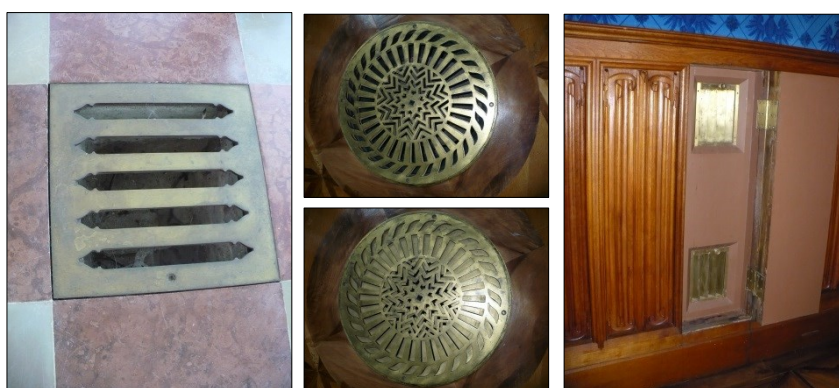
Vytápění teplým vzduchem bylo realizováno i v přízemních chodbách a sálech zámku Lednice. Tyto sály byly vytápěny jak pomocí krbů, tak teplým vzduchem. Na obrázku Obr. 5.2.2.19 je dochovaný návrh stavebních úprav východního křídla zámku z roku 1847, zpracovaný architektem Georgem Wingelmüllerem. Červeně je značeno nové zdivo.



Obr. 5.2.2.19 Dochovaný řez V-křídla zámku Lednice s popisem jednotlivých částí navrhovaného systému vytápění teplým vzduchem [zdroj: [71][71], originální dokument: Moravský zemský archiv v Brně F115 i. č. 2637, upraveno: autor]

Analogie Grundyho pece z Obr. 5.2.2.18 s pecí na obrázku Obr. 5.2.2.19 je zcela zřejmá. Je tedy pravděpodobné, že princip vytápění zámku teplým vzduchem byl převzat z Anglie, což podporuje i fakt, že v letech 1846 – 1858 bylo tehdejší barokní sídlo upraveno do dnešní podoby zámku v duchu anglické gotiky. Vazby s Anglií dokládá i literatura [66], kde se mimo jiné uvádí, že G. Wingelmüller ve svém projektu přestavby zámku vycházel i z konstrukčních návrhů anglického architekta P. H. Desvignese.

Ve vytápěných sálech a v chodbách Lednického zámku se nacházejí distribuční elementy pro přívod teplého vzduchu v různých provedeních. Nejjednodušší provedení představují mřížky. Dále je v sálech možné nalézt zdobené regulovatelné vyústky osazené v podlaze. V neposlední řadě je možné nalézt regulovatelné mřížkové vyústky i ve stěnách sálu, kde jsou schované pod dřevěným obložením. Jednotlivé distribuční elementy jsou znázorněny na obrázku níže.



Obr. 5.2.2.20 Distribuční elementy pro vytápění teplým vzduchem – mřížka v podlaze chodby (vlevo), regulovatelná zdobená kruhová vyústka v podlaze sálu v poloze otevřeno (nahore uprostřed) a zavřeno (dole uprostřed), regulovatelná mřížková vyústka schovaná v obložení modrého sálu (vpravo) [zdroj: autor]

V 1.PP zámku, které se rozkládá částečně pod sály a částečně pod palmovým skleníkem, jsou dochované pozůstatky zděných pecí a kanálů, i litinových topenišť a kouřovodů (viz Obr. 5.2.2.21). V místnosti s pecí (nebo v její blízkosti) bývalo uskladněno palivo, většinou dřevo. Vyskytovaly se zde rovněž nádoby na popel.



Obr. 5.2.2.21 Zámek Lednice 1.PP V-křídlo – dochované pozůstatky zděných pecí a kanálů pro rozvod teplého vzduchu, pod klenbou jsou nádoby na popel (zcela vlevo), boční pohled na příkladací a vybírací otvor topeniště s dochovanými dvířky (uprostřed vlevo), čelní pohled na

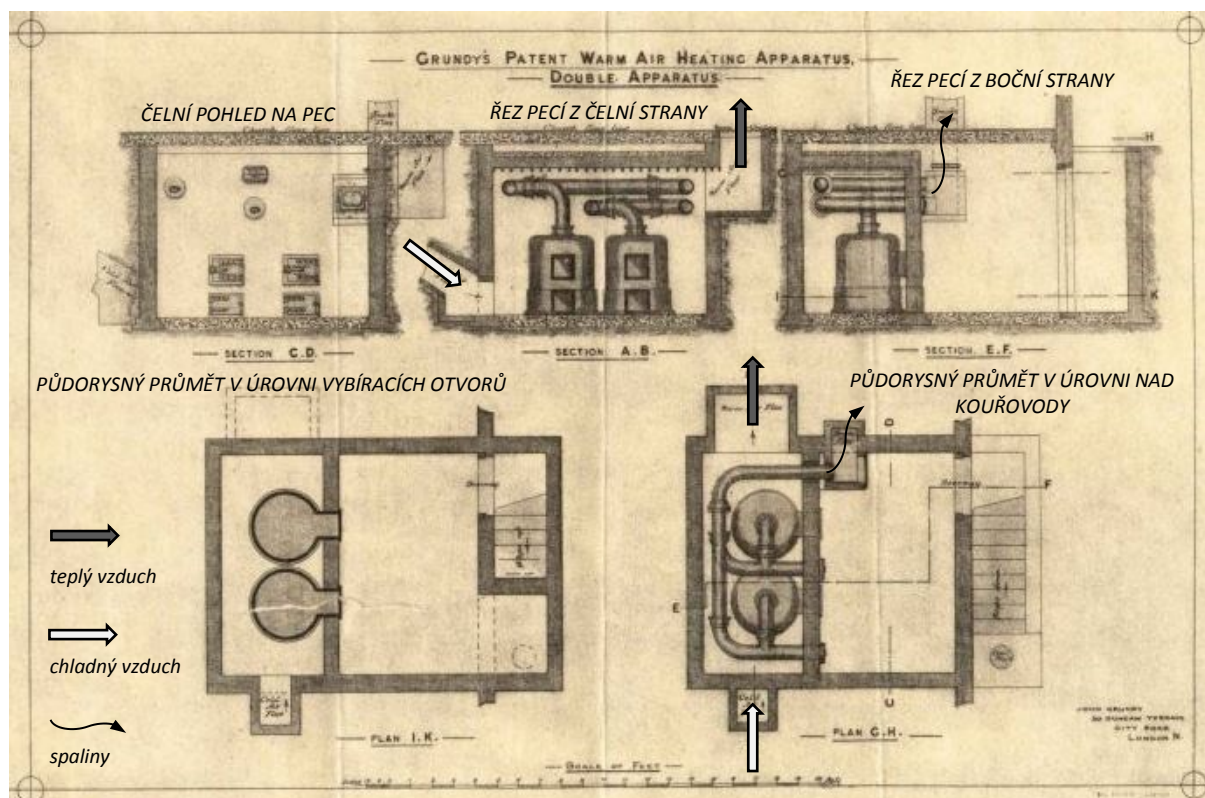
zděnou pec s dochovanými litinovými otvory do topeniště a spalinových cest (uprostřed vpravo), pohled na litinové topeniště (vpravo nahoře), pohled ze spalovací komory litinového topeniště do zděné pece, kde je patrné napojení kouřovodu (vpravo dole) [zdroj: autor]

Další obrázek je uveden opět jako důkaz analogie k anglickému teplovzdušnému systému Johna Grundyho.



Obr. 5.2.2.22 *Wilton's Music Hall, Londýn – čelní pohled na dochovanou Grundyho pec pro vytápění teplým vzduchem [zdroj: [70]]*

Na obrázku Obr. 5.2.2.23 je podrobně rozkreslen plán pece, umístěné v suterénu vytápěné budovy – opět se jedná o Grundyho patent. Další podrobnosti o systému vytápění teplým vzduchem v Lednickém zámku jsou uvedeny v Příloze 3.



Obr. 5.2.2.23 *Dochovaný detailní náčrt pece pro vytápění teplým vzduchem – patent J. Grundyho [zdroj: [70], upraveno: autor]*

Podrobné a komplexní informace o zámku v Lednici a jeho přilehlém Palmovém skleníku jsou popsány například v publikacích [66] a [71].

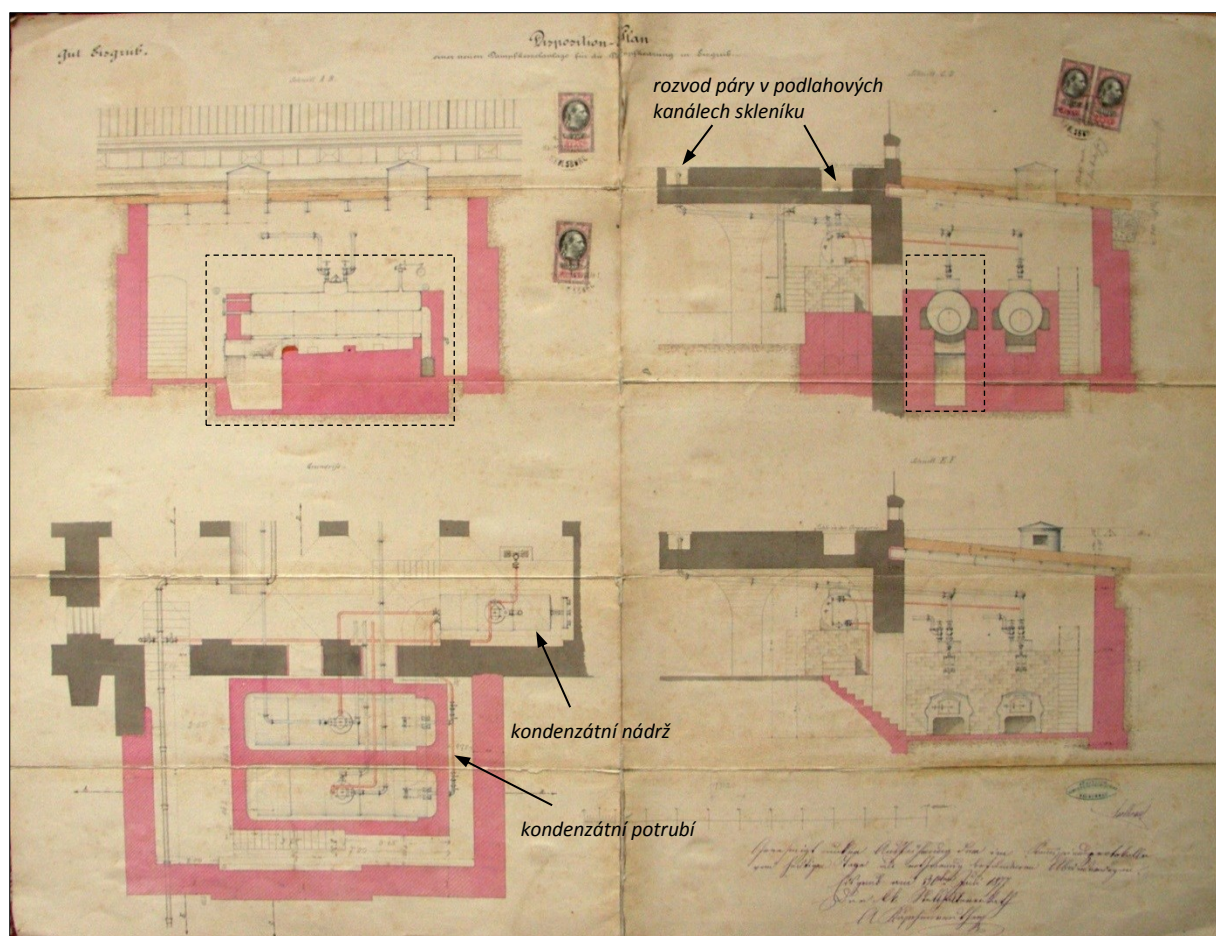
Shrnutí a závěr

S vytápěním teplým vzduchem se setkáváme zejména u historických budov. Nejčastěji jsou to zámky, společenské sály, kostely (Anglie) dokonce i věznice (Anglie). Soudobě významné budovy disponují většinou modernějším způsobem vytápění jako je parní, teplovodní nebo teplovzdušné (jako součást vzduchotechniky). Systém vytápění teplým vzduchem, který se v 19. století využíval i v našich zemích byl téměř stoprocentně převzat z Anglie.

Problematikou spojenou s vytápěním teplým vzduchem jsem se zabývala v publikacích: *Systém vytápění zámku v Lednici, Historické budovy a jejich systémy TZB* (viz Seznam publikací autora, rok 2009, 2013).

5.2.2.9 Parní vytápění

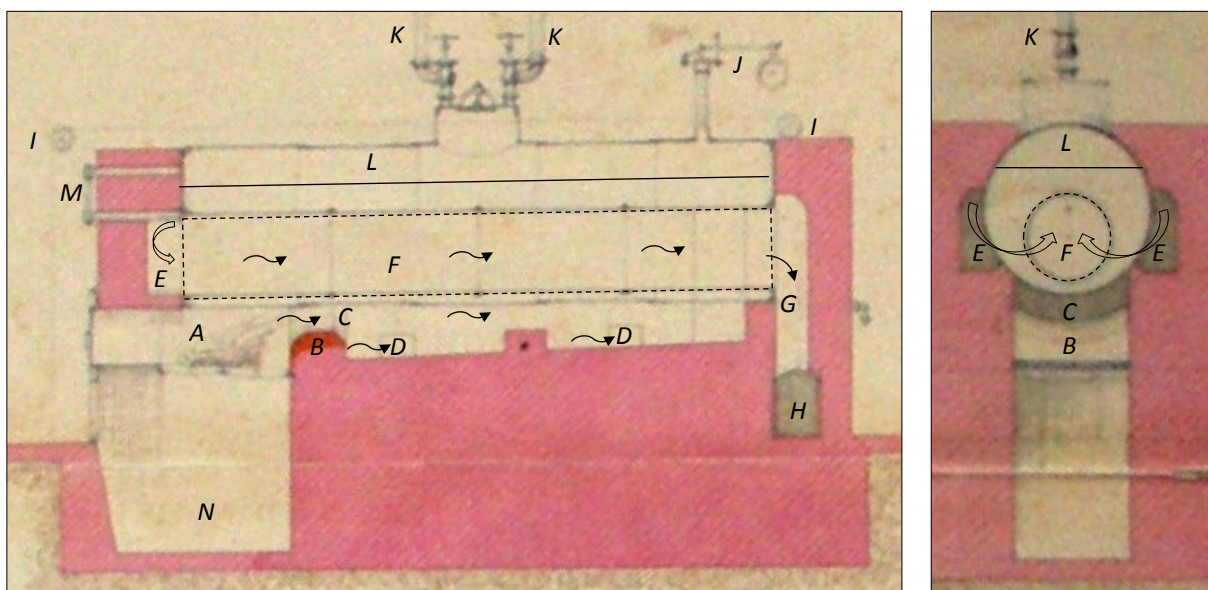
Tento typ vytápění byl instalován v palmovém skleníku Lednického zámku při přestavbě v letech 1842 – 1845. Na dochovaném výkrese (Obr. 5.2.2.24) je detailně rozkreslena kotelna včetně parních kotlů. Kotelna byla přistavěna k severní straně skleníku pod úroveň 1.PP.



Obr. 5.2.2.24 Dochovaný výkres kotelny s detailním rozkreslením technologie parních kotlů (červený rozvod značí kondenzátní potrubí) [zdroj: [71], upraveno: autor]

Parní kotle z předchozího obrázku svým provedením a použitou technologií nejvíce odpovídají dvěma typům kotlů, používaným v 1. pol. 19. stol. v Anglii. Jedná se o kotel typu *Cornish* a *Lancashire*⁷. Podrobný popis funkce těchto kotlů (včetně schémat) uvádí literatura [49] a [72]. Na Obr. 5.2.2.24 jsou čárkovanými obdélníky vyznačeny dva detaily, pomocí kterých se nyní pokusím popsat funkci celé tehdejší parní technologie skleníku v Lednici. Vycházela jsem z analogie se systémy uvedenými výše, popsány v literatuře [49] a [72].

Na Obr. 5.2.2.25 jsou písmeny označeny jednotlivé komponenty parního systému. Kotel (L) ve tvaru válce byl vyroben ze železa, osazen horizontálně a speciálně obezděn. Hladina vody v kotli je naznačena plnou linkou. Po celé délce kotle, ve spodní polovině, se nacházel dutý prostor (F - ohraničený čárkovaně), který představoval jednu ze spalinových cest. Pomocí tohoto prostoru byla výrazně zvětšena teplosměnná plocha mezi horkými spalinami a vodou v kotli. Příčný řez kotlem měl tedy tvar excentrického mezikruží, jak je patrné z obrázku vpravo. Ve schématu je zachyceno i specifické pojistné zařízení v podobě pákového bezpečnostního ventilu (J) a přímého vodoznaku (M). Parní potrubí je označeno písmenem K. Šipky znázorňují směr pohybu spalin ve spalinových cestách. Různým konstrukčním provedením spalinových cest a směrem proudění spalin se od sebe jednotlivé typy kotlů vzájemně odlišovaly.



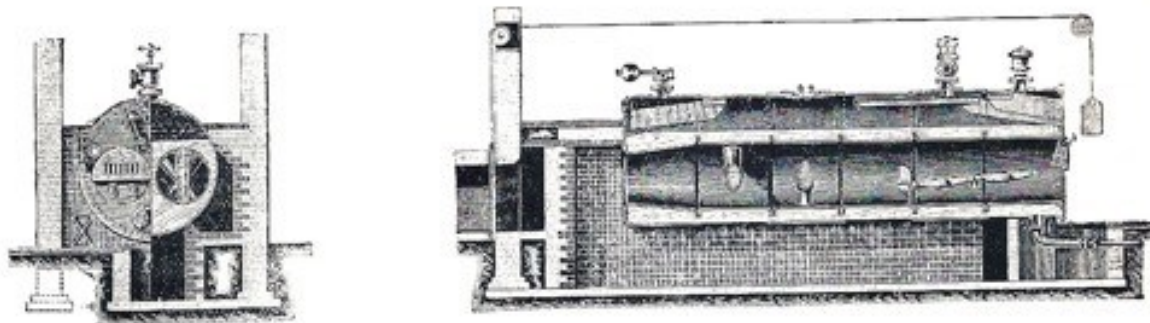
Obr. 5.2.2.25 Zvětšené výřezy z výkresu na Obr. 5.2.2.24 s označením jednotlivých částí parního systému a naznačením toku spalin ve spalinových cestách [zdroj: [71], upraveno: autor]

Celý systém fungoval následovně: Pod kotlem se nacházelo topeniště (A), ze kterého přes usměrňovací sedlo (B) odcházely horké spaliny do zděné části (C). V této části se nacházely otvory (D), které ústily do bočních vyzděných prostorů (E) probíhajících po celé délce kotle. Zde probíhalo sdílení tepla skrz vnější část pláště kotle. Z bočních prostorů (E) proudily spaliny do duté části kotle (F). Tady probíhalo další sdílení tepla skrz vnitřní část pláště. Z duté části (F) proudily spaliny zděným průduchem (G) dále do kouřovodu a do komína.

⁷ Názvy obou kotlů pochází z místopisného označení.

Mezi průduchem (G) a kouřovodem byla osazena regulační klapka spalin (H), která byla ovládána lanovým mechanismem přes soustavu kladek (I) z čelní strany kotle. Klapka (H) sloužila k regulaci tahu spalin.

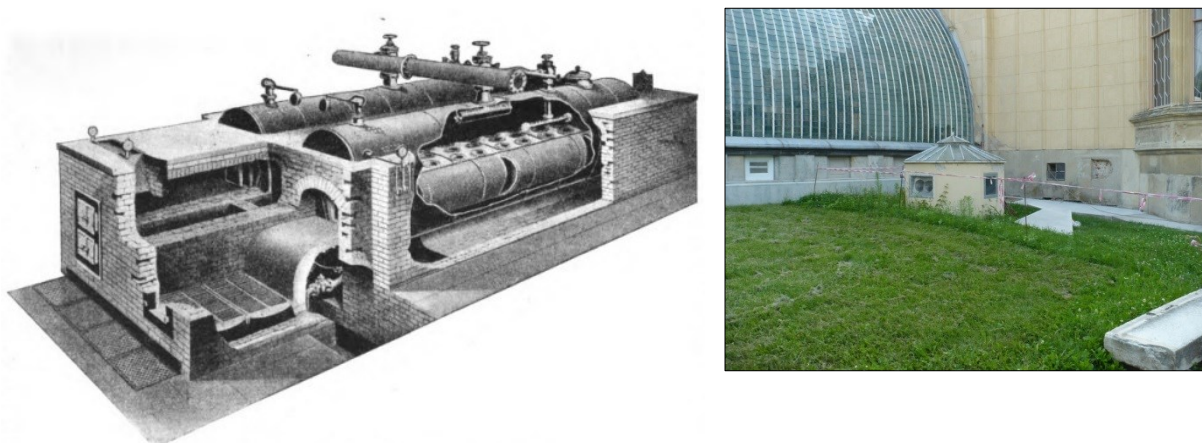
Následující obrázek dokládám opět jako důkaz analogie k parnímu kotli typu *Lancashire*.



Obr. 5.2.2.26 Parní kotel typu *Lancashire* z roku 1854, patentovaný Sirem Williamem Fairbairnem (1844) – čelní pohled (vpravo), podélný řez kotlem (vlevo)[zdroj: [49]]

V kotli se z vody, díky vysoké teplotě spalin, vyvíjela pára. Pára proudila přirozeně parním potrubím do otopných ploch. Otopné plochy (v podobě potrubí) byly umístěny ve zděných kanálech, které se nacházely pod podlahou skleníku. V úrovni podlahy byly po celé délce topných kanálů osazeny mřížky, kterými proudil ohřátý vzduch do skleníku. Zakreslení zděných kanálů s osazením otopných ploch je uvedeno v Příloze 4. Postupným sdílením tepla ztrácela pára svoji teplotu a v potrubí docházelo ke kondenzaci. Vzniklý kondenzát byl sveden kondenzátním potrubím do kondenzátní nádrže. Odtud byl buď znovu doplňován do kotlů, nebo odveden do kanalizace.

Parní kotelná Lednického skleníku mohla ve své době vypadat přibližně jako kotelná na Obr. 5.2.2.27 (vlevo). Na fotografii vpravo je vidět dochovaná větrací lucerna, situovaná na severní straně skleníku. Pod tímto prostorem se nacházela původní parní kotelná.



Obr. 5.2.2.27 Prostorový pohled na parní kotle typu *Lancashire* s externí pecí, vyrobené Manchesterskou fabrikou Galloway (vlevo) [zdroj: [49]], pohled na větrací lucernu, pod kterou se nacházela původní parní kotelná [zdroj: autor]

Shrnutí a závěr

První systémy parního vytápění nalézáme v nemovitých památkách od přelomu 18. a 19. století. U budov historických se s tímto typem vytápění můžeme setkat v případech, kdy žijící majitelé nebo správci nemovitostí podlehli vlně estetického dogmatismu. Stávající sídlo z větší nebo menší části přestavěli v duchu tehdejších stavebních trendů a s využitím nejmodernějších dobových technologií. Parní vytápění zde tedy nebylo systémem původním, ale systémem, který se vázal k celkové modernizaci. Zmíněným způsobem bylo přestavěno i množství hradů a zámků na území ČR (např. Lednice, Bouzov, Hluboká aj.). Proto se při průzkumech často setkáváme jak s pozůstatky původních systémů, tak i s pozůstatky systémů z těchto modernizací.

S parním vytápěním se setkáváme samozřejmě i u soudobě významných budov. Zde se však jedná o systémy původní, které byly součástí budovy už od jejího vzniku. V soudobě významných budovách se setkáváme s poměrně modernějšími systémy, než se systémem, který jsem popisovala v rámci této kapitoly. Nicméně princip parního vytápění zůstává i přes modernizaci jednotlivých funkčních komponent stejný.

5.2.2.10 Teplovodní vytápění

Teplovodní systém s přirozeným oběhem vody byl použit k vytápění vily Tugendhat. O zrestaurovaném původním systému podrobně pojednává literatura [68] a proto ho na tomto místě nebudu příliš komentovat. Jednalo se o klasický teplovodní systém s přirozeným oběhem otopné vody (Obr. 5.2.2.29). Systém disponoval obvyklým pojistným zařízením v podobě otevřené expanzní nádoby a pojistných ventilů. Otopné plochy v místnostech byly tvořeny převážně článkovými tělesy. Výjimkou byla nízká trubková otopná tělesa, umístěná před prosklenými stěnami obytné haly a dále deskový výměník, umístěný v komoře vzduchotechniky před ventilátorem.



Obr. 5.2.2.28 Vytápění ve vile Tugendhat – teplovodní kotelna zrestaurovaná při památkové obnově v letech 2010 - 2012 do původní podoby z doby výstavby [zdroj: David Židlický [18]]

Teplodvodní kotelna byla do své původní podoby navracena při rozsáhlé památkové obnově v letech 2010 – 2012. Kotelna je funkční, ale pro provoz budovy byla navržena výměňková stanice.

Níže na Obr. 5.2.2.29 uvádím pro srovnání fotografie výměňkové stanice pára-voda, která zásobovala vilu teplem před památkovou obnovou v letech 2010 – 2012. V místě současné zrestaurované teplodvodní kotelny byla umístěna sběrná kondenzátní nádrž, kondenzátní čerpadla a dále rozdělovač a sběrač na straně sekundáru.



Obr. 5.2.2.29 Výměňková stanice CZT ve vile Tugendhat před památkovou obnovou – pohled na ležaté trubkové výměníky pára-voda (vpravo), nádrž na kondenzát a kondenzátní čerpadla (vlevo) [zdroj: autor]

Shrnutí a závěr

V souvislosti s historickými a soudobě významnými budovami platí v podstatě stejný závěr jako u parního vytápění. S teplodvodním systémem vytápění se můžeme setkat u obou kategorií. V případě historických budov se opět jedná o případy, kdy byl teplodvodní systém instalován v rámci modernizace objektu ze strany majitelů, nebo v rámci pozdějších rekonstrukcí a památkových obnov ze strany orgánů památkové péče.

Původní systémy teplodvodního vytápění nalézáme v soudobě významných budovách. Opět se zde můžeme setkat jak se staršími typy systémů v podobě samotížných (přirozených) soustav, tak i s modernějšími soustavami s nuceným oběhem.

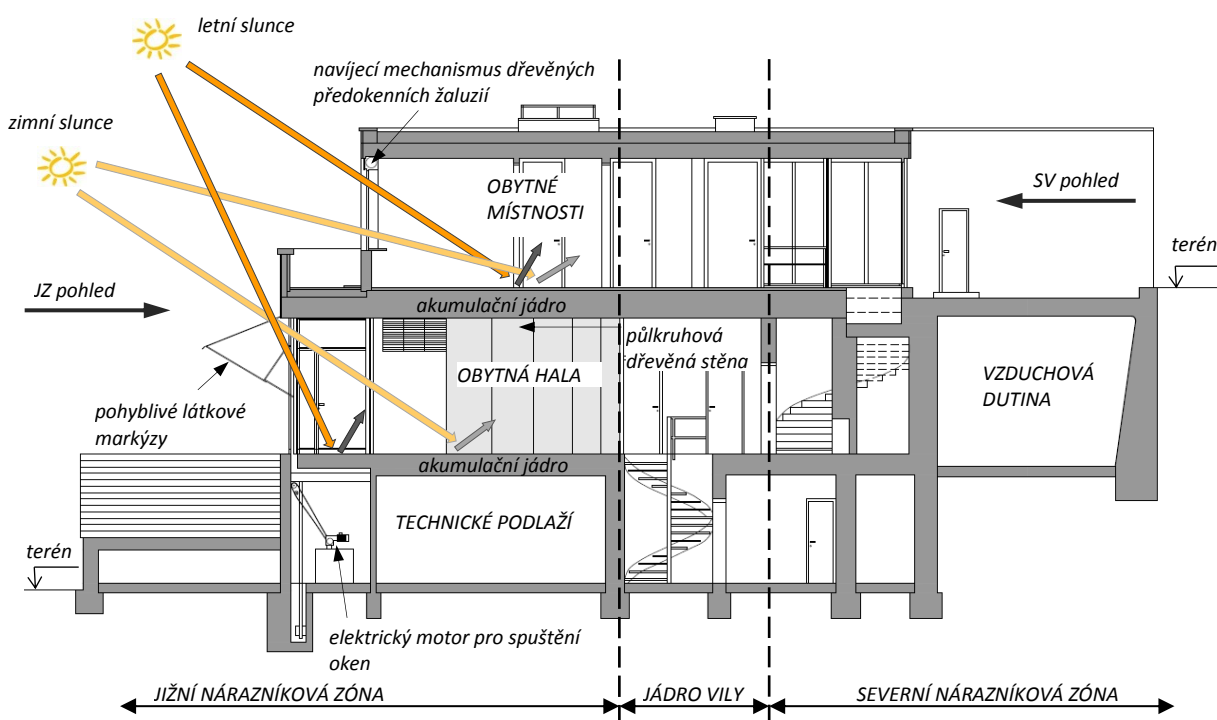
O ostatních modernějších systémech, jakými jsou CZT, elektrické vytápění, plynové vytápění atp. platí tytéž závěry.

5.2.2.11 Solární architektura

Využití prvků solární architektury nalézáme často u funkcionalistických staveb. Ukázkovou budovou, která disponuje všemi pasivními prvky solární architektury je vila Tugendhat. V návaznosti na teoretický základ z kapitoly 2.7.6.1, představím jednotlivé pasivní prvky, které byly uplatněny při návrhu i realizaci vily. Převážná část této kapitoly je převzata z autorských článků: *Prvky solární architektury ve vile Tugendhat, Elements of Passive Solar*

Architecture in Villa Tugendhat a Villa Tugendhat as a Technical Monument – Elements of Passive Solar Architecture (viz Seznam publikací autora, rok 2012, 2013 a 2014).

Prvním z prvků solární architektury je *osazení budovy do terénu*. Na obrázku Obr. 5.2.2.30 vidíme příčný řez vilou Tugendhat. Budova je osazena ve svažitém terénu. Splňuje pravidlo, že SV strana budovy je zasazena ve svahu (nad terénem je pouze poslední podlaží) a to pomáhá minimalizovat tepelné ztráty – zemina z této strany vytváří izolaci. Na JZ stranu je naopak budova otevřená (nad terénem jsou všechny tři podlaží) a maximálně využívá solární zisky.



Obr. 5.2.2.30 Příčný řez vilou Tugendhat se zaznačením jednotlivých prvků solární architektury [zdroj: autor]

Dalším z prvků je *půdorysné tepelné zónování*. Vzpomeňme si na řez Sokratovým domem a porovnejme jej s řezem na obrázku Obr. 5.2.2.30. Opět je zde splněno pravidlo, že obytné místnosti (pokoje pána, paní, dětí, vychovatelky a obytná hala, kuchyň) tvoří jižní nárazníkovou zónu a částečně i jádro domu. Severní nárazníkovou zón tvoří užitné a technické místnosti (schodiště, koupelny, WC, šatny, sklady potravin, chodby). Suterén slouží celý jako technické podlaží.

Následuje tvorba *akumulačních jader*. I v tomto aspektu jsou podmínky splněny. Podlahy v místnostech jsou provedeny z tzv. Sorelova cementu (maltovina s hořčnatou příměsí a plnivem z dřevěné drti). Při památkové obnově vily v 80. letech byl Sorelův cement nahrazen betonovou mazaninou s kari sítěmi, která však vykazuje obdobné akumulční vlastnosti. Povrchová úprava podlah byla dle účelu jednotlivých místností tvořena: travertinem (z oblasti Tivoli – Itálie), betonovou mazaninou, keramickou dlažbou a obytné místnosti DLW linoleem (z Německa). DLW linoleum bylo nahrazeno po roce 1945 Xylolitem, který byl při památkové obnově v letech 2010 – 2012 nahrazen linoleem s PUR úpravou. Tyto vrstvy jsou tedy

schopné v zimě akumulovat teplo ze slunce a v noci je vyzařovat zpět do místnosti. V létě naopak tyto vrstvy mohou přenášet chlad ze severní zóny. [18]

Co se týče obytné haly, jsou zde navíc prvky ze dřeva (původní ebenové dřevo tvořící půlkruhovou stěnu u jídelní části bylo v letech 1981 – 1985 nahrazeno prvky dýhovanými zebranem) a z kamene (onyxová stěna - materiál stěny pochází z pohoří Atlas v Severní Africe), které jsou schopné akumulovat teplo. Ze simulací oslunění obytné haly, které jsem během svého doktorského studia prováděla, se dá konstatovat, že onyxová přička v zimním období zastává funkci akumulací Trombeho stěny.

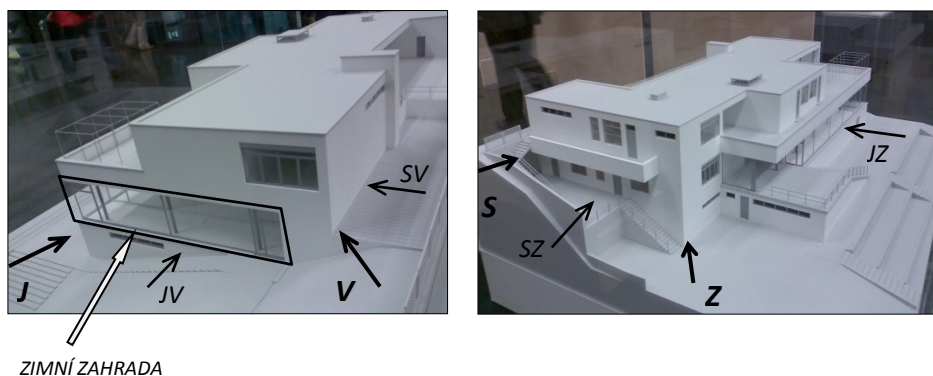
Další zajímavostí je, že se ze SV strany nachází v úrovni prostředního podlaží podél celé budovy vzduchová dutina, která odděluje opěrnou stěnu od stěn místností (patrně z Obr. 5.2.2.30). Tato dutina bezesporu pomáhá stavbu izolovat. Zdivo na této straně vily je navíc masivní, tl. 600 mm i více. Stěny budovy jsou vyzděny z pálených cihel a v obvodových stěnách jsou umístěny izolační desky tzv. Torfoleum, v tl. 50 mm (jedná se o dvě desky o tl. 25 mm osazené na vazbu). Podrobnější popis skladby obvodové stěny je uveden v Příloze 5. Největší okna umístěná v obytné hale jsou ze skla o síle 10 mm. Sklo má podobné složení jako křišťál.

Další znak solární architektury, v podobě *stínících prvků*, je ve vile také zastoupen v hojně míře. Stínící prvky jsou uplatněny u oken na JZ fasádě (viz Obr. 5.2.2.31). V nejvyšším podlaží je stínění realizováno pomocí vnějších dřevěných žaluzií, které jsou umístěné na oknech ve všech pokojích. Na oknech v obytné hale jsou osazeny pohyblivé látkové markýzy, které při největším vyložení svírají s rovinou okna úhel 60°. Další stínění zajišťují opadavé stromy vysazené u JV strany objektu (stíní prosklenou stranu se zimní zahradou).



Obr. 5.2.2.31 Stínící prvky ve vile Tugendhat – látkové markýzy nad JZ okny obytné haly (vlevo) [zdroj: David Židlický [18]], vnější dřevěné žaluzie ve 2.NP – pokoj paní (uprostřed), detail ovládání žaluzií (vpravo) [zdroj: autor]

Z pohledu *velikosti a orientace prosklených ploch* vila také splňuje zásady solární architektury. Obrázek Obr. 5.2.2.32 představuje model vily Tugendhat v pohledu z východní (na obrázku vlevo) a ze západní strany (na obrázku vpravo). Na modelu vidíme, že budova má kompaktní tvar a největší prosklené plochy jsou umístěny na JV a JZ straně fasády. Na JV je orientována i zimní zahrada. Naopak na SV (strana z ulice Černopolní) a SZ straně fasády je umístěno minimum prosklených ploch a okna jsou malého rozměru.



Obr. 5.2.2.32 Model vily Tugendhat (výstava v NTK v Praze, 2010) v pohledu z východní strany (vlevo) a ze západní strany (vpravo) [zdroj: autor]

V průběhu doktorského studia jsem se dále zabývala simulacemi stínění zámeckého palmového skleníku v Lednici. Řešenou problematiku jsem publikovala v následujících příspěvcích: *Bilance solární energie v Zámeckém palmovém skleníku v Lednici na Moravě*, *Influence of solar gains to greenhouse's indoor climate during the year* a *Pasivní využití solární energie v budovách – stínění* (viz Seznam publikací autora, rok 2010 a 2011).

Shrnutí a závěr

Prvky solární architektury, jejichž nejobvyklejšími zástupci jsou akumulční jádra v podobě velmi hmotných stěn, různé typy stínění (venkovní „benátské“ žaluzie, markýzy, slunolamy v podobě přesahujících konstrukcí) a orientace budovy ke světovým stranám, nalezneme u většiny historických i soudobě významných nemovitých památek.

5.2.2.12 Poloha a funkce vegetace ve vztahu k budovám

Uplatnění zeleně v návaznosti na vnitřní klima budovy prokazatelně nalezneme u Palmového skleníku v Lednici a ve vile Tugendhat. V případě skleníku, který přímo navazuje na zámeckou zahradu, jsou ze severní strany osazeny jehličnaté stromy, které převyšují střechu skleníku. Tyto stromy tvoří větrolam a skleník je tak ze severní strany chráněný (viz Obr. 5.2.2.33 vpravo).



Obr. 5.2.2.33 Uplatnění zeleně při tvorbě vnitřního klimatu budov – opadavý strom v zahradě vily Tugendhat v letním období (vlevo) [zdroj: [65]], tentýž pohled na strom v zimním období (uprostřed) [zdroj: [65]], pohled na Palmový skleník z východní strany, kde ze severní – pravé strany jsou vysázené vzrostlé neopadavé stromy (vpravo) [zdroj: [66]]

V případě vily Tugendhat, která také plynule navazuje na přilehlou zahradu, je nejvíce patrný příznivý vliv opadavého vzrostlého stromu, umístěného v blízkosti jižní strany budovy. Strom ovlivňuje množství solárních zisků, které se u prosklené obytné haly i zimní zahrady markantně projevují. V letním období listy stromu brání pronikání slunečního záření do zimní zahrady a částečně i do obytné haly, tím snižují nežádoucí tepelnou zátěž místností. V zimním období je strom holý, sluneční záření může pronikat do místností a maximalizují se tak solární zisky, které jsou v zimním a přechodném období naopak žádoucí. Výše popsany vliv opadavého stromu je patrný z Obr. 5.2.2.33 fotografie vpravo a uprostřed.

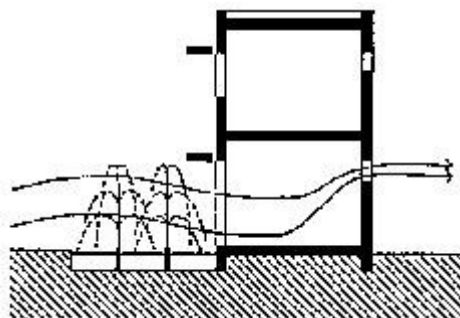
Shrnutí a závěr

S příznivým ovlivňováním klimatu (uvnitř i vně budovy) pomocí zeleně se setkáváme jak u objektů historických, tak u budov soudobě významných. Podle mého názoru je však tento vliv často podceňován. Neodborné zásahy do zeleně v těsné blízkosti nemovitých památek mohou mít zásadní dopady na mikroklima v okolí budovy i uvnitř.

5.2.2.13 Ochlazování staveb pomocí vody a vodních ploch

Příklady ochlazování budov pomocí vodních ploch můžeme nalézt např. v publikacích [42] a [73]. Publikace se zabývají přirozenými systémy, pomocí nichž je ovlivňováno IM budov v pásmech s horkým klimatem. Na principu adiabatického chlazení dodnes funguje ochlazování proudícího vzduchu v dříve zmiňovaných větrných věžích (windcatcher) např. v Iránu.

Podobně jako impluvium (viz kap. 2.7.6.3) fungují i fontány a kašny, umístěné v okolí budov, v centrech měst nebo v parcích. Tyto urbanistické doplňky kromě estetického hlediska plní i funkci jakýchsi oáz chladu. Na obrázku níže je uveden příklad úpravy IM budovy a jejího blízkého okolí pomocí adiabatického chlazení vzduchu.



Obr. 5.2.2.34 Ukázka úpravy IM uvnitř budovy i v jejím blízkém okolí pomocí přirozeného systému větrání s adiabatickým chlazením vzduchu [zdroj: [42]]

Shrnutí a závěr

Se systémem ochlazování staveb odpařováním vody z vodních ploch se setkáváme převážně u budov historických. Soudobě významné budovy v ČR využívají sice principy adiabatického chlazení, ale jsou uplatněny jako součást vzduchotechniky (např. pračky vzduchu v jednotkách VZT – viz kap. 5.2.2.5).

5.2.3 Zobecnění postupu při sběru dat za účelem získání jednotné sady informací o systémech TZB-V

Předchozí kapitola 5.2.2 předkládala detailní analýzu vybraných systémů TZB-V ve zkoumaných budovách. Analýze předcházelo několik prohlídek objektů, při kterých jsem musela zjistit a zaznamenat co nejvíce informací o stávajících i původních systémech. V průběhu průzkumů in-situ, i v průběhu pozdějšího zpracovávání získaných informací jsem si ověřila, že je velmi vhodné připravit si na vlastní prohlídku soubor podkladů a dotazů k jednotlivým systémům. Tímto způsobem si průzkumník zajistí jakousi systematickosti při průběhu prohlídky, ušetří čas a navíc nevynechá žádný z důležitých údajů a parametrů systému, který potřebuje k dalšímu výzkumu.

Ve většině případů je nezbytné, aby průzkumník získal co nejkomplexnější informace o systémech již během prvních prohlídek objektu. Zejména se jedná o případy, kdy je zkoumaná budova návštěvníky vyhledávaná a vlastní průzkum je možné provádět pouze v době, kdy je památka uzavřená pro veřejnost. Dalším důvodem může být i velká vzdálenost památky od pracoviště průzkumníka. Je jisté, že průzkumník se do památky vrací mnohokrát, zejména tehdy, je-li památka rozlehlá. Během jedné prohlídky se tedy nedají postihnout a pochopit veškeré souvislosti mezi zkoumanými systémy. Ale jak již zaznělo výše, je vhodné být zejména na první prohlídku budovy a jejích systémů předem důkladně připraven.

Na základě vlastních zkušeností z průzkumů systémů TZB-V v nemovitých památkách jsem se pokusila sestavit praktickou pomůcku, určenou pro průzkum těchto systémů in-situ. Jedná se v podstatě o jednoduchý dotazník v podobě dvou formulářů. Dotazník by měl usnadnit práci průzkumníka, zajistit získání požadovaných informací a souvislostí v dostatečné podrobnosti a v neposlední řadě také ušetřit čas při vlastním průzkumu. Dotazník je sestaven tak, aby po doplnění všech položek získal průzkumník základní komplexní přehled o stavu současně používaných systémů a o funkci původních systémů.

Vlastní formuláře jsou rozděleny do dvou bloků. První blok je zaměřen více obecně, a to na popis systémů v celé budově – formulář nese název „KARTA BUDOVY“. Je sestaven do tří listů. Druhý blok je zaměřen detailněji na systémy použité v jednotlivých místnostech – tento formulář jsem nazvala „KARTA MÍSTNOSTI“. Je sestaven opět do tří listů. Položky obou formulářů („karta budovy“ i „karta místnosti“) jsou sestaveny do několika celků, zaměřených na informace o:

- provozu (současném a původním)
- vytápění (současném a původním)
- přirozeném větrání (současném a původním)
- nuceném větrání (současném a původním)
- stínění (současném a původním)

Ukázka jedné strany formuláře „karta budovy“ je znázorněna na Obr. 5.2.3.0. Ukázka jedné strany formuláře „karta místnosti“ je znázorněna na Obr. 5.2.3.1. Kompletní vyplněné formuláře jsou součástí Přílohy 6.

Systémy TZB v nemovitých památkách - Disertační práce KARTA BUDOVY - základní popis systémů TZB-V Ing. Lenka Maurerová

VYTÁPĚNÍ	SOUČASNĚ		PŮVODNĚ	
POUŽITÉ SYSTÉMY	<input type="checkbox"/> lokální <input type="checkbox"/> centrální	(pozn. specifikace v rámci místnosti) (pozn. doplnění informací o systému níže)	<input type="checkbox"/> lokální <input type="checkbox"/> centrální	(pozn. specifikace v rámci místnosti) (pozn. doplnění informací o systému níže)
DLE TEPLONOSNÉ LÁTKY	<input type="checkbox"/> teplý vzduch	<input type="checkbox"/> parní <input type="checkbox"/> teplovodní/horkovodní	<input type="checkbox"/> teplý vzduch	<input type="checkbox"/> parní <input type="checkbox"/> teplovodní/horkovodní
TYP SOUSTAVY	<input type="checkbox"/> s přirozeným oběhem	<input type="checkbox"/> s nuceným oběhem	<input type="checkbox"/> s přirozeným oběhem	<input type="checkbox"/> s nuceným oběhem
ZDROJ(E) TEPLA (pozn. popis, odkazy na fotodokumentaci, nákrezy etc.)				
PALIVO				
ROZVODY				
IZOLACE ROZVODŮ				
DALŠÍ ZAŘÍZENÍ (pozn. čerpadla, expanzní nádoby, uložení potrubí etc.)				
REGULACE, OKRUHY TEPLOTA VYTÁPĚNÍ, TEPLOTNÍ SPÁD				
PROVOZ VYTÁPĚNÍ (pozn. útlum, plně)				
SYSTÉM VYTÁPĚNÍ	<input type="checkbox"/> nefunkční	<input type="checkbox"/> funkční	<input type="checkbox"/> nefunkční/dochovaný	<input type="checkbox"/> funkční <input type="checkbox"/> nedochoval se
PŘIROZENÉ VĚTRÁNÍ	SOUČASNĚ		PŮVODNĚ	
TYPY	<input type="checkbox"/> infiltrace <input type="checkbox"/> šachtové	<input type="checkbox"/> provětrávání <input type="checkbox"/> aerace	<input type="checkbox"/> infiltrace <input type="checkbox"/> šachtové	<input type="checkbox"/> provětrávání <input type="checkbox"/> aerace
LOKALIZACE ŠACHET (pozn. odkazy na plány, nákrezy, fotodok.)				
FUNKČNOST ŠACHET	<input type="checkbox"/> funkční (průchodné)	<input type="checkbox"/> nefunkční (zanesené, ucpané)	<input type="checkbox"/> funkční (průchodné)	<input type="checkbox"/> nefunkční (zanesené, ucpané)

2/3

Obr. 5.2.3.0 Ukázka druhého listu formuláře KARTA BUDOVY [zdroj: autor]

Systémy TZB v nemovitých památkách - Disertační práce KARTA MÍSTNOSTI - základní popis systémů TZB-V Ing. Lenka Maurerová

VYTÁPĚNÍ	SOUČASNĚ		PŮVODNĚ	
MÍSTNOST JE	<input type="checkbox"/> nevytápěná	<input type="checkbox"/> vytápěná <input type="checkbox"/> temperovaná	<input type="checkbox"/> nevytápěná	<input type="checkbox"/> vytápěná <input type="checkbox"/> temperovaná
POUŽITÉ SYSTÉMY	<input type="checkbox"/> lokální	<input type="checkbox"/> centrální	<input type="checkbox"/> lokální	<input type="checkbox"/> centrální
FUNKČNOST SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ	<input type="checkbox"/> funkční	<input type="checkbox"/> nefunkční	<input type="checkbox"/> funkční	<input type="checkbox"/> nefunkční
ZDROJ(E) TEPLA (pozn. výkon, popis, fotodokumentace, nákrezy, odkazy etc.)				
PALIVO (energonositel)				
ODTAH SPALIN (lokalizace komína)				
SPÁLOVACÍ VZDUCH (lokalizace přívodu)				
REGULACE, ÚTLUM				
TEPLOSMĚNNÁ PLOCHA				
LOKALIZACE TEPLOSM. PLOCHY				
REGULACE TEPLOSM. PLOCHY				
KONCOVÉ ELEMENTY (při vytápění teplým vzduchem)				
LOKALIZACE KONC. ELEM.				
REGULACE KONC. ELEMENTŮ				
PŘIROZENÉ VĚTRÁNÍ	SOUČASNĚ		PŮVODNĚ	
TYPY	<input type="checkbox"/> infiltrace <input type="checkbox"/> šachtové	<input type="checkbox"/> provětrávání <input type="checkbox"/> aerace	<input type="checkbox"/> infiltrace <input type="checkbox"/> šachtové	<input type="checkbox"/> provětrávání <input type="checkbox"/> aerace
VELIKOST A LOKALIZACE OTVORŮ				
FUNKČNOST SYSTÉMU	<input type="checkbox"/> funkční	<input type="checkbox"/> nefunkční	<input type="checkbox"/> funkční	<input type="checkbox"/> nefunkční

LOKÁLNÍ SYSTÉM VYTÁPĚNÍ
 CENTRÁLNÍ SYSTÉM VYTÁPĚNÍ (nasaňuje na kartu budovy)

2/3

Obr. 5.2.3.1 Ukázka druhého listu formuláře KARTA MÍSTNOSTI [zdroj: autor]

Formuláře slouží jako pomůcka pro průzkumy in-situ. Je tedy zřejmé, že zaznamenávané informace mohou být u různých budov v různém rozsahu a ne vždy bude stačit kapacita volného místa ve formuláři. V těchto případech by měly sloužit formuláře jako vodičko, kam je možné zaznamenat odkaz na další kontexty v podobě náčrtů, fotodokumentace nebo doplňujících textů.

5.3 TVORBA MATERIÁLU URČENÉHO K ZÁZNAMU INFORMACÍ Z DOČASNÉHO MĚŘENÍ

Následující část byla zpracována na základě vlastních zkušeností z měření v nemovitých památkách.

5.3.1 Specifikace zásad, které je třeba zohlednit při měření v nemovitých památkách

Ráda bych zdůraznila, že níže uvedené zásady se týkají zejména dočasného měření, při kterém jsou použity přístroje s vlastní pamětí pro zaznamenávané hodnoty (datalogery, ústředny atp.). Pro permanentní měření či bezdrátový přenos dat např. v rámci monitorovacího systému facility managementu platí místy odlišné zásady.

Pokud bych zde měla vyjmenovat nejdůležitější aspekty, které je třeba zohlednit při dočasném osazení měřicího přístroje v nemovité památce, byly by to tyto:

- vhodné umístění dočasných měřících přístrojů
- sledování stavu měřících přístrojů
- ověření relevance měřených hodnot
- záznam skutečností ovlivňujících měřené parametry

Jednotlivým uvedeným bodům budou věnovány následující podkapitoly.

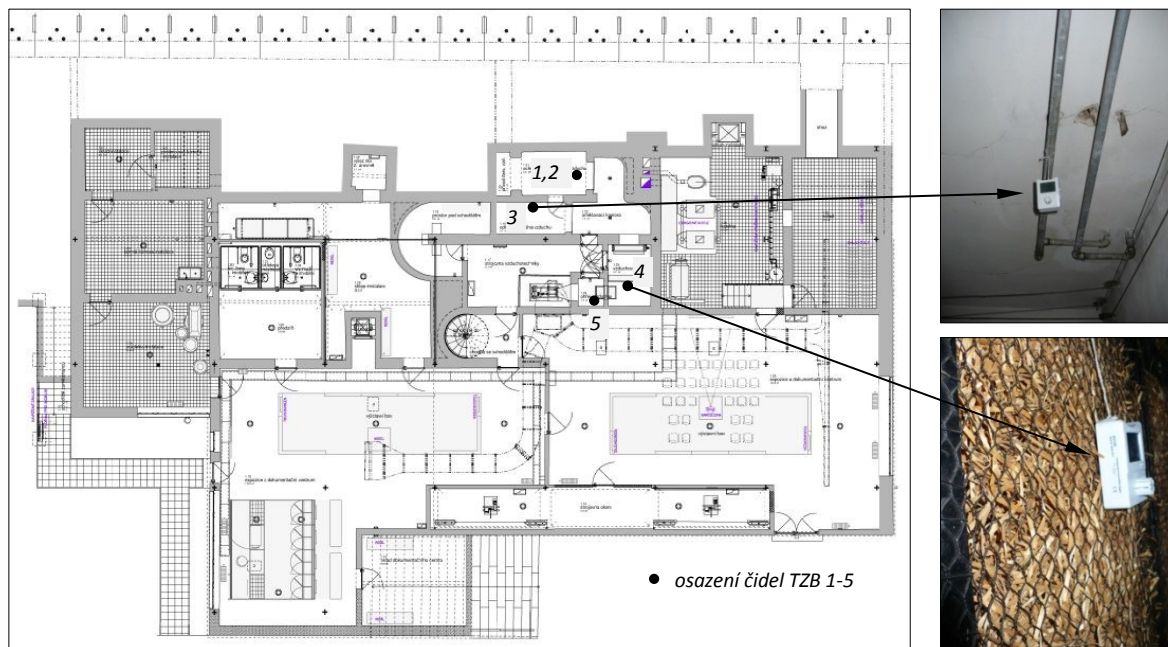
5.3.1.1 *Vhodné umístění dočasných měřících přístrojů*

Při dočasném měření je třeba brát v úvahu zejména to, zda je sledovaná místnost součástí prohlídkové trasy či nikoliv. Od toho se odvíjí i požadavek na „skrytí“ měřicího přístroje očím návštěvníků. Skrytí přístroje očím návštěvníků má hned několik důvodů: estetický (nemá narušovat atmosféru prostoru), bezpečnostní (maskování brání odcizení přístroje), ovlivnění měření (návštěvník by mohl vědomě narušit záznam dat). Požadavek na skrytí přístroje je ve většině případů velmi omezující pro potřeby měření, zejména tehdy, potřebujeme-li získat několikaměsíční záznam dat.

Chceme-li například stanovit průměrnou teplotu interiéru t_i (°C) v místnosti, která má výšku 5 m, bylo by vhodné rozmístit měřící čidla např. v rastru 0,5 m po celé výšce místnosti a z nich stanovit průměrnou teplotu místnosti. Toto řešení v reálu většinou není možné. Proto se musíme spokojit s osazením měřících čidel na tzv. „neviditelná místa“ sledované místnosti. Jako příklady umístění přístrojů na „neviditelných místech“ bych uvedla: osazení přístroje na spodní líc nábytku (stoly, židle), zneviditelnění přístroje natřením do barvy inventáře a

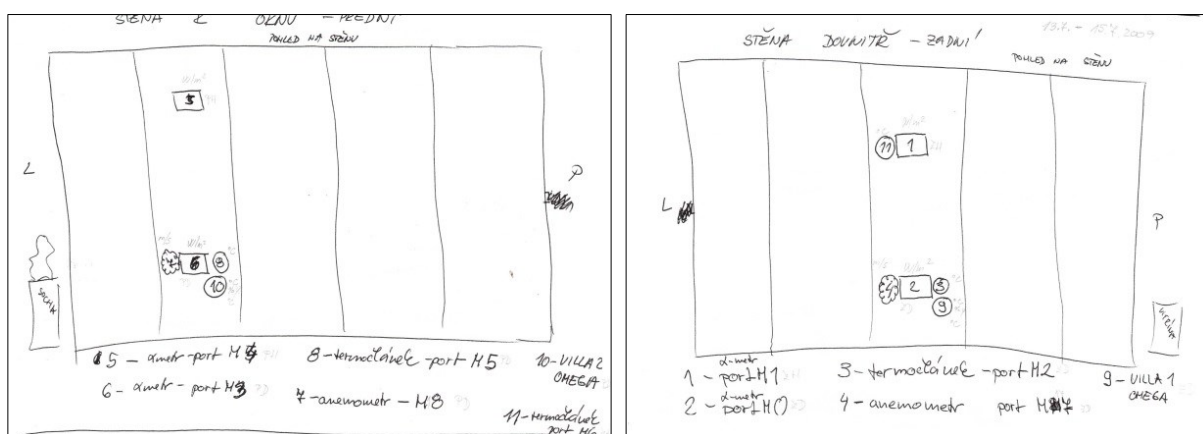
mobiliáře, osazení přístroje na garnýže pod záclonu, osazení přístroje za větší nádoby či sochy, osazení přístroje do výklenků, říms atp.

Příklad osazení „skrytých“ měřících přístrojů je uveden na Obr. 5.3.1.0. Jedná se o měření ve vzduchotechnické jednotce vily Tugendhat. Na obrázku je zaznačeno umístění jednotlivých přístrojů ve zděných komorách jednotky.



Obr. 5.3.1.0 Příklad osazení „skrytých“ měřících přístrojů ve strojovně vzduchotechniky vily Tugendhat – logger umístěný v kanále cirkulačního vzduchu, zavěšený na potrubí – místo nepřístupné návštěvníkům (vpravo nahoře), logger umístěný na zadní straně pilinového filtru – místo nepřístupné návštěvníkům (vpravo dole)[zdroj: autor]

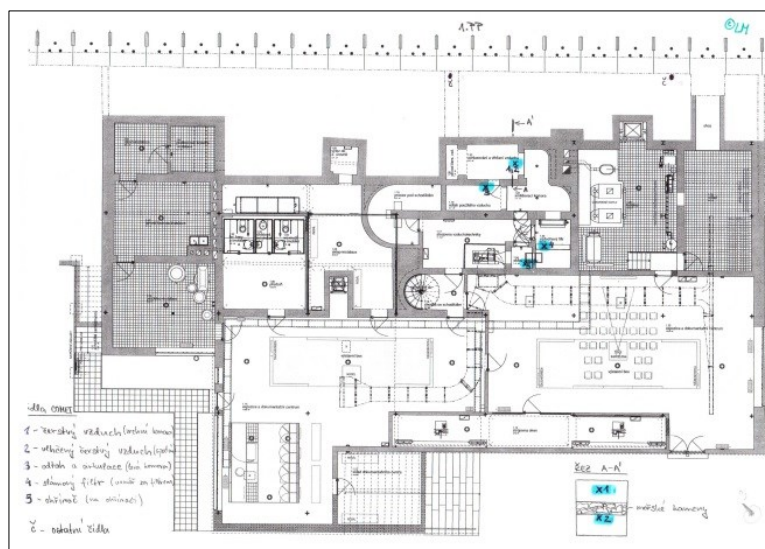
V případě krátkodobého měření, např. v den, kdy je památka uzavřená pro veřejnost je možné provést osazení přístrojů i na běžně viditelných místech (viz Obr. 5.3.1.1)



Obr. 5.3.1.1 Vila Tugendhat – polní náčrt měření na onyxové stěně uprostřed obytné haly – místo je součástí prohlídkové trasy [zdroj: autor]

Z důvodu možnosti opakování měření je nezbytné provést přesnou lokalizaci osazení přístrojů nejlépe pomocí fotodokumentace, polního náčrtu a podrobné identifikace osazených

přístrojů (viz Obr. 5.3.1.2). Přesná lokalizace zahrnuje i zaměření polohy přístroje od podlahy, stropu, stěny atp.



Obr. 5.3.1.2 Vila Tugendhat, půdorys 1.PP – záznam z terénu - osazení jednotlivých čidel
[zdroj: autor]

Shrnutí a specifikace zásad

Umístění měřicího přístroje představuje většinou kompromis mezi ideální pozicí pro měření sledovaných parametrů a pozicí ve které přístroj nenarušuje celkovou atmosféru prostoru.

Při umístění dočasných měřicích přístrojů je tedy třeba zohlednit:

- možnosti sledované místnosti (přístupnost návštěvníkům)
- charakter sledovaných parametrů
- délku měření

Osazené přístroje je nutné řádně označit, lokalizovat a podrobně identifikovat, aby bylo možné měření v případě potřeby zopakovat.

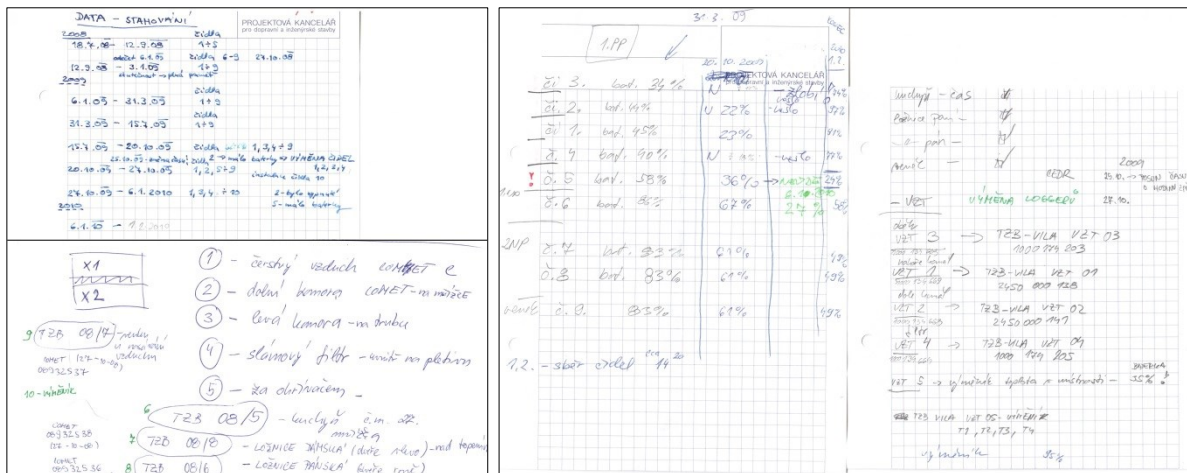
5.3.1.2 Sledování stavu měřicích přístrojů

U záznamníků s vlastní pamětí je nutné při dlouhodobějším dočasném měření (např. roční záznam) sledovat průběžně stav baterie a stav paměti přístroje. U dataloggerů se dá na základě kapacity paměti a nastaveného intervalu záznamu předem odhadnout doba, za kterou by mělo dojít k naplnění paměti daty. S ohledem na to, je možné naplánovat pravidelné návštěvy objektu, při kterých se provede stažení datového záznamu z paměti přístroje.

Při pravidelných návštěvách je dobré zaznamenávat i stav baterie. Ve většině případů se dá výdrž baterie opět odhadnout z podkladů výrobce. Vlastní zkušeností jsem si však ověřila, že při umístění dataloggeru do extrémnějších podmínek, dochází k rychlejšímu vybíjení baterie. V mém případě se jednalo o přístroj uložený v komoře ohřívače VZT, kde se teplota pohybovala pravidelně okolo 70°C. Na Obr. 5.3.1.3 je ukázka terénního záznamu s termíny

stahovaných dat, s poznámkami o vyměňovaných dataloggerech, s uvedením kapacity baterie aj.

Obr. 5.3.1.3 Ukázka záznamů z terénu – lokalizace osazených přístrojů (záznam vlevo dole), záznam termínů stahování dat a výměny dataloggerů (vlevo nahoře), záznam stavu baterií



jednotlivých dataloggerů (vpravo) [zdroj: autor]

Shrnutí a specifikace zásad

Při pravidelných návštěvách nemovité památky, ve které jsou dočasně osazeny měřicí přístroje s vlastní pamětí, je důležité pravidelné sledování následujících parametrů přístroje:

- stav baterie
- kapacita paměti
- záznam nepředvídaných událostí
- záznam přechodu z letního na zimní čas a naopak

Sledování je důležité zejména v případě dlouhodobějšího měření. Tímto systematickým způsobem dokážeme velmi účinně předejít nechtěné ztrátě dat.

5.3.1.3 Relevance naměřených výsledků

Kapitola úzce souvisí s kapitolou 5.3.1.1, zabývající se vhodným umístění měřících přístrojů. Jak již bylo řečeno výše, měřicí přístroje jsou osazeny většinou tak, aby zůstaly skryté očím návštěvníků. Takováto poloha přístroje však nemusí být vždy ideální pro měření požadovaných parametrů. Je tedy vhodné provést krátkodobé kalibrační měření např. v den, kdy je památka uzavřená pro veřejnost. Při kalibračním měření můžeme osadit další datalogger do ideální pozice pro měření a záznam porovnat se záznamem ze „skrytých“ dataloggerů. Obdobně můžeme záznam ze „skrytých“ dataloggerů porovnávat např. s hodnotami naměřenými kulovým teploměrem.

Shrnutí a specifikace zásad

Rozdíly hodnot naměřených při kalibračním měření nejsou ve většině případů nijak dramaticky rozdílné od hodnot naměřených „skrytými“ záznamníky. Kalibrační měření nám však může pomoci stanovit odchylku, se kterou je možné dále pracovat při vyhodnocování záznamů.

I přes méně vhodné umístění z hlediska požadavků měření mají „skryté“ záznamníky ve většině případů dostatečnou vypovídající hodnotu o průběhu měřených veličin.

5.3.1.4 Zajištění záznamu dalších skutečností souvisejících s měřenými parametry

V souvislosti s typem měřených parametrů je někdy nutné zajistit i krátkodobé doplňující údaje o aktuálním provozu budovy, jako např.: kapacita návštěv, záznam přirozeného provětrávání okny, záznamy o ruční regulaci systémů (vytápění, vzduchotechnika), záznamy o aktivitě stínících prvků, záznam o činnosti v místnosti (např. natáčení TV pořadů, koncerty atp.), pravidelný záznam spotřeby energií (opis hodnot z elektroměrů, vodoměrů aj.).

Shrnutí a specifikace zásad

V případě nutnosti zajištění dalších skutečností je nezbytné požádat o spolupráci správu nemovité památky (ve většině případů záznamy zajišťuje pověřený technický pracovník). Pro tyto účely je vhodné sestavit jednoduchou tabulku k záznamu požadovaných údajů. Pracovníka, provádějícího záznam sledovaných skutečností, je vhodné obeznámit s účelem pořizování záznamu. V neposlední řadě je důležité vysvětlit mu systém zápisu jednotlivých událostí do připravené tabulky.

5.3.2 Zobecnění postupu při záznamu informací z dočasného měření in-situ

Předchozí kapitoly předkládaly specifikaci zásad, které je vhodné brát na zřetel při realizaci dočasného měření parametrů IM v nemovité památce. Vlastní zkušeností jsem si ověřila, že je účelné sledovat a zaznamenávat i stav měřicích přístrojů při stahování dat. Lze tak předejít ztrátě dat a jiným komplikacím. Dále jsem si realizací vlastních měření ověřila, že je nezbytné přesně lokalizovat polohu dataloggerů, z důvodu reprodukovatelnosti měření (např. můžeme měření srovnávat stav IM nemovitosti před památkovou obnovou a po ní).

Na základě vlastních zkušeností z měření in-situ jsem vytvořila praktickou pomůcku určenou pro průzkumníky, kteří potřebují realizovat dočasné měření. Jedná se opět o jednoduchý formulář, který byl sestaven za účelem usnadnění práce průzkumníků. Zároveň by měl zajistit přesnou lokalizaci měřicího přístroje pro případné opakování měření, a dále by měl eliminovat ztrátu dat, vzniklou přeplněním kapacity paměti nebo vybitím baterie.

Vlastní formulář obsahuje 2 tabulky, u kterých je možné dle potřeby přidávat řádky, v závislosti na délce sledovaného období. První tabulka formuláře s názvem „Údaje o použitém měřicím přístroji“ se orientuje na:

- označení měřicího přístroje
- specifikaci technických parametrů měřicího přístroje

- datum osazení a odstranění přístroje (případně datum výměny přístroje)
- lokalizaci měřicího přístroje v budově/místnosti (včetně odkazů na nákresy a fotodokumentaci)

Druhá tabulka formuláře s názvem „Údaje o dočasném měření parametrů“ se zaměřuje na informace o:

- měřicím přístroji (název přístroje v návaznosti na první tabulku)
- kroku záznamu a kapacitě paměti
- naměřených datech (začátek záznamu, stažení záznamu, konec záznamu)
- aktuálním stavu baterie

Obě tabulky formuláře jsou doplněny sloupcem pro poznámky, kam je možné zaznamenávat např. nepředvídané události nebo důležité informace (např. nutnou výměnu baterie). Ukázka vyplněného formuláře je znázorněna na obrázku níže.

Systémy TZB v nemovitých památkách – Disertační práce Formulář určený k dokumentaci dočasného měření parametrů interního mikroklimatu v nemovitých památkách. Ing. Lenka Maurerová

Údaje o použitém měřicím přístroji (datalogger, měřicí ústředna vč. sond a čidel) **Název akce: MĚŘENÍ PARAMETRŮ VNITŘNÍHO KLIMATU VE VILE TUGENDHAT**

Číslo	Označení přístroje	(Výrobní číslo)	Číslo kanálu	Měřené parametry	Jednotky	Měřicí rozsah	Rozlišení	Přesnost	Datum osazení/odstranění	Lokalizace přístroje v objektu/v místnosti	Poznámka
1	TZB_1_VTug-č.1 (1000 134 669)	COMET 05931814	1	t	°C	-30/+70	0,10	±0,4	18.7.2008	Vila Tugendhat 1PP - STŘEDOVINA VET PŘÍVOD ČERVENÉHO VZDUCHU - VECHNÍ KOTLOVA	28.10.2009 VÝMĚNA PŘÍSTROJE ZA NOVÝ
			2	RH	%	0/100	0,10	±2,5	27.10.2009 MĚŘENÍ ÚČINNOSTI		
			5	T _{amb}	°C	-60/+70		1,5			
	00 27.10.2009 PŘÍSTROJ * TZB VILA-VET 01 (2450 000 138)	COMET 03931084							27.10.2009 MĚŘENÍ ÚČINNOSTI	LOKALIZACE V DOKUMENTACI VIZ PŘÍLOHA 1	

Údaje o dočasném měření parametrů

Číslo	Označení přístroje	Krok záznamu/ jednotka kroku	Kapacita paměti / max. doba záznamu vzhledem ke zvolenému kroku	Datum počátku záznamu	Spuštění záznamu (synchronizace času)	Datum stažení záznamu	Stav baterie k datu stažení	Poznámka
1	TZB_1_VTug-č.1 (1000 134 669)	10	MIN 16 000	18.7.2008	15:10	12.9.2008	?	PŘÍSTROJ INSTALOVÁN
		10	MIN	12.9.2008	19:00	6.1.2009	?	3.1.2009 ZMĚNA PAMĚTI - SDP 20%
		10	MIN	6.1.2009	12:20	31.3.2009	45%	
		10	MIN	31.3.2009	11:20	15.4.2009	?	
		10	MIN	15.4.2009	10:20	20.10.2009	12%	VYNEJÍT LOGGER NEBO PŘEDKUP?
		10	MIN	20.10.2009	10:50	24.10.2009	?	25.10.07 ZMĚNA ČASU - 1hod
	TZB VILA-VET 01 (2450 000 138)	10	MIN 16000	28.10.2009	10:40	6.1.2010	44%	VÝMĚNA PŘÍ LOGGERU ZA NOVÝ
		10	MIN	6.1.2010	12:40	1.2.2010	?	ODSTRANĚNÍ PŘÍSTROJE

* pozn.: kapacitu paměti přístroje udává výrobce; předpokládána max. doba záznamu se stanoví na základě zvoleného kroku záznamu

Obr. 5.3.2.0 Ukázka vyplněného formuláře určeného k dokumentaci dočasného měření parametrů interního mikroklimatu v nemovitých památkách [zdroj: autor]

5.4 PŘÍPADOVÁ STUDIE POSTIHUJÍCÍ MOŽNOSTI VYUŽITÍ POČÍTAČOVÉ SIMULACE

Poslední cíl mé disertační práce se zaměřuje na možnosti využití počítačové simulace (PC modelování), jako nedestruktivní metody při zkoumání nemovitých památek. Kapitola bude zpracována jako zjednodušená případová studie, pomocí níž se pokusím objektivně zhodnotit přednosti a úskalí spojené s tvorbou modelu pro PC simulaci. Dílčí část případové studie bude zaměřena na možnost verifikace a kalibrace sestaveného modelu pomocí reálně naměřených dat.

PŘÍPADOVÁ STUDIE - POPIS TVORBY MODELU VILY TUGENDHAT PRO POČÍTAČOVOU SIMULACI, S NASTÍNĚNÍM MOŽNOSTI JEHO VERIFIKACE A KALIBRACE POMOCÍ REÁLNĚ NAMĚŘENÝCH DAT.

Výběr reprezentanta

Z vybraných nemovitých památek (viz 5.2.1), které byly součástí mého výzkumného záměru, jsem jako reprezentanta pro tuto případovou studii vybrala vilu Tugendhat. Důvody k této volbě budou uvedeny níže v kapitole 5.4.1.

Cíle případové studie

První část případové studie se bude orientovat na problematiku tvorby a zjednodušení geometrického modelu pro následnou počítačovou simulaci. Druhá část studie se bude zaměřovat na možnost verifikace a kalibrace PC modelu pomocí reálně naměřených dat.

Způsob získávání informací pro případovou studii

Veškeré informace využití k tvorbě této případové studie jsem získala vlastním průzkumem památky, jehož součástí byly i rozhovory se zainteresovanými osobami, dále vlastním měřením a jeho vyhodnocením, a v neposlední řadě také samostudiem dostupné literatury a elektronických informačních zdrojů.

5.4.1 Tvorba a zjednodušení geometrického modelu

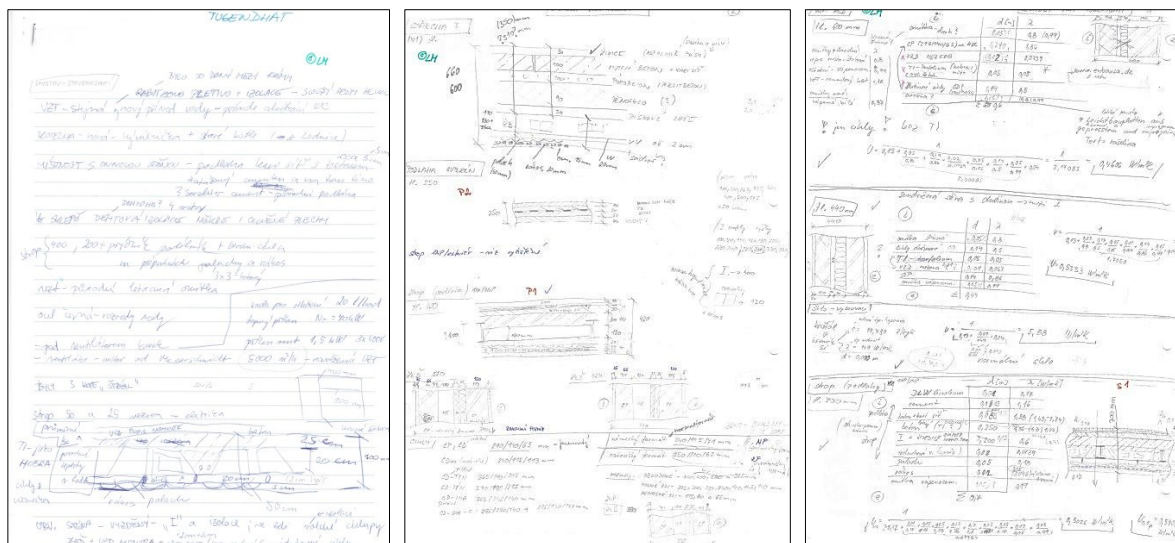
Vybraná budova se z hlediska tvorby geometrického modelu jevila jako nejsložitější. Nosnou konstrukci vily Tugendhat tvoří ocelový skelet, který umožnil architektovi volnou dispozici jednotlivých podlaží (tzn. podlaží jsou z hlediska uspořádání vnitřních prostor různě členěná, konstrukce nad sebou až na výjimky nenavazují). Tento aspekt je pro simulační nástroj BSim zčásti omezující v rámci tvorby geometrického modelu. Jinými slovy se dá též říci, že zadávání geometrického modelu není tak triviální jako u případů, kde nosné zdi v jednotlivých podlažích lícují a dispozice jsou téměř shodné.

Dalším důvodem ke zvolení vily Tugendhat pro případovou studii byla přítomnost specifických materiálů ve skladbě konstrukcí např. již zmíněná rašelinová izolace „Torfoleum“. Tepelně-technické vlastnosti těchto specifických materiálů jsou v dnešní době vcelku obtížně dohledatelné.

5.4.1.1 Analýza vstupních dat z průzkumu

Vlastní tvorbě geometrického modelu vily v nástroji BSim předcházelo několik průzkumů in-situ. Průzkumy probíhaly průběžně v letech 2008 – 2010, s laskavým svolením správkyně vily Ing. arch. Ivety Černé.

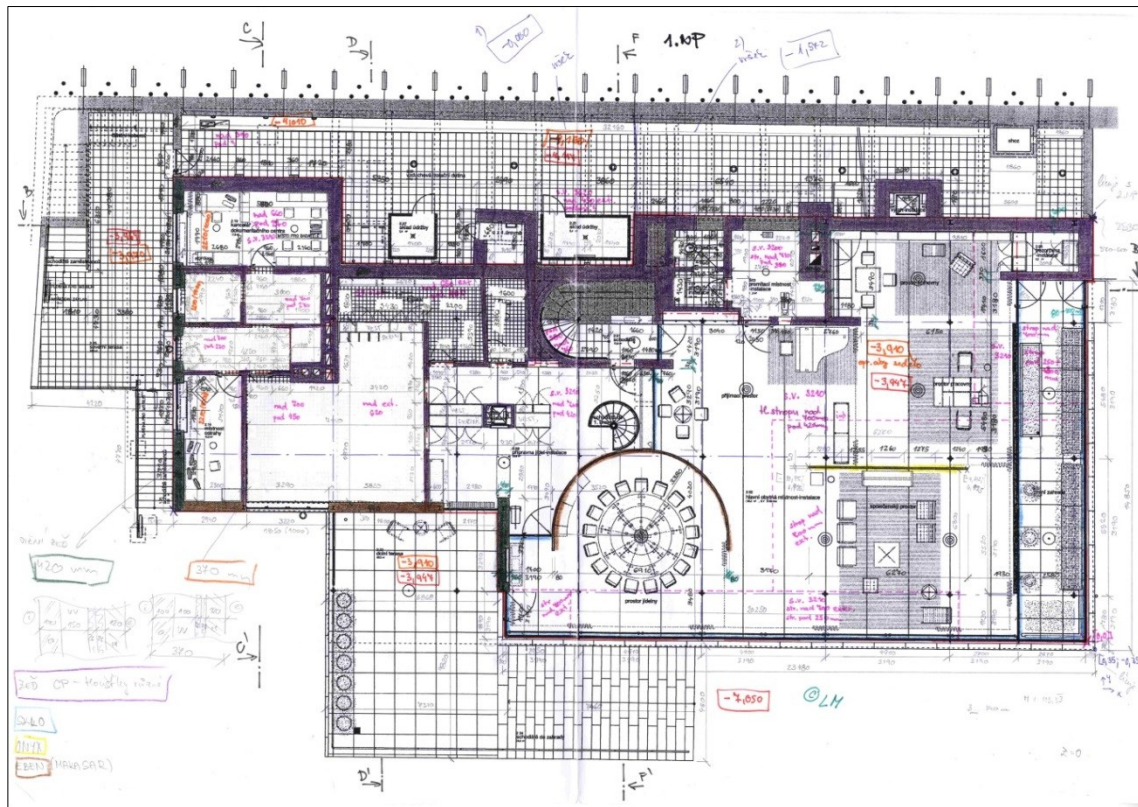
Jeden z průzkumů se podařilo uskutečnit i v roce 2011 při průběhu památkové obnovy vily, kdy jsem měla možnost provést rozhovor se stavbyvedoucím Ing. Michalem Maláskem. Využitím těchto získaných informací a informací zveřejňovaných v rámci památkové obnovy se mi podařilo sestavit skladby jednotlivých konstrukcí tak, že korespondují s reálným stavem. Polní záznam informací z průzkumu staveniště v roce 2011 je uveden níže na Obr. 5.4.1.0.



Obr. 5.4.1.0 Vila Tugendhat - polní záznam informací z průzkumu staveniště v roce 2011 - podklad pro stanovení skladeb konstrukcí [zdroj: autor]

Na základě zjištěných informací o skladbách konstrukcí jsem si v půdorysech barevně rozdělila jednotlivé typy obvodových stěn, vnitřních nosných stěn a příček, v závislosti na jejich skladbě a tloušťce. Barevné rozdělení půdorysu 1NP je znázorněno na Obr. 5.4.1.1. Mým dalším úkolem bylo zajištění dochovaných plánů a nákresů, doplněných o vlastní dílčí zaměření tak, aby mohl být sestaven geometrický model budovy. Vzhledem k citlivé až kontroverzní situaci v letech 2008 – 2010, spojené s plánovanou památkovou obnovou vily, se mi nepodařilo získat plány a nákresy budovy se zakótováním rozměrů. K projektové dokumentaci jsem získala částečný přístup až v roce 2011. Do té doby jsem disponovala pouze půdorysy provedenými formou studií (tedy bez uvedených rozměrů). Po zpřístupnění projektové dokumentace jsem si doplnila do svých pracovních půdorysů významné kóty (viz Obr. 5.4.1.1).

Při pravidelných návštěvách vily jsem měla možnost provést několik rozhovorů s technickým pracovníkem, panem Miroslavem Charvátém, který se staral o provoz technického zázemí (včetně systémů TZB-V). Na základě získaných informací jsem si sestavila stručný přehled významných parametrů systémů TZB: vzduchotechniky, vytápění, přípravy teplé vody, osvětlení a stínění. Dále jsem si sestavila i jednoduchý přehled provozu budovy. Zpracovaný přehled uvádím níže na Obr. 5.4.1.2.



Obr. 5.4.1.1 Pracovní půdorys 1.NP vily Tugendhat - barevné rozdělení konstrukcí v závislosti na jejich skladbě a tloušťce; zakótování významných rozměrů [zdroj: autor]

<p>Provoz ve vile</p> <ul style="list-style-type: none"> - obvyklá provozní doba: St - Ne == 10:00 až 18:00 hodin (prohlídky po hodině) - odhad počtu návštěvníků za den: 1 prohlídková skupina cca 15 lidí/hod., 3 měsíce v roce chodí víc lidí - spotřebiče ve vile: pračka 1x, sporák kombinace plyn+va. 1x, PC 4x, plynový radiátor 1x. - výtahy: ??? poz. dřevo byl výtah na jídlo, tačara zachována, výtah funkční?? - teploty v místnostech: vytápě se udávají na 18°C (ve skutečnosti budou hodnoty asi vyšší) - režim vytápění: přes noc, a přes období kdy tam nejsou návštěvy se temperuje - provedené opravy: spouštění oken, klimatizace, v r. 1986 elektroinstalace (kabely) - energie: plyn (1x plynoměr), voda (1x vodoměr), teplo CZT (1x kalorimetr?), elektřina (s. on, dvoutarif - elektroměr nový, 1x elektroměr z r. 1928) <p>- spotřeba energií - kontrakt pan Mitrček, hrád Špilberk, muzeum města Brna</p> <p>Vzduchotechnika</p> <ul style="list-style-type: none"> - ventilátor typ a výkon: radiální, motor Messerschmidt z r. 1942, výkon 1,5 kW, 3x 400V - objemový průtok vzduchu: 5 m³/s (údaj od pana Charvata, 5 000 m³/h (z dokumentace???) - výtlačná a cirkulační: nepoužívá se, ale je funkční, voda pro výtlačku 20 l/hod. (z dokumentace) - filtry: olejový (cedrový olej) a pilinový (cedrové hobliny - nastávaný údaj z r. 1982, ale nevím se, zda byly vyměněny znovu za cedrové) - ovládat: teplovodní výměník - topná voda z kotelny (CZT), topný výkon 70 kW (z dokumentace) - provoz vzduchotechniky: nahodilá - jen pokud je nějaké jednání v obytné hale (s opravou stěny) v zimě se dočlová teplovodní pomocí VZT, cirkulace jede jen když se topí - umístění se VZT: obytná hala - distribuce grvky v místnosti: obědňkové mřížkové výstupy (přívod i odřah), umístě klásky - dále se přeměňovat co kam jde - regulace: ruční ovládní přívodu čeruvého vzduchu, výtlačná a cirkulace (0 - 1/2 - 1) - izolace zastaven: korek pod ventilátorem, hmota mezi jednotlivými tvarovkami - kontakt na projektanta VZT (co dále novou dokumentaci): Ing. Zásada Tichý, El. Vostická 9, Brno 616 00 tel. 549 241 242; OMNIA projekt, s.r.o. - Vauk Tichý <p>Vytápění</p> <ul style="list-style-type: none"> - popis: CZT, výměníková stanice para - voda, původně kotel (3 ks „Štebl“) - čerpadla: oběhové čerpadla Wilo - štětčkové, čerpadla na odřad kondenzátu; čerpadla jsou údajně nepřetržitě v provozu i v létě (kvůli TV) - izolace potrubí: přívodů z 80. let, stejně skelná vana + hliníková fólie 	<ul style="list-style-type: none"> - otopná tělesa: většinou článková (línna nebo oceť), v obytné hale trubková z nerezových trubek (před okny) - regulace: automatická, venku termometry (skřiverní), TRV na tělesech - teplota vytápění: údajně 18°C (ve skutečnosti předpokládám vyšší) - útlum: ano, přes noc a v době kdy nejsou návštěvy dny se temperuje <p>Teplá voda</p> <ul style="list-style-type: none"> - příprava: centrální - zásobník - odtav TV: CZT výměník - v kotelně - čerpadlo: není - izolace: je provedena (alespoň v rámci kotelny) - rozvod TV: všechny koupelny, umyvárny a kuchyně <p>Osvětlení</p> <ul style="list-style-type: none"> - typ osvětlení: žárovky (klasické), zatřívky jen v prosklánaných stěnách - ovládní: ručně - vypínače, venku fotobuňka - nouzové osvětlení: není - stínění oken: v 1.NP - obytná hala - markýry svačků JZ - němej polohovat, akcion 45° (dřív) na markýrach je nastavená nová plátne - funkční používají se; v 2.NP - dřevěné předoknační žaluzie (modřín) JZ - pokoje pana a paní, ovládní žaluzie sevnit - funkční, používají se, v místnostech před okny žaluzie a zatřívky
--	--

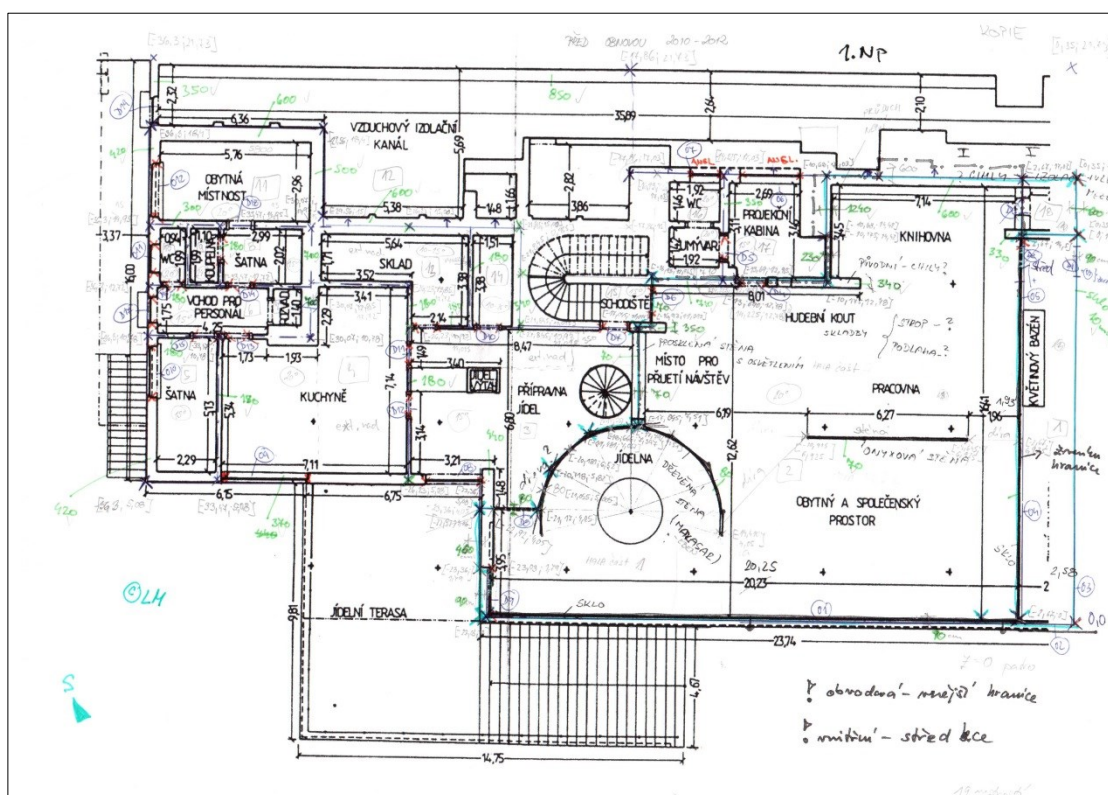
Obr. 5.4.1.2 Vila Tugendhat - stručný přehled významných parametrů systémů TZB včetně základních informací o provozu budovy [zdroj: autor]

5.4.1.2 Specifikace okrajových podmínek a zjednodušení geometrie

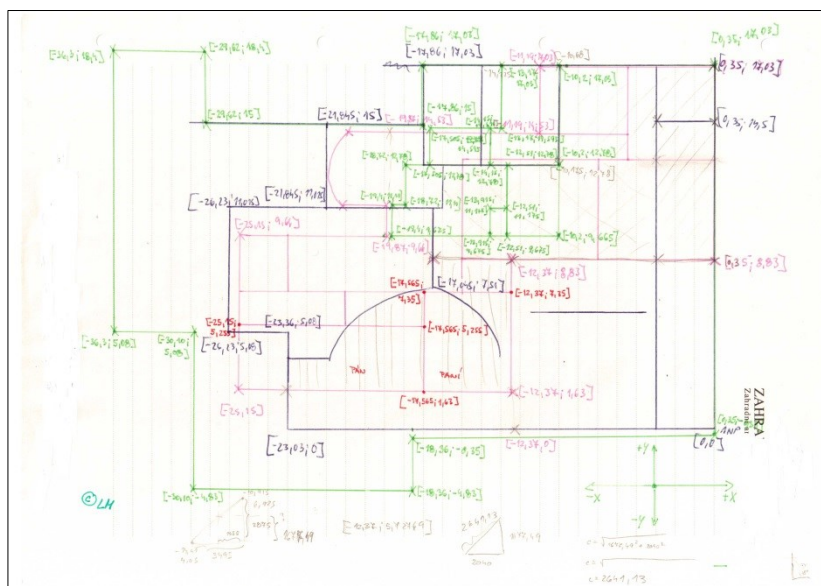
Na základě analýzy skutečností zjištěných při průzkumu objektu (viz předchozí odstavec) je dále možné přistoupit ke zjednodušení geometrie pro počítačový model a ke specifikaci okrajových podmínek.

Zjednodušení geometrického modelu pro PC simulaci závisí ve velké míře na zkušenostech výzkumníka. Každý má své jedinečné know-how pro tvorbu modelu. Já své know-how pro zadávání geometrického modelu nyní částečně podkryji a pokusím se zde uvést algoritmus, kterého se při zjednodušování modelu držím. Jedná se o následující postup:

- vytvoření zjednodušené jednočarové sítě (tvořené osou konstrukce, případně vnější hranicí)
- označení styčných bodů, které tvoří průřezy sítě → stanovení jejich souřadnic v souřadném systému X, Y, Z (viz Obr. 5.4.1.3 a Obr. 5.4.1.4)
- rozvaha o celkovém zadávání: a) všech podlaží naráz, b) po podlažích, která se posléze sloučí, c) po podlažích s využitím virtuálních zón
- zadání základní geometrie do simulačního nástroje pomocí souřadnic styčných bodů
- zadání otvorů (bez výplně, volný průřez) a otvorových výplní (okna, dveře s výplní) do simulačního nástroje pomocí souřadnic styčných bodů
- řešení kolizí a případně další úpravy geometrického modelu

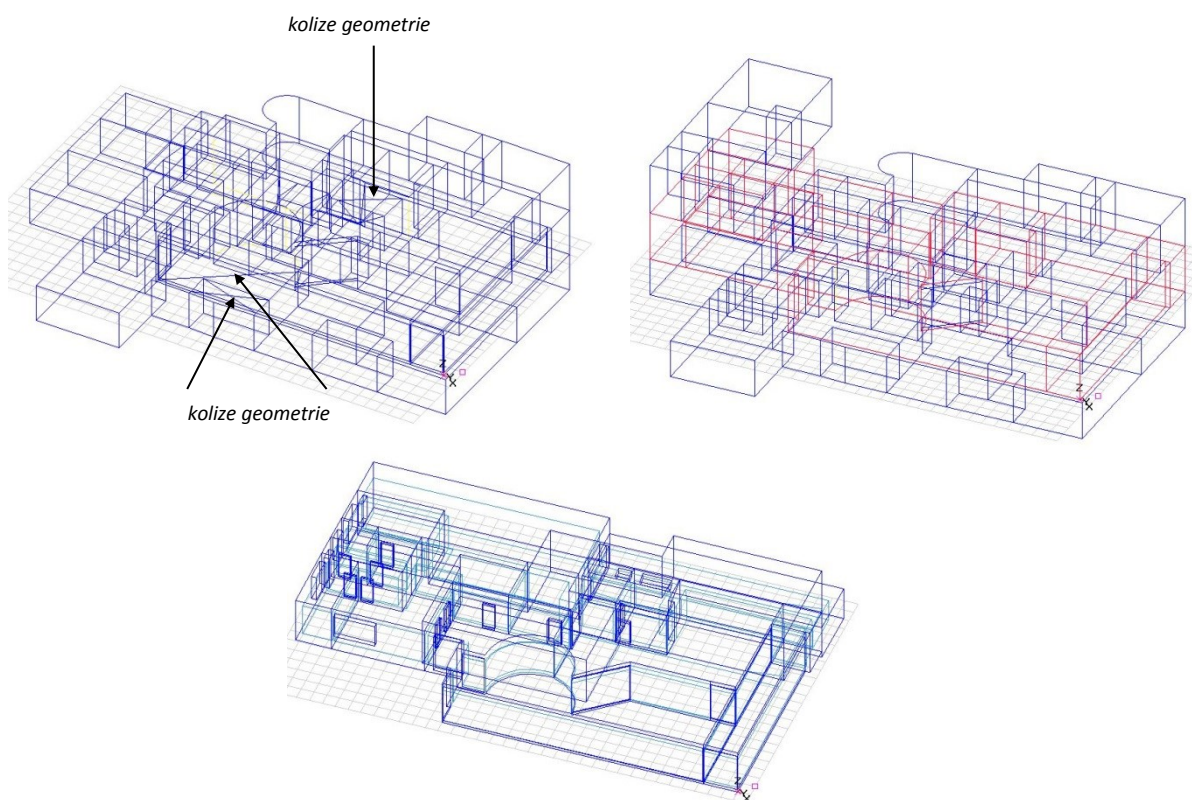


Obr. 5.4.1.3 Vila Tugendhat 1.NP – ukázka zjednodušování geometrie – lokalizace styčných bodů a stanovení souřadnic [zdroj: autor]



Obr. 5.4.1.4 Vila Tugendhat, vzájemné vazby mezi 1.PP, 1.NP a 2.NP (rozlišeno barvami) – ukázka zjednodušování geometrie – jednočarová síť s lokalizací styčných bodů a jejich souřadnic [zdroj: autor]

Po provedení zjednodušení geometrie a zadání souřadnic do simulačního nástroje vzniká geometrický model budovy (viz Obr. 5.4.1.5).



Obr. 5.4.1.5 Vila Tugendhat – geometrický model v simulačním nástroji BSim - geometrie zadávaná naráz, se zaznačením kolizí (vlevo nahoře); geometrie zadaná po patrech, před sloučením (vpravo nahoře); geometrie INP s uplatněním virtuálních zón (dole) [zdroj: autor]

Na předchozím obrázku byla geometrie modelu zadávána třemi různými způsoby:

- všechna podlaží naráz
- po podlažích, která se vzájemně sloučí
- po podlažích, pomocí virtuálních zón

První způsob zadání geometrie byl proveden *naráz*, tedy všechna podlaží byla zadána v rámci jednoho souboru (viz Obr. 5.4.1.5 vlevo nahoře). Z obrázku jsou patrné kolize v geometrii, kterým se při tomto způsobu zadání nelze vyhnout. Kolize nastávají při slučování konstrukcí, které na sebe nenavazují nebo nějakým způsobem vzájemně ustupují. Proto je takto vytvořený model pro simulaci nevhodný. Simulace by buď neproběhla kvůli kolizím v geometrii, kdy by nástroj nebyl schopný dosáhnout konečného výsledku. Nebo by simulace proběhla, ale výsledky by byly zmíněnou chybou zkreslené a nebyly by správné.

Druhý způsob zadání geometrie byl proveden *po podlažích, která se vzájemně sloučí* (viz Obr. 5.4.1.5 vpravo nahoře). Tedy každé podlaží bylo zadáno v rámci vlastního souboru. Tato podlaží měla být sloučena do jednoho souboru – uvedený obrázek zachycuje všechna podlaží před sloučením. Po vzájemném sloučení však došlo k obdobnému problému s kolizí geometrie jako u varianty zadávání naráz. Z již výše zmíněných důvodů nebyla ani tato varianta pro simulaci použitelná.

Třetím způsobem bylo zadání *po podlažích, pomocí virtuálních zón*. Tato varianta zadání je znázorněna na Obr. 5.4.1.5 dole. Zkoumané podlaží je zadáno v rámci jednoho souboru. Pomocí virtuální zóny lze za konstrukcí navodit takové prostředí, které odpovídá skutečnému vnitřnímu prostředí místnosti nad nebo pod zadávaným podlažím. Pomocí zadávání virtuálních zón se tedy vyhneme kolizím geometrie, přičemž prostředí nad a pod posuzovaným podlažím odpovídá z hlediska stavu vnitřního prostředí skutečné místnosti. Tato varianta zadání byla v mém případě pro simulaci použitelná, protože eliminovala chyby způsobené geometrií.

Po zadání geometrie je nutné v simulačním nástroji vyspecifikovat okrajové podmínky pro simulaci. Tyto okrajové podmínky vycházejí z analýzy vstupních dat. Jako okrajové podmínky vstupují do simulace zejména následující údaje:

- klimatická data ve formátech *.dry, *.try (případě *.csv nebo *.txt, ze kterých je možné provést konverzi). (Podrobněji o různých typech a formátech klimatických dat pojednává např. disertační práce *Energetické a ekologické zátěže budov*, Ing. Romana Musila, Ph. D. z Katedry TZB, Fakulty stavební ČVUT v Praze)
- tepelně-technické vlastnosti použitých konstrukcí (příklad podrobného stanovení součinitele prostupu tepla U obvodové stěny tl. 370 mm, která se nachází ve vile Tugendhat, je součástí Přílohy 5)
- rozdělení budovy do zón; definování okrajových podmínek v zónách pro systémy: vytápění, přirozené větrání, nucené větrání, chlazení, osvětlení, stínění; definování parametrů pro prvky: zatížení osobami, zatížení vlhkostí, vnitřní vybavení, infiltrace aj. (zadávané okrajové podmínky vychází opět z analýzy vstupních dat získaných při prohlídce objektu – viz např. výstup cíle 2 v kap. 5.2.3)

- definování provozních stavů pro jednotlivé systémy a prvky zón

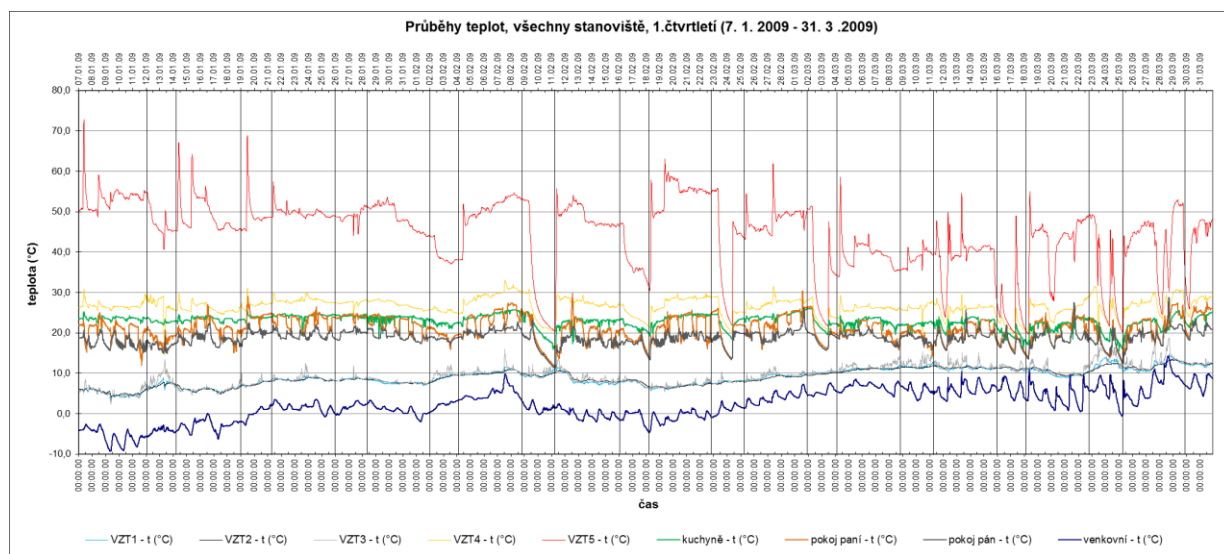
Dalším krokem tohoto postupu je nastavení a provedení vlastní simulace pomocí nástroje BSim.

5.4.2 Možnost verifikace a kalibrace modelu pomocí naměřených dat

V rámci své disertační práce jsem měla možnost provádět dlouhodobější dočasné měření ve vile Tugendhat. Měření probíhalo v letech 2008 – 2010 (ukončeno bylo těsně před památkovou obnovou vily). Dataloggery byly osazeny ve všech třech podlažích (1.PP – komory strojovny vzduchotechniky; 1.NP – šachta vedoucí z kuchyně; 2.NP – pokoj pána, pokoj paní; externí čidlo u vstupu do přírodní VZT vyústky). Dokumentace zachycující osazení dataloggerů v jednotlivých podlažích je součástí Přílohy 7.

5.4.2.1 Analýza naměřených dat

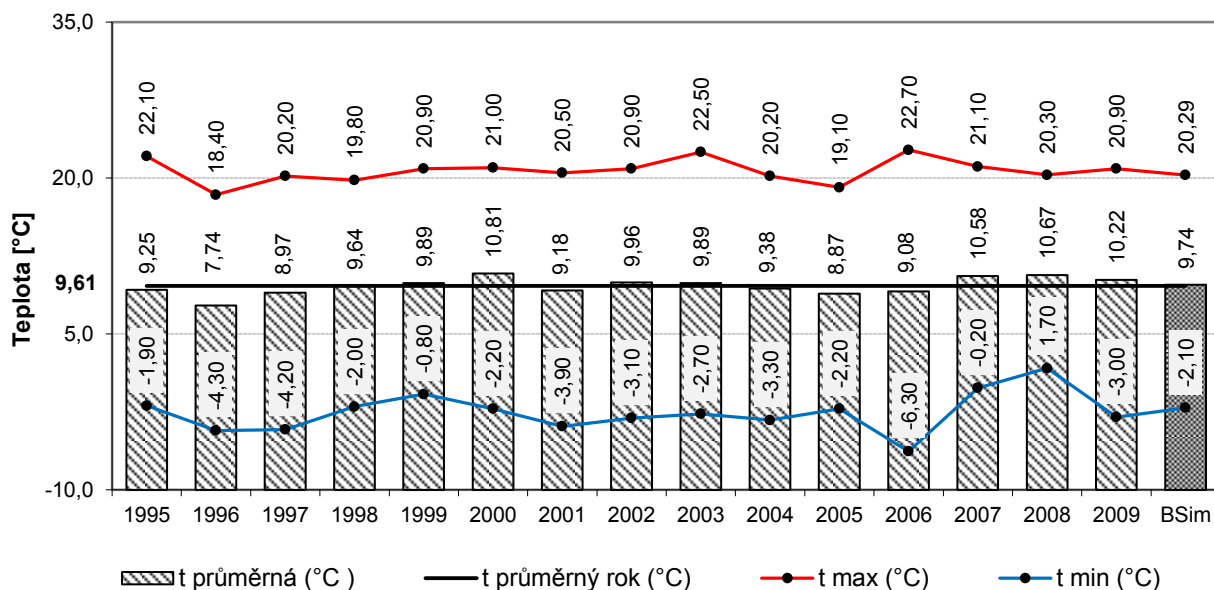
Na Obr. 5.4.2.0 je ukázka zpracovaných naměřených dat z období 7. 1. – 31. 3. 2009. Jedná se o záznamy průběhů teplot (°C) z jednotlivých stanovišť. Svislé linky znázorňují dny (so, ne, po), ve kterých byla vila až na výjimky uzavřena. Na průbězích teplot je v těchto dnech patrný útlum vytápění.



Obr. 5.4.2.0 Ukázka zpracovaných dat z vily Tugendhat – naměřené průběhy teplot z jednotlivých stanovišť v období 7. 1. 2009 – 31. 3. 2009 [zdroj: autor]

5.4.2.2 Analýza klimatických dat

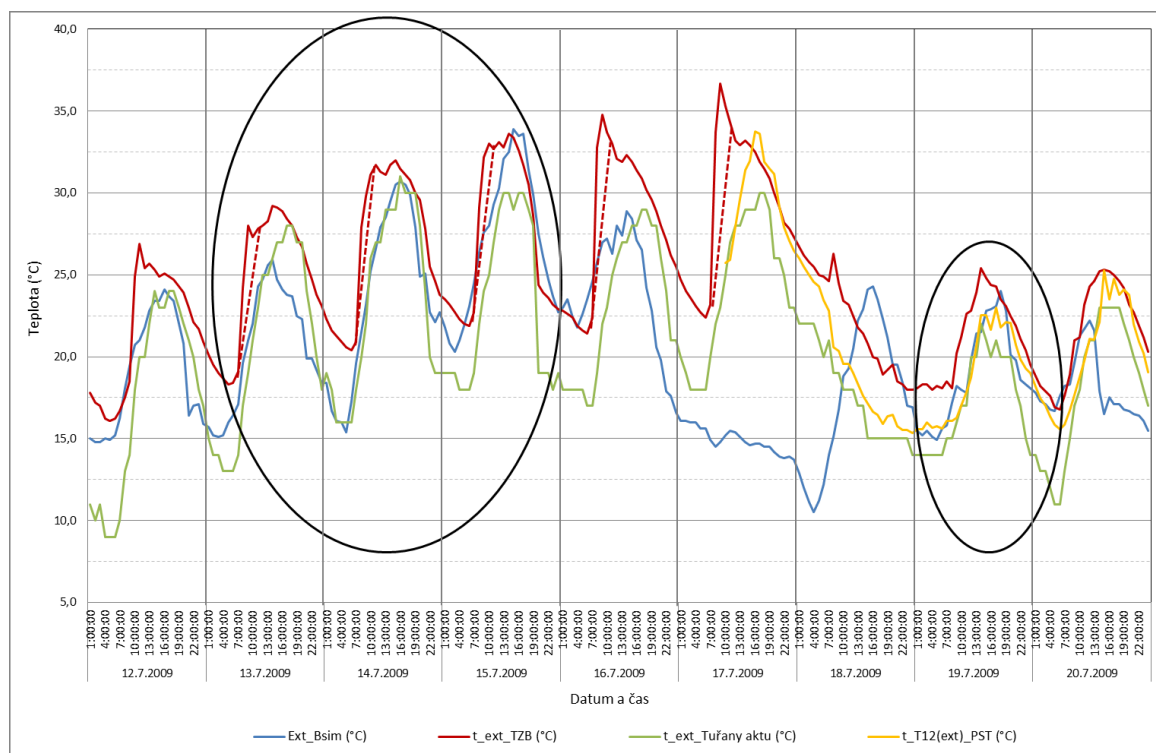
Pro simulace jsem používala klimatická data referenčního roku ze stanice Brno – Tuřany, ve formátu *.dry. Tato data představovala průměrné hodnoty z let 1995 - 2009. Trend ročních průměrných teplot, doplněný o hodnoty měsíčních maxim a minim ve zmíněném období, je znázorněn na Obr. 5.4.2.1. Průměrná roční teplota ve sledovaném období dosahovala hodnoty 9,61 °C. Z uvedeného grafu je patrné, že roky 2008 a 2009, ve kterých probíhalo vlastní měření ve vile, byly z hlediska průměrné roční teploty mírně nadprůměrné.



Obr. 5.4.2.1 Klimatická data ze stanice Brno-Tuřany - graf průměrných ročních teplot (sloupcový) s průběhem maximálních a minimálních teplot pro jednotlivé roky (spojnicový) [zdroj:[74], zpracování: autor]

5.4.2.3 Verifikace a kalibrace modelu dle naměřených dat

Verifikace sestaveného modelu byla provedena vlastní metodou, kterou jsem nazvala „srovnávání dat“. Metoda spočívá ve srovnávání aktuálních klimatických dat z různých stanovišť s klimatickými daty použitými v nástroji BSim. Cílem této metody je nalézt období s největší shodou jednotlivých průběhů (viz Obr. 5.4.2.2).

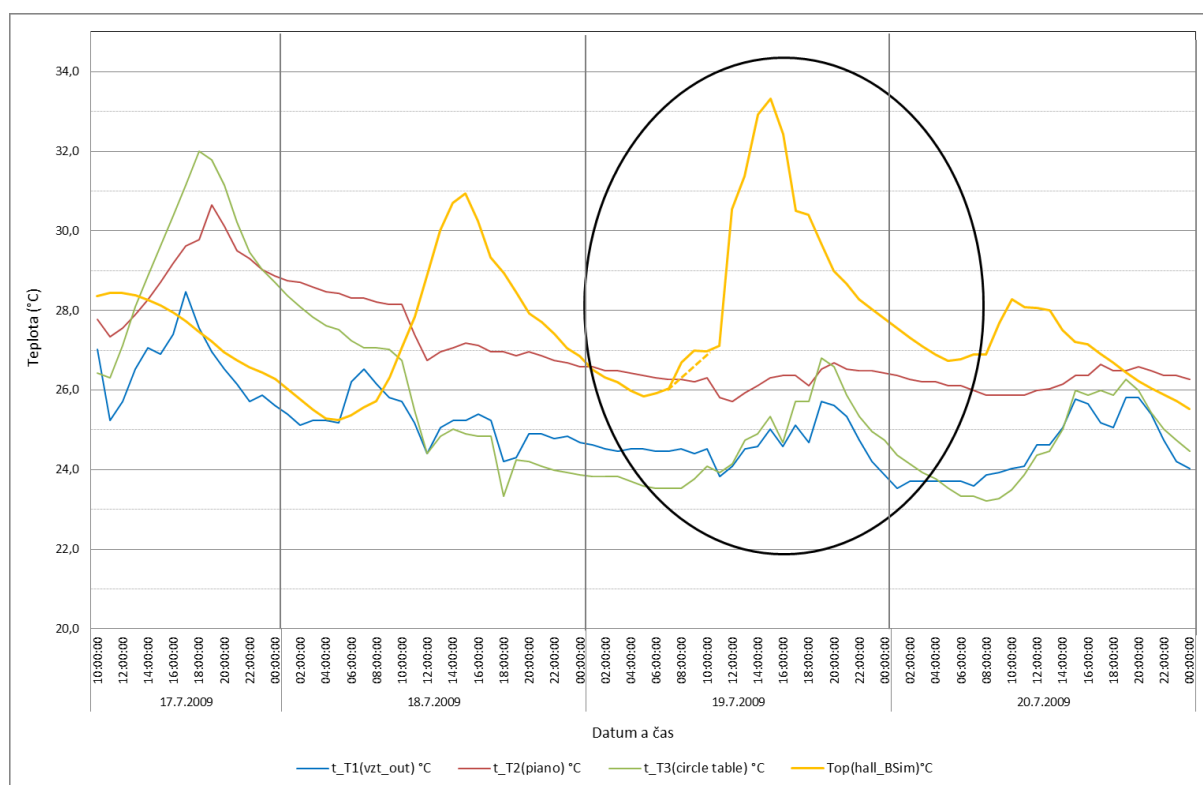


Obr. 5.4.2.2 Graf průběhů venkovních teplot v období 12. 7. – 20. 7. 2009 [zdroj: autor]

V mém případě byla porovnávána klimatická data z následujících zdrojů: 2x datalogger osazený v exteriéru vily Tugendhat – v grafu označeno t_{ext_TZB} a $t_{T12(ext)_PST}$ (viz Příloha 7); aktuální klimatická data ze stanice Brno-Tuřany (zdroj [74]) – v grafu označeno $t_{ext_Tuřany\ aktu}$; klimatická data referenčního roku ze stanice Brno-Tuřany, využívaná pro simulační nástroj BSim – v grafu označeno Ext_Bsim .

Z grafu na Obr. 5.4.2.2 je patrné, že teplota naměřená vlastním čidlem (t_{ext_TZB}) nabývá mezi 7 – 11 hodinou výrazně vyšších hodnot. V této době bylo venkovní čidlo ovlivněno slunečním zářením, což se potvrdilo i simulací oslunění v nástroji BSim. Předpokládaný průběh teploty bez vlivu oslunění je v grafu naznačen čárkovanou čarou. Dále je patrné, že dne 17. 7. 2009 je průběh naměřených teplot zcela odlišný od průběhu teploty ze simulačního nástroje BSim. Tento den je tedy pro porovnávání dat a verifikaci modelu zcela nevhodný. Z uvedeného grafu je dále patrné, že průběh reálných venkovních teplot ve dnech 13. 7., 14. 7. a 19. 7. 2009 se nejvíce blíží průběhu venkovní teploty používanému pro simulaci. Proto byly tyto dny zvoleny pro verifikaci a kalibraci modelu.

Ve stanoveném období (13. 7., 14. 7. a 19. 7. 2009) pak sledují průběhy vybraných parametrů IM v posuzované místnosti (měřené a simulované). Na základě porovnávání průběhů vybraných parametrů (např. vnitřní teploty) je možné provádět validaci a kalibraci tím, že doladujeme nastavení okrajových podmínek modelu tak dlouho, dokud nebude vykazovat dostatečnou přesnost.



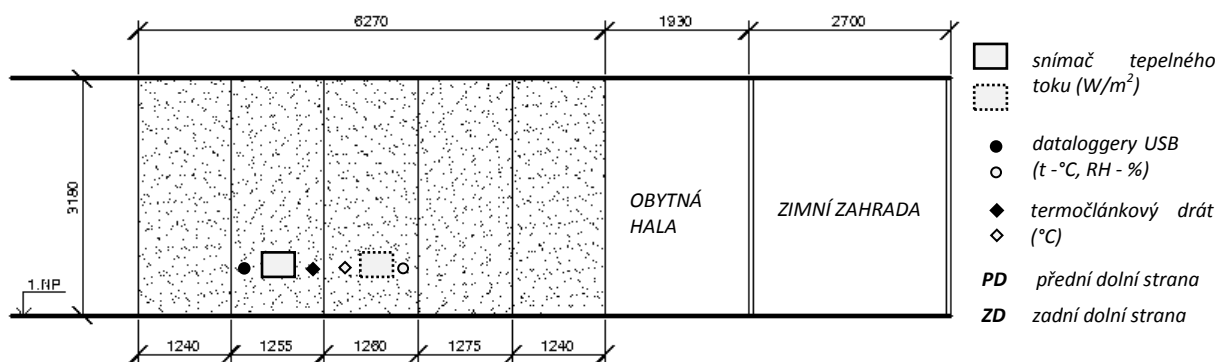
Obr. 5.4.2.3 Graf průběhů vnitřních teplot v obytné hale vily Tugendhat v období 17. 7. – 20. 7. 2009 [zdroj: autor]

Graf na Obr. 5.4.2.3 představuje průběh vnitřních teplot měřených v obytné hale a dále průběh simulované vnitřní teploty z nástroje BSim. Lokalizace jednotlivých měřících bodů

(T1, T2, T3) je k dispozici v Příloze 7 (Obr. 6.3.1.19). Z grafu je patrný značný rozdíl mezi měřeními a simulovanými průběhy teplot ve sledovaném dni (označené elipsou). Maximální rozdíl nabývá hodnoty přes 10 °C. Rozdíl je způsoben skutečností, že prosklená JV stěna obytné haly je v letním období přirozeně stíněna listnatým stromem (což zatím nebylo v simulaci zohledněno – předpokládaný průběh teploty po zastínění je naznačen čárkovanou čarou). Prosklená JZ stěna orientovaná do zahrady je zase reálně stíněna látkovou markýzou, případně vnitřními záclonami (tyto skutečnosti zatím také nebyly v simulaci zohledněny). Na grafu je navíc patrný rozdíl teplot mezi jednotlivými měřicími body, kde datalogery s označením T1 a T3 byly umístěny cca 0,5 m nad podlahou a logger T2 několik centimetrů pod stropem. Nástroj BSim naopak počítá teplotu ve středu objemu místnosti. Jelikož se jedná o místnost s velkým podílem prosklených ploch, výrazně ovlivněnou solárními zisky, může být rozdíl teplot způsoben i tímto aspektem.

Závěrem lze tedy říci, že průběh simulované vnitřní teploty ve sledovaný den 19. 7. 2009 přibližně koresponduje se skutečně naměřeným průběhem vnitřních teplot. V této fázi verifikace však ještě není dosaženo dostatečné přesnosti simulace zejména v průběhu dne z toho důvodu, že v simulaci zatím nebyly zohledněny stínící prvky.

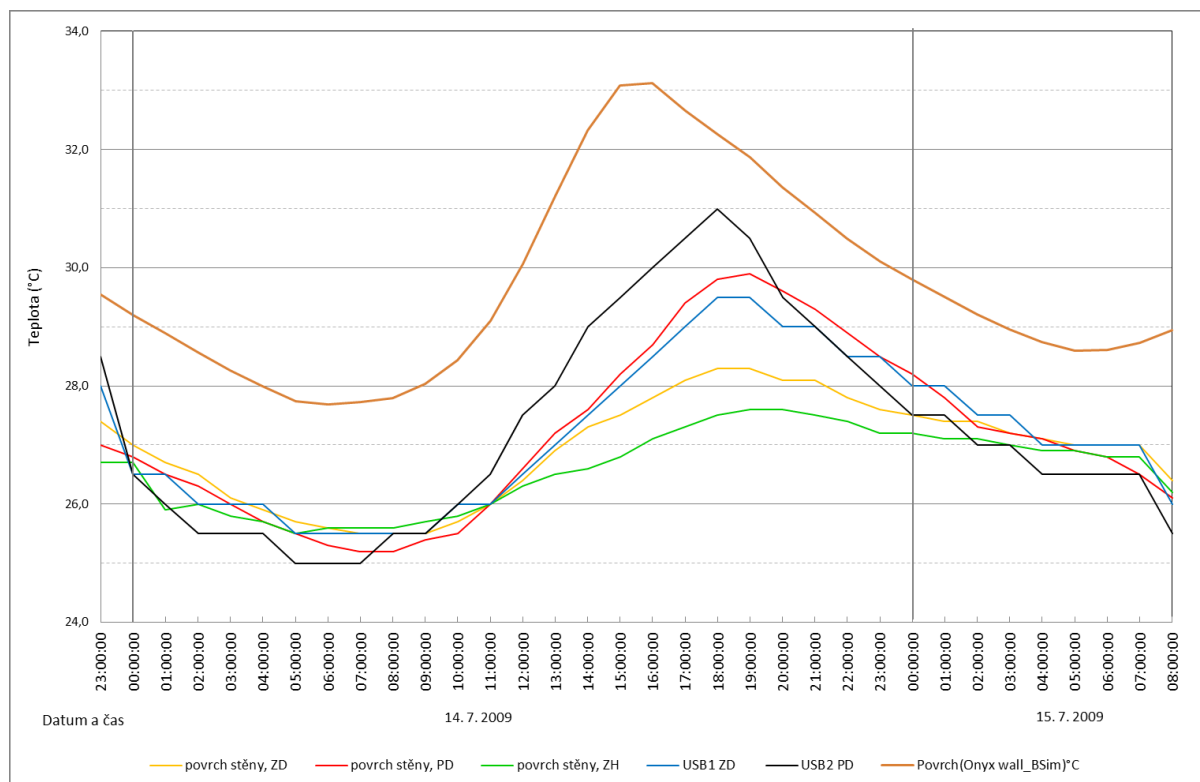
Graf na následující stránce (Obr. 5.4.2.5) znázorňuje průběhy povrchových teplot z dílčího měření na onyxové stěně ve dnech 14. 7. – 15. 7. 2009. Osazení měřicích čidel je znázorněno na Obr. 5.4.2.4.



Obr. 5.4.2.4 Vila Tugendhat, obytná hala - pohled na onyxovou stěnu z přední strany s lokalizací měřicích čidel [zdroj: autor]

Měřené teploty byly porovnány s teplotou povrchu onyxové stěny exportovanou ze simulace BSim (*Povrch_Onyx wall_BSim*). Z grafu je patrné, že průběh měřených i simulovaných teplot spolu koresponduje. Je třeba poukázat na to, že rozdíl mezi samotnými měřeními daty na různých površích stěny se liší až o 3 °C (rozdíl mezi čidlem USB2 PD a čidlem *povrch stěny*, ZH). Rozdíl mezi simulovaným průběhem a čidlem USB2 PD pak činí nejvíce 3 °C a rozdíl mezi simulací a čidlem *povrch stěny*, ZH až 6 °C.

Podrobnější závěry z tohoto konkrétního měření jsou součástí vlastní publikace s názvem: *Pasivní využití solární energie ve funkcionalistické vile* (viz Seznam publikací autora, rok 2015).



Obr. 5.4.2.5 Graf průběhů povrchových teplot na onyxové stěně v období 14. 7. – 15. 7. 2009
[zdroj: autor]

Tématem validace a kalibrace PC modelu pro potřeby simulací IM v historických budovách se v rámci své disertační práce zabýval např. doktor Ralf Kilian z institutu Fraunhofer-Institut für Bauphysik (viz literatura [75]). Součástí jeho práce bylo statistické vyhodnocení přesnosti simulace pomocí různých srovnávacích parametrů (percentily, mediány atp.). Obecně se dá říci, že stanovil míru přesnosti, kde ve většině srovnávaných parametrů představuje rozptyl ± 1 °C excelentní přesnost a rozptyl ± 3 °C akceptovatelnou přesnost. [75]

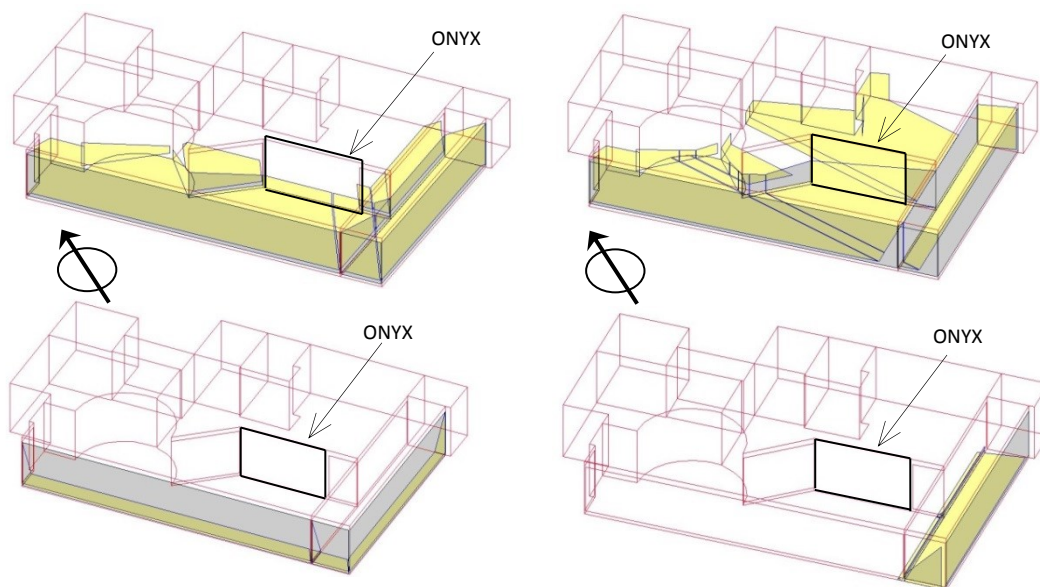
Na základě tohoto doporučení by byla přesnost dosažená na grafu z Obr. 5.4.2.5 klasifikována jako akceptovatelná. Pro svoji verifikaci a kalibraci jsem však zatím neuplatňovala žádnou statistickou metodu, ale metodu observační.

5.4.2.4 Simulace prostřednictvím PC modelu

Po ověření přesnosti PC modelu je možné provádět simulace různých požadovaných provozních stavů. Jako ilustrativní příklad jsem zvolila simulaci oslunění obytné haly ve vile Tugendhat. Tato konkrétní simulace byla využita k potvrzení hypotézy, že vila Tugendhat byla postavena v souladu se zásadami solární architektury (více publikace *Prvky solární architektury ve vile Tugendhat*, Seznam publikací autora, rok 2012).

Pro simulaci byl zvolen den zimního a letního slunovratu 21. prosince a 21. června, kdy v poledne dosahuje Slunce své nejnižší (zimní) a nejvyšší (letní) polohy na obloze. Ze simulací na Obr. 5.4.2.6 je patrné, že obytná hala v zimních měsících maximálně využívá solární zisky a onyxová přička je umístěná tak, že umožňuje akumulovat solární energii během

dne. Naopak v letních měsících slunce do místnosti téměř nesvítí (přestože je simulace provedena bez stínících prvků).



Obr. 5.4.2.6 Simulace oslunění obytné haly ve vile Tugendhat – dne 21. 12. ve 12 hod. (vlevo nahoře), dne 21. 12. v 9 hod. (vpravo nahoře), dne 21. 6. ve 12 hod. (vlevo dole), dne 21. 6. v 9 hod. (vpravo dole) [zdroj: autor]

5.4.3 Syntéza závěrů z uvedené případové studie

Tato kapitola bude představovat syntézu závěrů, vyplývajících z prezentované případové studie. Pokusím se zde zhodnotit přednosti a úskalí metody PC modelování, využití pro simulace v oblasti nemovitých památek.

5.4.3.1 Syntéza závěrů - tvorba a zjednodušení geometrického modelu

Hlavní přednosti a nedostatky, které souvisí s tvorbou geometrického modelu pro PC simulaci, jsou sestaveny do následující tabulky.

Tab. 5.4.3.0 Tabulka s vyhodnocením hlavních předností a nedostatků při tvorbě geometrického modelu pro PC simulaci [zdroj: autor]

PŘEDNOSTI	NEDOSTATKY
+ zjednodušená 3D vizualizace → lepší prezentace budovy	- časová náročnost při vytváření modelu, zejména u složitější geometrie (volné dispozice, zaoblené konstrukce, atp.)
+ strukturování získaných informací → základ pro informační model budovy	- zvýšená pravděpodobnost selhání lidského faktoru při zadávání parametrů (chyby z nepozornosti atp.)
	- nutnost zjednodušení zadávaných okrajových podmínek (odhady skladeb konstrukcí, odhady proudění vzduchu atp.)

5.4.3.2 Syntéza závěrů – verifikace a kalibrace PC modelu pomocí naměřených dat

Přednosti a nedostatky související s verifikací a kalibrací sestaveného PC modelu pomocí naměřených dat jsou uvedeny v tabulce níže.

Tab. 5.4.3.1 Tabulka s vyhodnocením hlavních předností a nedostatků při verifikaci a kalibraci PC modelu pomocí naměřených dat [zdroj: autor]

PŘEDNOSTI	NEDOSTATKY
+ možnost konverze vlastních klimatických dat (pokud jimi disponujeme)	- nezbytné provedení vlastního dočasného měření kvůli verifikaci a kalibraci
+ 3D model odpovídající se stanovenou mírou přesnosti posuzované památce	- časová náročnost při vyhodnocování dat
+ možnost nedestruktivního testování různých provozních stavů při různých okrajových podmínkách → predikce chování skutečné budovy pomocí modelu	- časová náročnost verifikace a kalibrace
	- interpretace výsledků simulace může být někdy chybná (velmi záleží na zkušenostech výzkumníka)

Z uvedené případové studie se dají vyvodit následující závěry, obecně platné pro simulaci nemovitých památek:

- Využití metody PC modelování pro simulaci nemovitých památek je ve všech fázích časově velmi náročné. Z tohoto důvodu je metoda v současné době vhodná spíše pro výzkumné záměry a pro práci na akademické půdě či ve specializovaných výzkumných centrech. Pro soukromé osoby a firmy, působící v oblasti nemovitých památek je tato metoda v porovnání čas/výnos zatím nerentabilní.
- Velkou výhodou metody PC simulace je její nedestruktivní charakter. Pomocí simulace lze predikovat průběh parametrů IM při různých provozních stavech systémů a režimech provozu budovy. PC model pro simulaci může tvořit podklad pro informační model budovy.
- Sestavený PC model je nutné verifikovat a kalibrovat (nejlépe pomocí reálně naměřených dat), abychom prokázali jeho použitelnost pro predikci chování budovy při různých provozních stavech.
- Při sestavování PC modelu nelze vždy přesně stanovit okrajové podmínky (např. skladby konstrukcí) a je nutné používat odborný odhad. Z tohoto důvodu může dojít k jistým odchylkám modelu od skutečného stavu.

6. ZÁVĚR DISERTAČNÍ PRÁCE

Předkládaná disertační práce řeší vybrané problémy spjaté s různými fázemi procesu péče o nemovité památky. Jedním z významných mezinárodních dokumentů, který se zaměřuje na analyzování, ochranu a stavební obnovu architektonických památek je tzv. Charta ICOMOS (Zimbabwe, říjen 2003). Tento dokument byl zčásti ratifikován i v ČR. Zvolené cíle a z nich vyplývající výsledky této disertační práce rámcově korespondují se zásadami uvedenými v Chartě ICOMOS, zejména pak v bodě 1. Všeobecná kritéria a v bodě 2. Výzkum a diagnóza. Z tohoto důvodu se domnívám, že jakýkoli výzkum v oblasti péče o nemovité památky má jistý přínos, ať už postihuje širší či užší problematiku.

6.1 VÝZNAM DISERTAČNÍ PRÁCE PRO ROZVOJ VĚDNÍHO OBORU

Výstupy cíle 1 a 4 mají význam pro rozvoj oboru pozemní stavby se zaměřením na technické zařízení budov a také pro rozvoj specifické oblasti památkové péče (specializované průzkumy).

Cíl 1 a jeho výstup se zaměřoval na analýzu procesu památkové péče a to zejména na průzkumy a dokumentaci systémů vytápění, větrání a klimatizace, a stínění (systémy TZB-V) v nemovitých památkách. Na základě předložené analýzy jsem dospěla k závěrům, že stávající průzkumy se tématu systémů TZB-V dotýkají pouze okrajově. Podrobný a komplexní průzkum, zaměřený konkrétně na tyto jmenované systémy v praxi památkové péče v současné době postrádám. Přičemž právě výše jmenované systémy jsou zodpovědné za stav vnitřního prostředí v nemovitých památkách, který hraje klíčovou roli při uchovávání předmětů kulturní povahy. Součástí cíle 1 je také predikce dokumentace nemovitých památek v duchu současných trendů uplatňovaných ve stavebnictví.

Cíl 4 a jeho výstup byl zaměřen na možnost využití PC modelování jako nedestruktivní metody při výzkumu a prognóze chování vnitřního prostředí v nemovitých památkách. Prostřednictvím konkrétní případové studie jsem analyzovala problematiku tvorby modelu, zjednodušování okrajových podmínek, možnost verifikace a kalibrace modelu pomocí reálně naměřených dat a možnosti vlastních simulací. Zobecněním závěrů z případové studie vyšlo najevo, že metoda PC modelování je pro výzkum nemovitých památek použitelná, za předpokladu správného zadání okrajových podmínek a verifikace modelu pomocí naměřených dat. Použití metody PC modelování je však omezeno výhradně na výzkumnou a akademickou sféru, kde je na takovéto projekty dostatečný prostor. Pro komerční sféru se však tato metoda prozatím jeví jako nerentabilní, vzhledem k vysokým pořizovacím nákladům na licencované simulační softwary a k časové náročnosti prováděných prací spojených s tvorbou a verifikací modelu.

6.2 VÝZNAM DISERTAČNÍ PRÁCE PRO PRAXI

Výstupy cíle 2 a 3 mají význam zejména pro praxi v oblasti památkové péče.

Cíl 2 a jeho výstup byl zaměřen na zjednodušení, zpřehlednění a urychlení práce specialistů při průzkumech systémů TZB-V (vytápění, větrání a klimatizace, stínění) tak, aby efektivně získali přehled o nejdůležitějších parametrech těchto systémů. V rámci cíle 2 jsem vytvořila

pomůcku ve formě jednoduchých formulářů, které jsou určené pro práci v terénu. Smyslem těchto formulářů je získat významné informace o systémech TZB-V během prvních návštěv objektu. Formuláře jsou záměrně jednotně strukturovány za účelem dalšího zpracování získaných informací (směřováno pro využití do informační databáze, případně pro citlivostní analýzy).

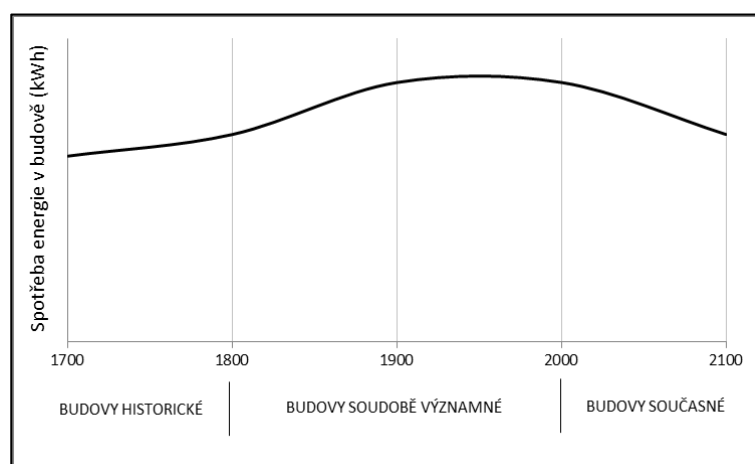
Cíl 3 a jeho výstup byl zaměřen na specifikaci obecných zásad, které by měl zohlednit průzkumník při instalaci dočasných měřicích přístrojů v nemovité památce. Dále je součástí výstupu formulář určený pro práci v terénu. Formulář má usnadnit sledování stavu instalovaných přístrojů, pomáhá předejít ztrátě dat, a dále obsahuje informace (nebo odkazy) o přesné lokalizaci měřicího přístroje, čímž zajišťuje reprodukovatelnost měření.

Výstupy cílů 2 a 3 jsou přímo uplatnitelné v praxi. Předložené formuláře z cílů 2 a 3 byly přijaty jako podklady pro „Metodiku uchovávání předmětů kulturní povahy – optimalizace podmínek s cílem dosažení dlouhodobé udržitelnosti“, která je zpracovávána v rámci projektu NAKI (DF13P01OVV016). Formuláře byly schváleny k implementaci hlavní řešitelkou projektu.

6.3 MOŽNOSTI DALŠÍHO VÝZKUMU

Začátkem roku 2015 se mi podařilo aktivně zapojit do řešení již dříve zmíněného projektu NAKI - Metodika uchovávání předmětů kulturní povahy, podporovaného Ministerstvem kultury. V rámci spolupráce s jedním z řešitelů, Technickým muzeem v Brně, budu zpracovávat simulace pro ověření metody „conservation heating“ a to konkrétně pro objekt nemovité památky SZ Kunštát a SZ Hluboká nad Vltavou.

S tím souvisí i další možnost výzkumu, zaměřená na snižování spotřeby energie na provoz nemovitých památek. Trend, jakým se ubírala spotřeba energie v posledních několika staletích, jsem se pokusila vystihnout jednoduchým grafem (viz Obr. 6.3.1.0).



Obr. 6.3.1.0 Trend spotřeby energie využívané na provoz nemovitých památek [zdroj: autor]

V současné době je vyvíjen tlak na snižování spotřeb energií v budovách obecně. Tento tlak vychází ze směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU, která je již téměř ve všech státech EU implementována. Tento všeobecný tlak se projevuje už i ve sféře péče o nemovité

památky. Problematika snižování spotřeb energií v nemovitých památkách je řešena kupříkladu i v rámci 7. Rámcového programu EU.

Další možnost výzkumu se naskytá v oblasti zpřesnění verifikace a kalibrace PC modelu s využitím metod matematické statistiky.

V neposlední řadě se může další výzkum zaměřit i na statistické zpracování údajů z formulářů, které jsou součástí cíle 2. V případě, že budou tyto formuláře zpracovány u dostatečného množství nemovitých památek, jsem přesvědčená o tom, že citlivostní analýzou bude možné postihnout jisté vzájemné vazby (kritéria), které budou souviset s výskytem určitých jevů (např. větší pravděpodobnost zvýšené relativní vlhkosti, zvýšené napadení uchovávaných předmětů biologickými činiteli atp.).

LITERATURA

- [1] KRÍŽ, M. *Obnova a rekonstrukce památek*. 2. vydání. Brno: PC-DIR, 1997. 165 s. ISBN 80-214-0862-6.
- [2] NÁRODNÍ PAMÁTKOVÝ ÚSTAV. Odborníci a další zájemci/Památky a památková péče/Zákony, mezinárodní dokumenty. *Národní památkový ústav* [online]. ©2003-2014, poslední revize 20.2.2011 [cit. 2014-01-30]. Dostupné z: <<http://www.npu.cz/pro-odborniky/pamatky-a-pamatkova-pece/zakony-mezinarodni-dokumenty/>>.
- [3] MINISTERSTVO VNITRA ČESKÉ REPUBLIKY. *Sbírka zákonů a Sbírka mezinárodních smluv* [aplikace online]. Praha: Ministerstvo vnitra České republiky. ©2010 [cit. 2014-01-30]. Dostupné z: <<http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/>>.
- [4] NÁRODNÍ PAMÁTKOVÝ ÚSTAV. Zákon č. 20 ze dne 30. března 1987 o státní památkové péči. *Národní památkový ústav* [online]. ©2003-2014, poslední revize 12.1.2014 [cit. 2014-01-30]. Dostupné z: <<http://www.npu.cz/zakon-o-statni-pamatkove-peci/>>.
- [5] MIKULKA, J. Osobnosti/prof. RNDr. Jan Jelínek, DrSc. *Encyklopedie dějin města Brna* [online]. poslední revize 17.8.2013 [cit. 2014-01-30]. Dostupné z: <http://encyklopedie.brna.cz/home-mmb/?acc=profil_osobnosti&load=2874>.
- [6] UNESCO. About us/Who we are/History. *UNESCO* [online]. ©2012 [cit. 2014-01-31]. Dostupné z: <<http://www.unesco.org/new/en/unesco/about-us/who-we-are/history/>>.
- [7] ICOM. Who we are/The Organisation. *ICOM* [online]. ©2010-2012 [cit. 2014-01-31]. Dostupné z: <<http://icom.museum/the-organisation/history/founders/>>.
- [8] ICOMOS. About ICOMOS/ICOMOS Missions and Visions/History. *ICOMOS* [online]. ©2011 [cit. 2014-01-31]. Dostupné z: <<http://www.icomos.org/en/about-icomos/mission-and-vision/history>>.
- [9] ICOMOS. Charters and other doctrinal texts. *ICOMOS* [online]. ©2011 [cit. 2014-01-31]. Dostupné z: <<http://www.icomos.org/en/charters-and-texts>>.
- [10] NÁRODNÍ PAMÁTKOVÝ ÚSTAV. *Mezinárodní dokumenty o ochraně kulturního dědictví, I. svazek*. 1. vydání. Praha: STOPRO, 2007. 236 s. ISBN 978-80-87104-14-9. Dostupné také z: <<http://www.npu.cz/pro-odborniky/pamatky-a-pamatkova-pece/zakony-mezinarodni-dokumenty/mezinarodni-dokumenty/>>.
- [11] NÁRODNÍ PAMÁTKOVÝ ÚSTAV. *Národní památkový ústav* [online]. ©2003-2014, poslední revize 27.1.2014 [cit. 2014-02-02]. Dostupné z: <<http://www.npu.cz/>>.
- [12] SMUTNÝ, M. a kolektiv. *Energetická efektivnost' obnovy historických budov*. 1. vydání. Bratislava: Vydavateľstvo Eurostav, spol. s r. o., 2005. 216 s. ISBN 80-969024-8-2.

- [13] HRADY.CZ CESTUJTE S PŘEHLEDEM. Brechembogen, pohled na lovecký zámek kresba Z. Procházka. *Hrady.cz* [online]. ©1995-2014, [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <<http://www.hrady.cz/?OID=1157&PARAM=2>>. ISSN 1803-0076.
- [14] ICOMOS. About ICOMOS/ICOMOS Missions and Visions/Documentation centre. *ICOMOS* [online]. ©2011-2014 [cit. 2014-08-08]. Dostupné z: <<http://www.icomos.org/en/about-icomos/mission-and-vision/icomos-mission/documentation-centre>>.
- [15] GIRSA, V. *Předprojektová příprava a projektová dokumentace v procesu péče o stavební památky*. 1. vydání. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. 167 s. ISBN 80-01-02990-5.
- [16] KAŠIČKA, F. *Stavebně historický průzkum*. 1. vydání. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. 121 s. ISBN 80-01-02498-9.
- [17] RAZÍM, V. (vedoucí autorského kolektivu), *Národní památkový ústav: Odborné a metodické publikace, svazek 31: Operativní průzkum a dokumentace historických staveb*. 1. vydání. Praha: Národní památkový ústav, 2005. 111 s. ISBN 80-86516-18-0. Dostupné také z: <<http://www.npu.cz/download/1137070742/met31opd.pdf>>.
- [18] ATELIER ŽIDLICKÝ. Vila Tugendhat, Věda a výzkum/Průběh památkové obnovy/Září 2011. *Vila Tugendhat* [online]. ©2010-2014, [cit. 2014-07-21]. Dostupné z: <<http://www.tugendhat.eu/cz/prubeh-pamatkove-obnovy/zari-2011.html>>.
- [19] MACEK, P. *Státní ústav památkové péče: Odborné a metodické publikace, svazek 23: Standardní nedestruktivní stavebně-historický průzkum*. 2., doplněné vydání. Praha: Státní ústav památkové péče, 2001. 48 s. (Pozn. vydáno jako příloha časopisu *Zprávy památkové péče*, ročník 61, ISSN 1210-5538). ISBN 80-86234-22-3. Dostupné také z: <<http://www.npu.cz/download/1303382813/met23shp.pdf>>.
- [20] HIRŠ, J., GEBAUER, G. *Vzduchotechnika v příkladech – 1*. 1. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM[®], s.r.o., 2006. 230 s. ISBN 80-7204-486-9.
- [21] ČERNÝ, M., NĚMEČEK, M. *Národní památkový ústav: Odborně metodické publikace, svazek 39: Mikroklima v historických interiérech*. 1. vydání. Praha: Národní památkový ústav, 2011. 72 s. ISBN 978-80-87104-82-2. Dostupné také z: <<http://www.npu.cz/download/1325692185/elpubl120104-meto-mikroklima.pdf>>.
- [22] UNESCO World Heritage Centre. *UNESCO World Heritage Centre* [online]. ©1992-2014 [cit. 2014-08-08]. Dostupné z: <<http://whc.unesco.org/>>.
- [23] ČERNÝ, M. a kol., *BIM příručka*. 1. vydání, Praha: Odborná rada pro BIM, 2013. 84 s. ISBN 978-80-260-5297-5. Dostupné také z: <<http://issuu.com/czbim/docs/bim-prirucka-2013-v1>>

- [24] BEXEL CONSULTING. Technology/Important Concepts/VCD/BIM. *Bexel consulting* [online]. ©2014, [cit. 2014-10-31]. Dostupné z: <<http://www.bexelconsulting.com/technology/vdcbim.aspx>>.
- [25] CABSCAD. News and updates/Building Information Modeling. *cabsCAD* [online]. ©1990-2014, [cit. 2014-10-31]. Dostupné z: <http://www.cabs-cad.com/news/about_BIM/>.
- [26] METODICKÉ CENTRUM KONZERVACE. Metodika/Metodické pokyny/Doporučení, metodické návody. *Metodické centrum konzervace* [online]. ©2014, [cit. 2014-10-16]. Dostupné z: <<http://mck.technicalmuseum.cz/metodicke-pokyny>>.
- [27] PŘÍHODA, J., SKŘIVAN, P., HRUŠKOVÁ, M. *Cereální chemie a technologie I – cereální chemie, mlýnská technologie, technologie výroby těstovin*. 1. vydání (dotisk 2006). Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2004. 200 s. ISBN 80-7080-530-7. Dostupné také z: <http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_isbn-80-7080-530-7/pdf/067.pdf>.
- [28] NĚMEČEK, M., PAPEŽ, K. Úprava vzduchu v historických objektech. *Vytápění, větrání, instalace*, 2001, 10. ročník, č. 4, s. 150 – 158. ISSN 1210-1389.
- [29] CENTNEROVÁ, L., HENSEN, J. L. M. Energetické simulace tradičního a adaptivního modelu tepelné pohody. *Vytápění, větrání, instalace*, 2001, 10. ročník, č. 4, s. 179 – 182. ISSN 1210-1389.
- [30] WIKIPEDIA THE FREE ENCYCLOPEDIA. Hypocaust. *Wikipedia* [online]. ©2014, poslední revize 2. 5. 2014 [cit. 2014-07-03]. Dostupné z: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Hypocaust>>.
- [31] SHELF 3D. 10 – Velarium – the Colosseum Revealed Documentary – Antonio Scona. *Shelf3d* [online]. ©2013 [cit. 2014-07-03]. Dostupné z: <http://shelf3d.com/bg5RI8q_S4c#10 - Velarium - the Colosseum Revealed Documentary - Antonio Scona>.
- [32] ARCHINECT DISCUSSION FORUM. How does wind influence a house design?. *Archinect* [online]. [cit. 2014-07-03]. Dostupné z: <<http://archinect.com/forum/thread/90594/how-does-wind-influence-a-house-design>>.
- [33] ČUPR, K., GÖTZ, J., GEBAUER, G. *Aplikovaná fyzika pro technická zařízení budov*. 1. vydání. Brno: Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1991. 194 s. ISBN 80-214-0266-0.
- [34] KLIMEŠ, L. *Slovník cizích slov*. 6. přepracované a doplněné vydání. Praha: SPN – pedagogické nakladatelství, a. s., 2002. 862 s. ISBN 80-7235-023-4.

- [35] DRÁBKOVÁ, S. *Mechanika tekutin*. 1. vydání. Ostrava: Ediční středisko VŠB-TUO, 2007. 257 s. ISBN 978-80-248-1508-4. Dostupné také z: <<http://www.338.vsb.cz/PDF/Drabkova-Mechanikatekutin.pdf>>.
- [36] HALLIDAY, D., RESNICK, R., WALKER, J. *Fyzika: Vysokoškolská učebnice obecné fyziky, část 2: Mechanika – Termodynamika*. Redakce českého překladu Jan Obdržálek a Petr Dub. Dotisk 1. českého vydání. Brno: VUTIUM, 2003. Edice Překlady vysokoškolských učebnic, svazek 1. Z anglického originálu *Fundamentals of Physics Fifth Edition Extended*, 1997, John Wiley & Sons, Inc. ISBN 80-214-1868-0.
- [37] CHYSKÝ, J., HEMZAL, K. a kol. *Větrání a klimatizace*. 3. vydání. Brno: BOLIT – B press Brno, 1993. 560 s. Technický průvodce; sv. 31. ISBN 80-901574-0-8.
- [38] HALLIDAY, D., RESNICK, R., WALKER, J. *Fyzika: Vysokoškolská učebnice obecné fyziky, část 1: Mechanika*. Redakce českého překladu Jana Musilová, Jan Obdržálek a Petr Dub. Dotisk 1. českého vydání. Brno: VUTIUM, 2003. Edice Překlady vysokoškolských učebnic, svazek 1. Z anglického originálu *Fundamentals of Physics Fifth Edition Extended*, 1997, John Wiley & Sons, Inc. ISBN 80-214-1868-0.
- [39] GÄRTNEROVÁ, M., LAIN, M., URIE, M. Historické systémy větrání. *Vytápění, větrání, instalace*, 2001, 10. ročník, č. 4, s. 159 – 162. ISSN 1210-1389.
- [40] ŠPAČKOVÁ, L., *Historické systémy TZB*. Brno, 2010. 17. s. Pojednání k disertační práci. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technických zařízení budov. Školitel: Doc. Ing. Jiří Hirš, CSc.
- [41] MAUREROVÁ, L., HIRŠ, J. Historické budovy a jejich systémy TZB. *Sborník přednášek 11. Letní školy TZB 2013*. 1. vydání. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2013. s. 65 - 71. ISBN 978-80-260-4001-9.
- [42] GUT, P., ACKERKNECHT, D. *Climate responsive building: Appropriate Building Construction in Tropical and Subtropical Regions*. 1st edition. Switzerland: SKAT, 1993. ISBN 3-908001-39-0. Dostupné také z: <<http://www.nzdl.org/gsdldmod?e=d-00000-00---off-0envl--00-0---0-10-0---0---0direct-10---4-----0-11--11-en-50---20-about---00-0-1-00-0-0-11-1-0utfZz-8-00-0-0-11-10-0utfZz-8-00&a=d&c=envl&cl=CL1.1&d=HASH7fb3fd71d302d3efdf64e.4.3>>.
- [43] WIKIPEDIA THE FREE ENCYCLOPEDIA. Punkah. *Wikipedia* [online]. ©2014, poslední revize 2. 5. 2014 [cit. 2014-07-23]. Dostupné z: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Punkah>>.
- [44] ALPERSON-AFIL, N. Archeology of fire: Methodological aspects of reconstructing fire history of prehistoric archeological sites. *Earth-Science Reviews*, July 2012, vol. 113, issues 3 - 4, p. 111 – 119. ISSN: 0012-8252, DOI:10.1016/j.earscirev.2012.03.012. Dostupné také z: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012825212000499>>.

- [45] ALPERSON-AFIL, N. Continual fire-making by Hominins at Geshar Benot Ya'aqov, Israel. *Quaternary Science Reviews*, September 2008, vol. 27, issues 17 – 18, p. 1733 - 1739. ISSN: 0277-3791, DOI:10.1016/j.quascirev.2008.06.009. Dostupné také z: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0277379108001480>>.
- [46] MAIEROVÁ, L. Český venkovský dům – knowhow prověřené staletími. *Sborník přednášek 7. Letní školy TZB 2009*. 1. vydání. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2009. s. 23 - 32. ISBN 978-80-02-02174-2.
- [47] VLK, V. *Krby*. 2. vydání. Praha: Grada, 2001. 144 s. ISBN-10: 80-247-0174-X.
- [48] *Juliodaluz.zip.net* [online]. [cit. 2014-10-03]. Dostupné z: <http://juliodaluz.zip.net/arch/2012-03-01_2012-03-31.html>.
- [49] HERITAGE GROUP WEBSITE FOR THE CHARTERED INSTITUTION OF BUILDING SERVICES ENGINEERS. Historical Equipment/Early development of Boilers – a Timeline/(1663-1782). *Heritage Group of the CIBSE* [online]. ©2001-2013, poslední revize leden 2015 [cit. 2014-10-06]. Dostupné z: <<http://www.hevac-heritage.org/equipment/timeline-boilers/1663-1782/1663-1782.htm>>.
- [50] JANDA, Z. Zkušební otázky z oboru topenářství pro tovaryšské zkoušky: Nízkotlaké parní vytápění. *Topenářství instalace: Časopis pro vytápění, instalace, vzduchotechniku a ekologii*. 2003, roč. 37, č. 5, s. 76 - 77. ISSN 1211-0906. Dostupné také z: <<http://www.topin.cz/download.php?idx=72293&di=7>>.
- [51] WIKIPEDIA THE FREE ENCYCLOPEDIA. Central heating. *Wikipedia* [online]. ©2014, poslední revize 12. 8. 2014 [cit. 2014-10-04]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Central_heating>.
- [52] FERRIS, F. J. The Perkins Family. *Heritage Group Website of the CIBSE* [online]. ©2001-2013, poslední revize říjen 2002 [cit. 2014-10-04]. Dostupné z: <http://www.hevac-heritage.org/victorian_engineers/perkins/perkins.htm#ludlow>.
- [53] CIHLÁŘ, J., GEBAUER, G., POČINKOVÁ, M. *Technická zařízení budov: Ústřední vytápění I: Cvičení, ateliérová tvorba*. 1. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM[®], s.r.o., 1998. 238 s. ISBN 80-214-1142-2.
- [54] SCHLEGER, E. Přednášky/Zelená architektura – úvod do problematiky. *FA ČVUT* [online]. [cit. 2012-07-14]. Dostupné z: <<http://www.fa.cvut.cz/Cz/Predmety/521EKL1>>
- [55] MAUREROVÁ, L., HIRŠ, J. Prvky solární architektury ve vile Tugendhat. *Sborník přednášek 10. Letní školy TZB 2012*. 1. vydání. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2012. s. 45 - 50. ISBN 978-80-02-02396-8.




- [56] ŠEVČÍKOVÁ, L., KLÍMOVÁ, S., ČUPROVÁ, D. Pasivní solární energie – nové trendy. *TZB-info* [online]. 14. 11. 2003, [cit. 2012-07-14]. Dostupné z: <<http://www.tzb-info.cz/1705-pasivni-solarni-energie-nove-trendy>>. ISSN 1801-4399.
- [57] WISE HOME DESIGN. Passive Solar House Plans: The Essentials. *Wise Home Design* [online]. ©2011, [cit. 2012-07-14]. Dostupné z: <<http://www.wisehomedesign.com/passive-solar-house-plans.html>>.
- [58] KOHOUTKOVÁ, A. Historické principy aerodynamiky exteriéru pro přirozené větrání budov. *Sborník přednášek 11. Letní školy TZB 2013*. 1. vydání. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2013. s. 27 - 36. ISBN 978-80-02-02475-0.
- [59] WIKIPEDIA L'ENCICLOPEDIA LIBERA. Domus. *Wikipedia* [online]. ©2014, poslední revize 21. 6. 2014 [cit. 2014-10-06]. Dostupné z: <<http://it.wikipedia.org/wiki/Domus>>.
- [60] LAN. Courthouse Saint-Malo, France. *LAN* [online]. ©2010, [cit. 2014-10-06]. Dostupné z: <<http://www.lan-paris.com/projects/index/id/68>>.
- [61] SEBERA, M., *Vybrané kapitoly z metodologie*. 1. vydání, Brno: Masarykova univerzita, 2012. ISBN 978-80-210-5963-4. Dostupné také z: <<http://www.fsps.muni.cz/~tvodicka/data/reader/book-8/04.html>>.
- [62] U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. Office of Energy Efficiency & Renewable Energy/Efficiency/Buildings/Building Energy Software Tools Directory. *Energy.gov* [online]. ©2002, poslední revize 3. 11. 2014 [cit. 2015-01-19]. Dostupné z: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/>.
- [63] DANISH BUILDING RESEARCH INSTITUTE. *SBi: BSim - User's Guide* [CD-ROM, upgrade online s licenci]. Verze 7.13.10.1. Hørsholm: Danish Building Research Institute, SBi, Aalborg University, 2013, [cit. 2015-01-22].
- [64] BAJER, M., KALA, J. Kovové konstrukce, kámen. *Sborník příspěvků Lednice na Moravě Zámecký palmový skleník*. 1. vydání. Brno: Státní památkový ústav v Brně, 2002. s. 110 – 137. ISBN 80-85032-90-2.
- [65] ATELIER ŽIDLICKÝ. Vila Tugendhat, Fotogalerie 2010. *Vila Tugendhat* [online]. ©2010-2014, [cit. 2014-07-14]. Dostupné z: <<http://www.tugendhat.eu/cz/fotogalerie/fotogalerie-2010.html>>.
- [66] Kolektiv autorů. *Sborník příspěvků Lednice na Moravě Zámecký palmový skleník*. 1. vydání. Brno: Státní památkový ústav v Brně, 2002. s. 218. ISBN 80-85032-90-2.
- [67] BENZA, M., KASTYL, M. SPŠ Stavební Brno/Projekt Socrates/1.Architektura/Přehled staveb/Funkcionalismus/Vila Tugendhat. *SPŠ Stavební Brno* [online]. Šk. rok 2001/2002

- [cit. 2014-07-22]. Dostupné z: <http://www.spsstavbrno.cz/dokumenty/Socrates/html/cz/stavby/vila_tugendhat_cz.html#authors>.
- [68] TICHÝ, V. a kol. Památková obnova vily Tugendhat z hlediska technického. *Inženýrská komora 2013: Zvláštní vydání časopisu České komory autorizovaných inženýrů a techniků*. Březen 2013, č. 308, s. 24 – 37.
- [69] GALILEO CORPORATION, S.R.O. Zámek Lednice/Prohlídkové trasy/Knižecí apartmány/Obrazová galerie/Ložnice Sofie Esterhazy . *Oficiální stránky Zámku Lednice* [online]. ©2014, [cit. 2009-07-15]. Dostupné z: <<http://www.zamek-lednice.com/obrazova-galerie/knizeci-apartmany/>>.
- [70] FERRIS, F. J. A short and varied history about John Grundy. *Heritage Group Website of the CIBSE* [online]. ©2001-2013, poslední revize srpen 2014 [cit. 2014-08-04]. Dostupné z: <http://www.hevac-heritage.org/victorian_engineers/grundy/grundy.htm>.
- [71] CZAJKOWSKI, P., MAZAL, P., ČEŠKOVÁ, L., HOLÁSEK, V. *Státní zámek Lednice: podzemní objekty, historické kanalizační štolky*. Brno, 2012. Stavebně historický průzkum. AAA STUDIO, s. r. o. architektonická kancelář.
- [72] CROFTON BEAM ENGINES. The Lancashire Boiler. *Crofton Beam Engines* [online]. [cit. 2015-02-02]. Dostupné z: <<http://www.croftonbeamengines.org/page18.html>>.
- [73] KARIMZADEH, A., SHAHRIARI, S., KARIMZADEH, J. The Role of Wind-Catcher (Ba'd-gir) on Natural Ventilation in Hot and Arid Region in Iran (Case Study: Wind-Catcher Dowlat Abad Garden in Yazd). *Proceedings of CLIMA 2013 [flash disk]*. Praha: Společnost pro techniku prostředí (STP), 2013 [cit. 2014-07-30]. Paper ID 952. ISBN 978-80-260-4001-9.
- [74] THE WEATHER CHANNEL, LLC. LKTB - letiště Tuřany, Česko. *Weather Underground* [online]. ©2015, [cit. 2010-11-15]. Dostupné z: <<http://www.wunderground.com>>.
- [75] KILIAN, R. *Klimastabilität historischer Gebäude – Bewertung hygrothermischer Simulationen im Kontext der Präventiven Konservierung*. Stuttgart, 2013. Dissertation. Universität Stuttgart. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart.
- [76] EN BAU SA. Dämmung & Fassade/Dämmung/Dämmstoffe/Dämmstoffmuseum. *En Bau Sa* [online]. [cit. 2015-02-15]. Dostupné z: <http://www.enbausa.de/fileadmin/user_upload/Banner/Broschueren/Daemmstoffmuseum.pdf>.
- [77] DELCAMPE INTERNATIONAL. Postcard/Topics/Advertising/AK Poggenhagen, Dämmstoff Torfoleum-Platten, Heizkörper-Nischen mit - & ohne Torfoleum. *Delcampe* [online]. ©2000-2015, [cit. 2015-02-15]. Dostupné z: <<http://www.delcampe.net/page/item/id,231676564,var,AK-Poggenhagen-Dammstoff-Torfoleum-Platten-Heizkorper-Nischen-mit--ohne-Torfoleum,language,E.html>>.

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA 1	Přehled použitých dataloggerů se specifikací jejich technických parametrů	136
PŘÍLOHA 2	Způsob sestavení okrajových podmínek pro h-x diagramy	136
PŘÍLOHA 3	Další podrobnosti o systému vytápění teplým vzduchem v Lednickém zámku	140
PŘÍLOHA 4	Palmový skleník v Lednici – lokalizace zděných kanálů s parním potrubím	141
PŘÍLOHA 5	Vila Tugendhat – doplňující informace ke skladbám obvodových stěn	142
PŘÍLOHA 6	Výstup cíle 2 – Vyplněná KARTA BUDOVY a KARTA MÍSTNOSTI ..	144
PŘÍLOHA 7	Zaznačení osazení dataloggerů ve vile Tugendhat	147

PŘÍLOHA 1 – Přehled použitých dataloggerů se specifikací jejich technických parametrů
Tab. 6.3.1.0 Tabulka technických parametrů použitých dataloggerů [zdroj: autor]

Výrobní označení loggeru/ technické parametry	S3120		R3120		OM-EL-USB-2	
Výrobce	COMET		COMET		OMEGA	
Foto [zdroj: www.cometsystem.com, www.omega.com]						
Měřené veličiny	teplota t	relativní vlhkost φ (RH)	teplota t	relativní vlhkost φ (RH)	teplota t	relativní vlhkost φ (RH)
Rozsah provozních teplot	- 30 až + 70 °C		- 30 až + 80 °C		- 35 až + 80 °C	
Měřicí rozsah	- 30 až + 70 °C	neuveďeno	- 30 až + 80 °C	neuveďeno	- 35 až + 80 °C	0 až 100 %
Rozlišení hodnot	0,1 °C	0,1 %	0,1 °C	0,1 %	0,5 °C	0,5 %
Přesnost měření	$\pm 0,4$ °C	$\pm 2,5$ % (od 5 do 95 % při 23 °C)	$\pm 0,4$ °C	$\pm 2,5$ % (od 5 do 95 % při 23 °C)	$\pm 0,5$ °C	$\pm 3,5$ % (od 20 do 80 %)
Přesnost měření teploty rosného bodu	1,5 °C (při $t < 25$ °C a $RH > 30$ %; rozsah - 60 až + 70 °C)		1,5 °C (při $t < 25$ °C a $RH > 30$ %; rozsah - 60 až + 70 °C)		± 2 °C (od 40 do 100 % RH při 25 °C)	
LCD displej	ano		ne		ne	
Status indikátor	ne		ano		ano	
Spuštění	automaticky (SW), magnetem		automaticky (SW), magnetem		automaticky (SW)	
Interval záznamu	plný režim	10 s až 24 hod.	plný režim	10 s až 24 hod.	10 s až 12 hod.	
	úsporný režim	1 min. až 24 hod.	úsporný režim	1 min. až 24 hod.		
Kapacita paměti	32 000		32 000		16 000	16 000
Mód	cyklický (přepis nejstarších hodnot novými)		cyklický (přepis nejstarších hodnot novými)			
Stahování dat	necyklický (Stop záznam)		necyklický (Stop záznam)		USB rozhraní, vlastní SW	
	USB rozhraní, vlastní SW		USB rozhraní, vlastní SW			

PŘÍLOHA 2 – Způsob sestavení okrajových podmínek pro h-x diagramy z Obr. 5.2.2.9
Přehled veličin použitých v h-x diagramech:

- I_z – stav vnitřního vzduchu v zimním období
- E_z – stav venkovního vzduchu v zimním období
- P_z – stav přiváděného (upraveného) vzduchu v zimním období
- Q_o – velikost potřebného topného výkonu ohřívače (W)
- Φ_i – celková tepelná ztráta obytné haly (W)
- $t_{i,z}$, $t_{e,z}$, $t_{p,z}$ – teplota vnitřního, venkovního a přiváděného vzduchu (°C)
- $\varphi_{i,z}$, $\varphi_{e,z}$ – relativní vlhkost vnitřního a venkovního vzduchu (%)
- $x_{i,z}$, $x_{e,z}$, $x_{p,z}$ – měrná vlhkost vnitřního, venkovního a přiváděného vzduchu (g/kg)

Parametry stavů vzduchu I_z a E_z jsou v obou h-x diagramech stanoveny statistickou metodou z reálně naměřených hodnot (t (°C) a φ (%)) v zimním období přelomu roku 2009 a 2010 (viz Obr. 6.3.1.1 a Obr. 6.3.1.3).

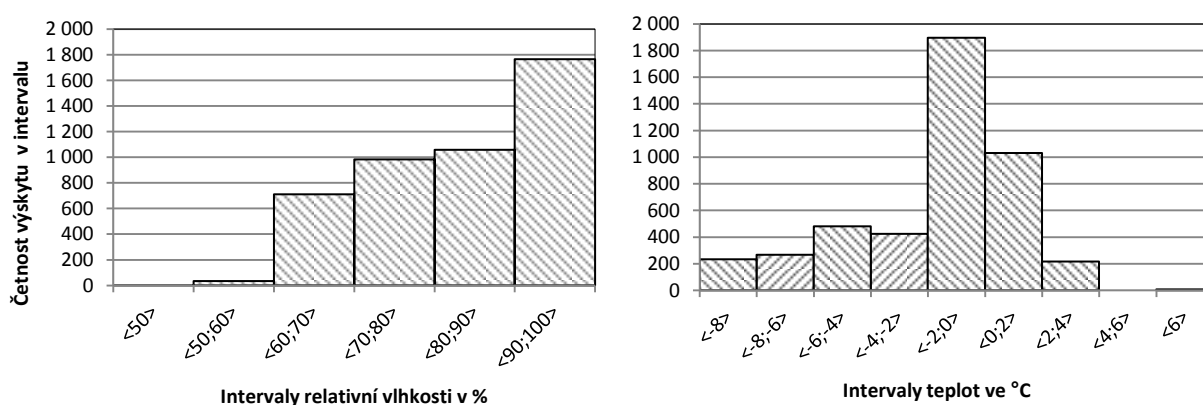
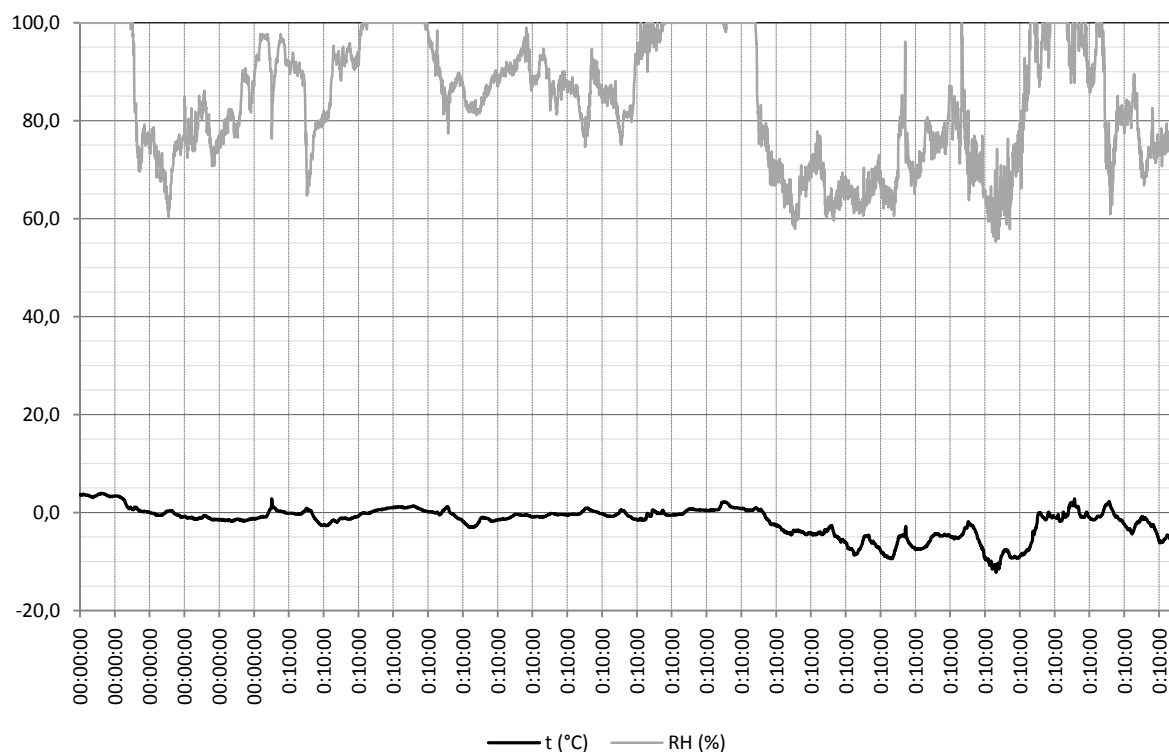
Specifikace vstupních hodnot pro I_z a E_z :

I_z : $t_{i,z} = 17 \text{ }^\circ\text{C}$ (z histogramu četnosti na Obr. 6.3.1.3 vpravo dole)

$\varphi_{i,z} = 45 \text{ } \%$ (z histogramu četnosti na Obr. 6.3.1.3 vlevo dole)

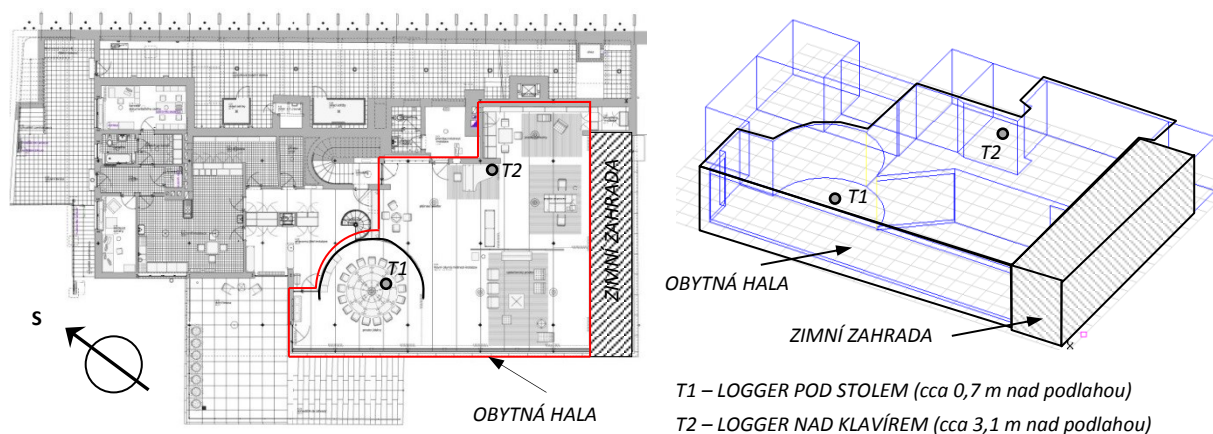
E_z : $t_{e,z} = -1 \text{ }^\circ\text{C}$ (z histogramu četnosti na Obr. 6.3.1.1 vpravo dole)

$\varphi_{e,z} = 90 \text{ } \%$ (z histogramu četnosti na Obr. 6.3.1.1 vlevo dole)

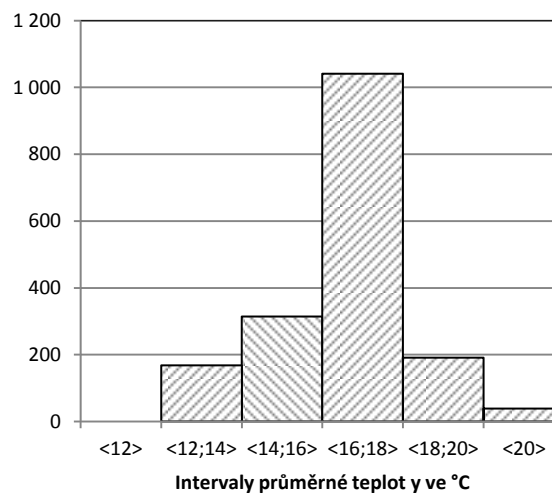
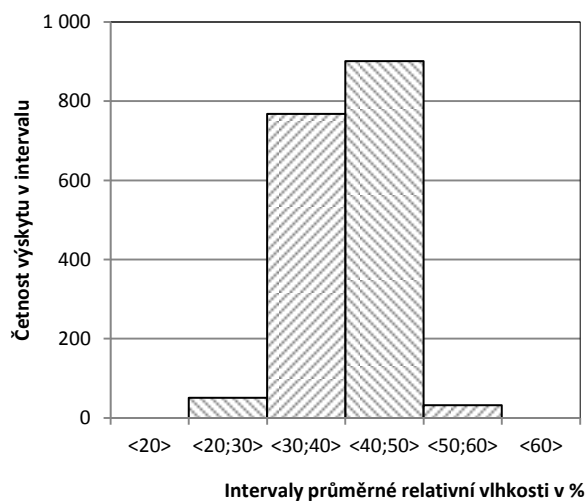
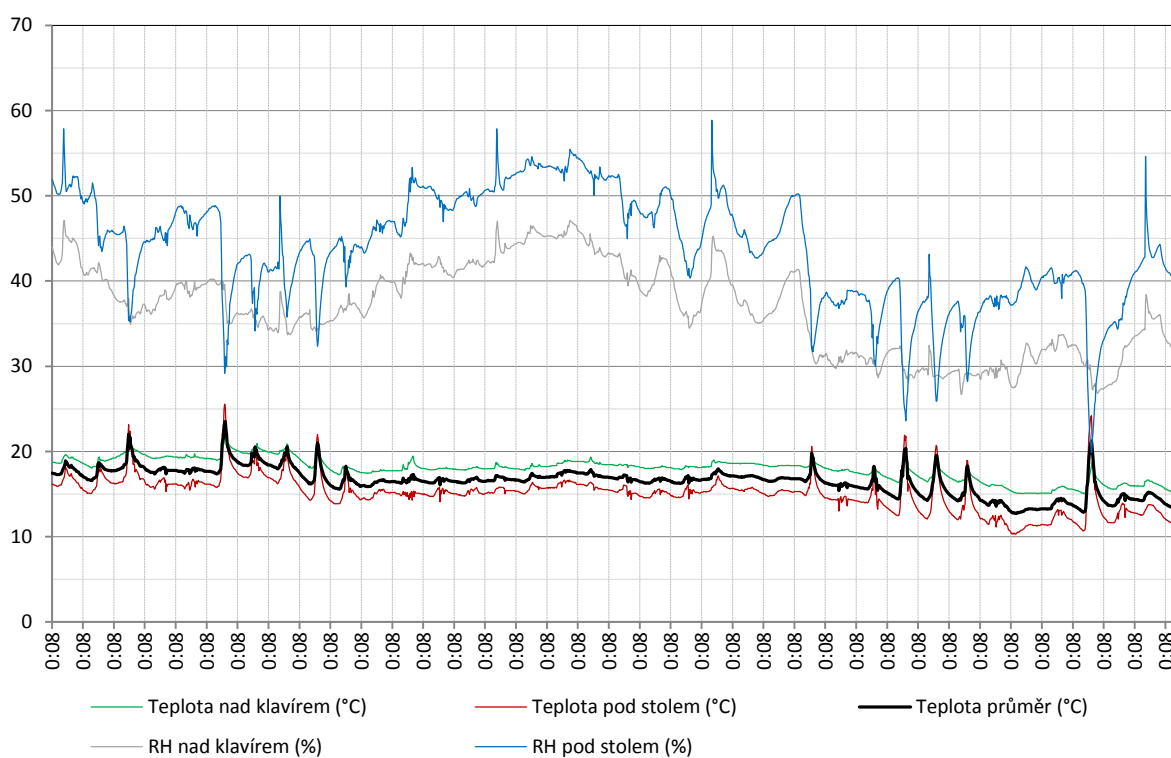


Obr. 6.3.1.1 Vila Tugendhat - záznam průběhu měřené venkovní teploty a relativní vlhkosti v období 1. 1. až 1. 2. 2010 (nahore); histogram četnosti relativní vlhkosti (vlevo dole); histogram četnosti teploty (vpravo dole) [zdroj: autor]

Na Obr. 6.3.1.2 je zobrazeno umístění dataloggerů v obytné hale. Tyto dataloggerly zaznamenávaly teplotu t ($^\circ\text{C}$) a relativní vlhkost vzduchu φ (%). Záznam probíhal ve třicetiminutovém intervalu. Z naměřených hodnot byly stanoveny průměrné hodnoty.



Obr. 6.3.1.2 Vila Tugendhat – lokalizace loggerů v obytné hale [zdroj: autor]



Obr. 6.3.1.3 Vila Tugendhat - záznam průběhu měřené vnitřní teploty a relativní vlhkosti na vyznačených stanovištích v období 1. 12. 2009 až 6. 1. 2010 (nahore); histogram četnosti průměrné relativní vlhkosti (vlevo dole); histogram četnosti průměrné teploty (vpravo dole)
[zdroj: autor]

Specifikace vstupních hodnot pro P_z :

Parametry stavu vzduchu P_z (přiváděný) byly stanoveny z následujícího výpočtu:

Okrajové podmínky

- Objemový průtok vzduchu zařízením: $V = 5\,000\text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} = 1,39\text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- Výpočtová měrná hmotnost vzduchu: $\rho = 1,2\text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
- Výpočtová měrná tepelná kapacita vzduchu: $c = 1\,010\text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- Maximální topný příkon ohřivače vzduchu (zdroj [68]): $Q_{o,\max} = 70\,000\text{ W}$

Stanovení teploty přiváděného vzduchu $t_{p,z}$

$$Q = V \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{p,z} - t_e) \Rightarrow t_{p,z} = \frac{Q}{V \cdot \rho \cdot c} + t_e$$

$$t_{p,z} = \frac{70000}{1,39 \cdot 1,2 \cdot 1010} + (-1) = 40,55^\circ\text{C}$$

P_z : $t_{p,z} = 40,55^\circ\text{C}$ (z výpočtu)

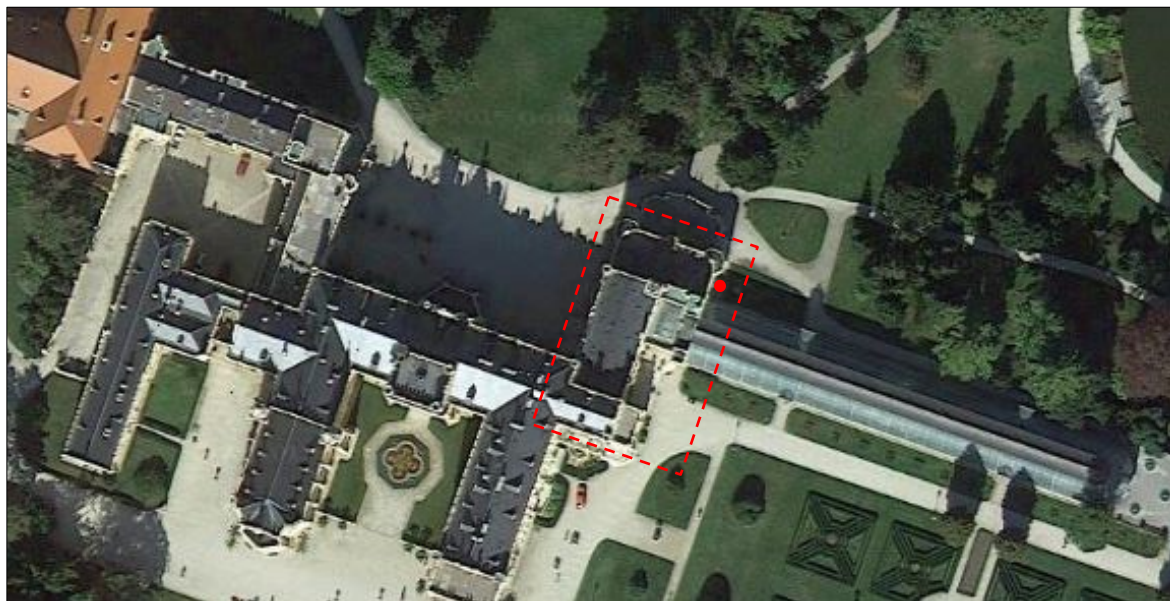
$$x_{p,z} = x_{i,z} \text{ (předpoklad pro cirkulační provoz)}$$

$$x_{p,z} = x_{e,z} \text{ (předpoklad pro provoz ventilační I.)}$$

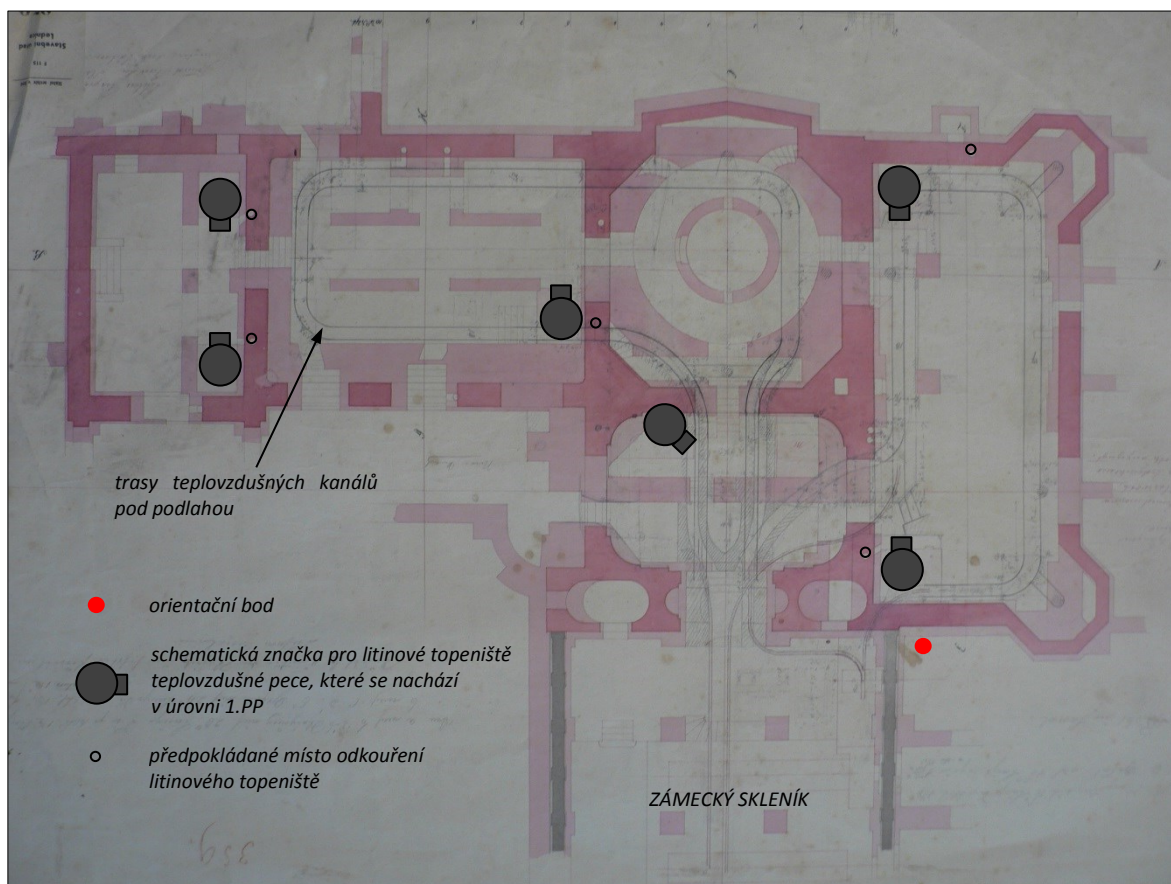
V případě provozu ventilační I. předpokládám, že přiváděný vzduch P_z bude v interiéru zvlhčen o hodnotu $\Delta x = x_{i,z} - x_{p,z}$ (g/kg). Zvlhčení by bylo prakticky realizováno otevřením dveří do zimní zahrady.

Konkrétní hodnoty celkové tepelné ztráty ϕ_i vyčíslovány nebyly. Zákres úprav do h-x diagramů vychází pouze z naměřených hodnot parametrů vzduchu a z maximálního topného výkonu ohřivače.

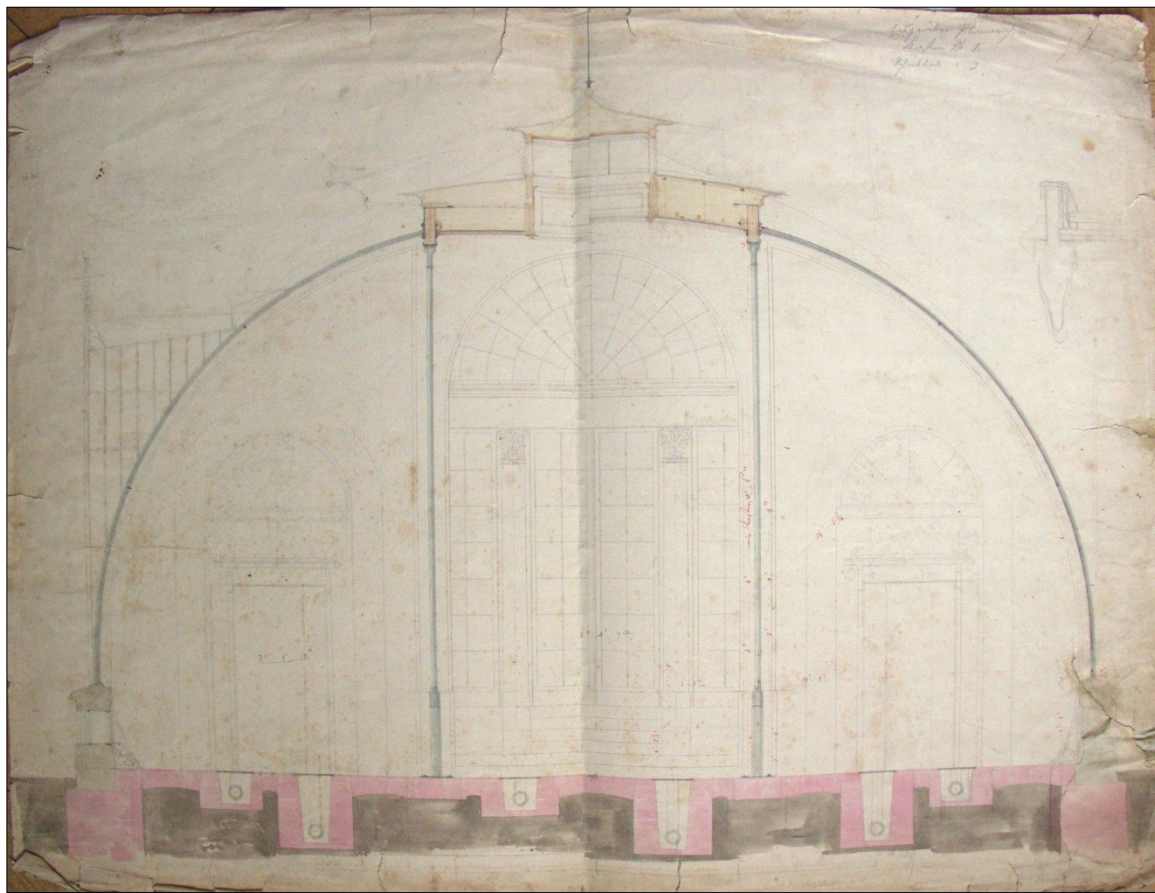
PŘÍLOHA 3 – Další podrobnosti o systému vytápění teplým vzduchem v Lednickém zámku



Obr. 6.3.1.4 Letecký snímek zámku Lednice s lokalizací východního křídla a orientačním bodem pro následující obrázek [zdroj: Google maps, upraveno: autor]



Obr. 6.3.1.5 Půdorys přízemí východního křídla zámku Lednice (návrh stavebních úprav z roku 1846) se zaznačením tras teplovodních kanálů vedených pod podlahou [zdroj: [71], originální dokument: Moravský zemský archiv v Brně F115 i. č. 2756, upraveno: autor]

PŘÍLOHA 4 – Palmový skleník v Lednici - lokalizace zděných kanálů s parním potrubím

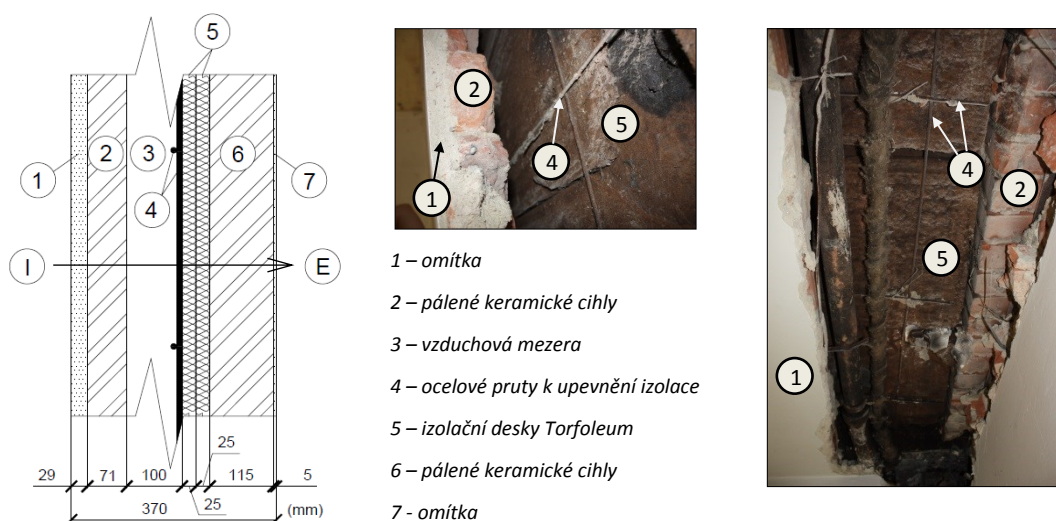
Obr. 6.3.1.6 Dochovaný řez zámeckým skleníkem se značením podpodlahových zděných kanálů, ve kterých byly uloženy potrubní rozvody parního vytápění [zdroj: [71]]



Obr. 6.3.1.7 Palmový skleník v Lednici - pohled na mřížky zděného kanálu, ve kterém jsou skryty teplovodní registry – současný stav (vlevo) [zdroj: autor]; The Palm House of Belfast - topný kanál s pochozí mřížkou – teplovodní systém instalovaný firmou Musgrave & Co Ltd. of Belfast [zdroj: [49]]

PŘÍLOHA 5 – Vila Tugendhat – doplňující informace ke skladbám obvodových stěn.

V objektu se nacházejí izolované obvodové zdi v tloušťkách cca 330 mm, 370 mm a 420 mm. Nestandardního rozměru bylo pravděpodobně dosaženo skladbou stěny z cihel tzv. “německého formátu”, kde jmenovitý rozměr cihly je 240/115/71 mm (rozměr klasické cihly pálené je 290/140/65 mm). Německý formát cihel (dnes známý jako Normalformát) v té době produkovaly všechny brněnské cihelny. Skladba jedné z obvodových stěn je znázorněna na obrázku Obr. 6.3.1.8.



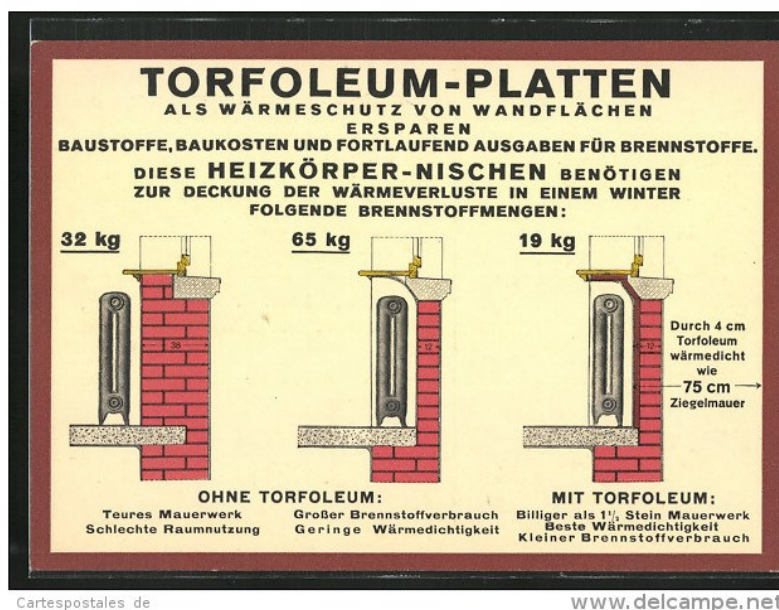
Obr. 6.3.1.8 Skladba obvodové stěny tloušťky 370 mm (vlevo), fotodokumentace odkryté části stěny při památkové obnově v letech 2010 – 2012 (uprostřed a vpravo) [zdroj: autor]

Ve skladbě obvodových stěn je použita tepelná izolace z lisovaných rašelinových desek s jutovými vlákny a hovězí srstí tzv. Torfoleum. Jedná se o materiál vyráběný v Německu. Informace o jeho tepelně-technických vlastnostech jsem našla online na webových stránkách společnosti En Bau Sa (Energetisch Bauen und Sanieren) viz odkaz [76]. Jedná se o databázi materiálů zpracovanou institutem IPeG (Institut für Produktentwicklung und Gerätebau). Výřez z části databáze se specifikací vlastností Torfolea (též Torfplatten) je znázorněn na Obr. 6.3.1.9

IpeG-Institut		Überblick Dämmstoffmuseum																
Produktbezeichnung	Bild	Rohstoffe	Technische Daten							Spezifische Kennzahlen				Kosten (€/m²)	Lieferform	Entsorgung	Hersteller	
			Wärmeleitfähigkeit λ_e W/(m·K)	Wärmespeicherkapazität $J/(kg·K)$	Wasserdiffusionswiderstand μ	Rohdichte kg/m³	Baustoffklasse	Primärenergieinhalt kWh/m³	Wasserabweisende Wirkung	Setzungsverhalten	Fließfähigkeit	Schüttdichte kg/m³	Druckbelastbar					Körnigkeit
Seegras-Plattendämmstoff „Zosiera Dämm“		Hauptsächlichlich angeschwemmtes Seegras	0,045	2000	1-2	70-80	B2	k.A.	k.A.	k.A.	J.	J.	Ja	J.	100	Platten	kompostierbar, Deponie	seegras innovation
Torfplatten „Torfoleum“		Leichtbauplatten aus gepresstem und imprägniertem Torf	0,050	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	nein	J.	J.	J.	ja	J.	k.A.	Platten	Kompostierbar	Dyckerhoff
Zementummantelte Holzspäne „Climate Chips“ Einbaudämmstoff		Holzspäne, Zement	0,055	2100	1	50-100	B2	50	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	Sehr begrenzt	k.A.	75-100	Säcke/ Container	Deponie	Climate Chips GmbH

Obr. 6.3.1.9 Výňatek z databáze IPeG-Institut – na obrázku je označen izolační materiál tzv. Torfplatten (Torfoleum) [zdroj: [76]]

Dalším důkazem o existenci izolačních desek Torfoleum je dobová pohlednice na Obr. 6.3.1.10.



Obr. 6.3.1.10 Dobová pohlednice se znázorněním použité izolační desky Torfoleum [zdroj:[77]]

V tabulce níže jsou uvedeny odhadem stanovené tepelně-technické parametry jednotlivých vrstev obvodové stěny tl. 370 mm. Současně je na konci tabulky stanoven součinitel prostupu tepla U , z následujícího výpočtového vztahu:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{d}{\lambda} + R_{se}} = \frac{1}{R_{si} + R_T + R_{se}} \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1})$$

Tab. 6.3.1.0 Stanovení součinitele prostupu tepla pro obvodovou stěnu tl. 370 mm [zdroj: autor]

Vrstva č.	Název	d (m)	λ ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)	c ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)	ρ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	μ (-)
1	Omítka vnitřní	0,029	0,800	850,0	1 600,0	12,0
2	Zdivo z CP pálených (německý formát)	0,071	0,800	900,0	1 700,0	8,5
3	Uzavřená vzduchová mezera	0,100	0,588	1 010,0	1,2	0,1
4	Izolační desky "Torfoleum"	0,050	0,050	1 150,0	350,0	9,0
5	Zdivo z CP pálených (německý formát)	0,115	0,800	900,0	1 700,0	8,5
6	Omítka vnější	0,005	0,99	790,0	2 000,0	19,0

0,370

Tepelný odpor konstrukce (bez zohlednění přestupu tepla na vnitřní a vnější straně stěny)	R_T ($\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$)	1,44
Tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce	R_{si} ($\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$)	0,13
Tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce	R_{se} ($\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$)	0,04
Součinitel prostupu tepla posuzované konstrukce	U ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$)	0,62

PŘÍLOHA 6 – Výstup cíle 2 – Vyplněná KARTY BUDOVY a KARTY MÍSTNOSTI

Systemy TZB v nemovitých památkách - Disertační práce KARTA BUDOVY - základní popis systémů TZB-V Ing. Lenka Maurerová

Základní informace o provozu BUDOVY a jejich systémech TZB-V
 (vytápění, větrání a klimatizace, stínění) Název akce: **VILA TUGENDHAT (DOBA VÝSTAVBY 1930)**

Současné systémy používané v budově:

VYTÁPĚNÍ: ano ne PŘÍROZENÉ VĚTRÁNÍ: ano ne NUCENÉ VĚTRÁNÍ: ano ne STÍNĚNÍ: ano ne

Původní systémy používané v budově:

VYTÁPĚNÍ: ano ne PŘÍROZENÉ VĚTRÁNÍ: ano ne NUCENÉ VĚTRÁNÍ: ano ne STÍNĚNÍ: ano ne

PROVOZ BUDOVY	SOUCASNÝ	PŮVODNÍ
PROVOZNI DOBA	léto po - zavřeno po - pá: 07 - 19 ⁰⁰ so - ne: 10 - 18 ⁰⁰	zima - - - - - - - -
PRŮMĚRNÁ DENNÍ NÁVŠTĚVNOST	po - pá: so - ne:	
PROHLÍDKOVÉ OKRUHY	I, II, III	- - - -
MAX. POČET NÁVŠTĚVNÍKŮ VE SKUPINĚ	15	- - - -
FREKVENCE PROHLÍDEK	1 x za HOD.	- - - -
ENERGONOSITELE VSTUPJÍCÍ DO BUDOVY	<input checked="" type="checkbox"/> elektřina <input checked="" type="checkbox"/> plyn <input type="checkbox"/> jiné <input checked="" type="checkbox"/> teplo (CZT) <input type="checkbox"/> dřevo <small>(pozn. specifikace jiných energonositelů, výpis měřičů (elektroměry atp.) + tarify)</small>	<input checked="" type="checkbox"/> elektřina <input type="checkbox"/> plyn <input checked="" type="checkbox"/> jiné KOKS <input type="checkbox"/> teplo (CZT) <input type="checkbox"/> dřevo <small>(pozn. specifikace jiných energonositelů, dochované původní měřiče (elektroměry atp.)? Rok? Odkaz na fotodokumentaci.)</small>

1/3

Obr. 6.3.1.11 Výstup cíle 2 – první list vyplněné KARTY BUDOVY [zdroj: autor]

Systemy TZB v nemovitých památkách - Disertační práce KARTA BUDOVY - základní popis systémů TZB-V Ing. Lenka Maurerová

VYTÁPĚNÍ	SOUCASNÉ	PŮVODNÍ
POUŽITÉ SYSTÉMY	<input type="checkbox"/> lokální (pozn. specifikace v rámci místnosti) <input checked="" type="checkbox"/> centrální (pozn. doplnění informací o systému níže)	<input type="checkbox"/> lokální (pozn. specifikace v rámci místnosti) <input checked="" type="checkbox"/> centrální (pozn. doplnění informací o systému níže)
DLE TEPLONOSNÉ LÁTKY	<input type="checkbox"/> teplý vzduch <input checked="" type="checkbox"/> parní <input checked="" type="checkbox"/> teplovodní/horkovodní	<input type="checkbox"/> teplý vzduch <input type="checkbox"/> parní <input checked="" type="checkbox"/> teplovodní/horkovodní
TYP SOUSTAVY	<input type="checkbox"/> s přirozeným oběhem <input checked="" type="checkbox"/> s nuceným oběhem	<input checked="" type="checkbox"/> s přirozeným oběhem <input type="checkbox"/> s nuceným oběhem
ZDROJ(E) TEPLA (pozn. popis, odkazy na fotodokumentaci, náskry atp.)	VÝMĚNÍKOVÁ STANICE CZT PÁRA-VODA 2x LEŽATÝ TRUBKOVÝ VÝMĚNÍK	3x LITINOVÝ TEPELOVODNÍ ČLÁNEKOVÝ KOTEL
PALIVO	—	KOKS, UHLÍ
ROZVODY	OCELOVÉ POTRUBÍ	OCELOVÉ POTRUBÍ
IZOLACE ROZVODŮ	SKELNÁ VATA + HLINÍKOVÁ FOLIE	SKELNÁ VATA + ZAHRAŽENÝ SÁDROVÝH PORĚDEM + MATER
DALŠÍ ZAŘÍZENÍ (pozn. čerpadla, expanzní nádrhy, uložení potrubí atp.)	KONDENZÁTNI NÁDRŽ, ČERPADLA, ROZVODNÁ ČERPADLA NA ROZDĚLOVAČI, SBĚRAČ, PODSTAVNÉ VENTILY, VZVĚŠAČI, ARMATURY	OTEVŘENÁ EXPAZNÍ NÁDRŽ, ARMATURY, PODSTAVNÉ VENTILY, NÁDRŽ NA POPEL, MÍSTNOST NA USKLADNĚNÍ PALIVA
REGULACE, OKRUHY	VĚTVE NA ROZDĚLOVAČI, PŘÍPRAVA TV, OKRUHY TEPLÉ A SEKUNDAŘNÍ	TEPLOTNÍ TV, ROZDĚLOVAČ, SBĚRAČ
TEPLOTA VYTÁPĚNÍ, TEPLOTNÍ SPÁD	18°C	15 - 20°C
PROVOZ VYTÁPĚNÍ (pozn. útlum, plně)	ÚTLUM PŘES NOC + ZAVŘENÉ ZVY → 16°C	
SYSTÉM VYTÁPĚNÍ	<input checked="" type="checkbox"/> funkční <input type="checkbox"/> nefunkční	<input type="checkbox"/> nefunkční/dochovaný <input type="checkbox"/> funkční <input checked="" type="checkbox"/> nedochoval se

PŘÍROZENÉ VĚTRÁNÍ	SOUCASNÉ	PŮVODNÍ
TYPY	<input checked="" type="checkbox"/> infiltrace <input checked="" type="checkbox"/> provětrávání <input checked="" type="checkbox"/> šachtové <input type="checkbox"/> aerace	<input checked="" type="checkbox"/> infiltrace <input checked="" type="checkbox"/> provětrávání <input checked="" type="checkbox"/> šachtové <input type="checkbox"/> aerace
LOKALIZACE ŠACHET (pozn. odkazy na plány, náskry, fotodok.)	HOSPODÁŘSKÝ TRAKT, OTVOR V KŘÍŽE MÍSTNOSTI, ÚSTÍ, OTVORŮ U VSTUPU DO BUDOVY (PŘECHOD - STĚNA HOSPODÁŘ. TRAKTU PŘI PODLAŽE)	- - - -
FUNKČNOST ŠACHET	<input checked="" type="checkbox"/> funkční (průchodné) <input type="checkbox"/> nefunkční (zanesené, ucpané)	<input checked="" type="checkbox"/> funkční (průchodné) <input type="checkbox"/> nefunkční (zanesené, ucpané)

2/3

Obr. 6.3.1.12 Výstup cíle 2 – druhý list vyplněné KARTY BUDOVY [zdroj: autor]

KARTA BUDOVOY - základní popis systémů TZB-V

NUCENÉ VĚTRÁNÍ	SOUCASNÉ		PŮVODNÍ	
SYSTEM ZAJIŠŤUJÍCÍ	<input checked="" type="checkbox"/> výměnu vzduchu <input checked="" type="checkbox"/> klimatizaci	<input checked="" type="checkbox"/> teplovzdušné vytápění	<input checked="" type="checkbox"/> výměnu vzduchu <input checked="" type="checkbox"/> klimatizaci	<input checked="" type="checkbox"/> teplovzdušné vytápění
PROVÁDĚNÉ ÚPRAVY VZDUCHU	<input checked="" type="checkbox"/> ohřev <input checked="" type="checkbox"/> chlazení	<input checked="" type="checkbox"/> vlhčení <input type="checkbox"/> odvlhčování	<input checked="" type="checkbox"/> ohřev <input checked="" type="checkbox"/> chlazení	<input checked="" type="checkbox"/> vlhčení <input type="checkbox"/> odvlhčování
VENTILÁTOR (pozn. typ, výkon, obj. průtok, náskry, fotodokumentace atp.)	DITO PŮVODNÍ SYSTÉMY		ZADÍALNÍ S MOTOREM NE S PERSUCHMIDT 2 2. 1942 7 PŘÍKON 1,5 kW (3x400 V), VZDUCH. VÝKON cca 5000 m ³ /h KOLEOVÝ TRUMFIC PŘI VENTILÁTOREM	
ROZVODY (rozměry průřezů)	DITO PŮVODNÍ ROZVODY		OLEJOVÉ STYŘEBANNE POTEUBI, PŘEBUROVÉ SPOLZE	
IZOLACE ROZVODŮ	—		—	
SESTAVA JEDNOTKY VZT (pozn. schema, zařízení)	DITO PŮVODNÍ SESTAVA		PŘEVODNÍ KONOBA, KONOBA ADIABAT. VLHČENÍ, SMEŠOVACÍ KONOBA OLEJOVÝ FILTR (10"), HOBLINOVÝ FILTR (12"), KONOBA OHŘEVACÍ VENTILÁTOR, BRVOD DO MÍSTNOSTI, ODYD - CIRCULAČNÍ KONOBA ZVĚNÍ - PANEĽ V KONOBE S VENT. OUKAŘAČNÍ PANEĽ PŘES KLADKY, OPEVĚNÍ 0-100%	
REGULACE	DITO PŮVODNÍ		—	
MÍSTNOSTI S NUCENÝM VĚTRÁNÍM	DITO PŮVODNÍ		OBYTNÁ HALA, ZEMNÍ ZAHĚADA	
PROVOZ N. VĚTRÁNÍ	<input checked="" type="checkbox"/> ventilační <input type="checkbox"/> funkční	<input checked="" type="checkbox"/> cirkulační <input type="checkbox"/> nefunkční	<input checked="" type="checkbox"/> ventilační <input type="checkbox"/> nefunkční/dochovaný	<input checked="" type="checkbox"/> cirkulační <input type="checkbox"/> nefunkční
SYSTEM VĚTRÁNÍ	<input checked="" type="checkbox"/> funkční	<input type="checkbox"/> nefunkční	<input type="checkbox"/> nefunkční/dochovaný	<input checked="" type="checkbox"/> funkční <input type="checkbox"/> nedochoval se

3/3

Obr. 6.3.1.13 Výstup cíle 2 – třetí list vyplněné KARTY BUDOVOY [zdroj: autor]

KARTA MÍSTNOSTI - základní popis systémů TZB-V

Základní informace o provozu MÍSTNOSTI a jejích systémech TZB-V (vytápění, větrání a klimatizace, stínění) DATUM:		Označení místnosti: OBYTNÁ HALA	Název akce: VILA TUGENDHAT
Současné systémy používané v místnosti:			
VYTÁPĚNÍ: <input checked="" type="checkbox"/> ano <input type="checkbox"/> ne	PŘIROZENÉ VĚTRÁNÍ: <input checked="" type="checkbox"/> ano <input type="checkbox"/> ne	NUCENÉ VĚTRÁNÍ: <input checked="" type="checkbox"/> ano <input type="checkbox"/> ne	STÍNĚNÍ: <input checked="" type="checkbox"/> ano <input type="checkbox"/> ne
Původní systémy používané v místnosti:			
VYTÁPĚNÍ: <input checked="" type="checkbox"/> ano <input type="checkbox"/> ne	PŘIROZENÉ VĚTRÁNÍ: <input checked="" type="checkbox"/> ano <input type="checkbox"/> ne	NUCENÉ VĚTRÁNÍ: <input checked="" type="checkbox"/> ano <input type="checkbox"/> ne	STÍNĚNÍ: <input checked="" type="checkbox"/> ano <input type="checkbox"/> ne
PROVOZ	SOUCASNÝ		PŮVODNÍ
MÍSTNOST SOUČÁSTÍ	<input checked="" type="checkbox"/> letní trasy	<input checked="" type="checkbox"/> zimní trasy	(pozn. popsat původní účel místnosti; popsat režim užívání místnosti, je-li znám; orientační počet uživatelů, je-li znám; odkazy na zdroje informací)
SOUČÁST OKRUHU	I, II	I, II	HALA SLOUŽILA JAKO OBYTNÝ PROSTOR
PROVOZNÍ DOBA MÍSTNOSTI	po - pá: 07-18 so - ne: 10-18 ⁰⁰	—/—/—	FUNKČNĚ JE ROZDĚLENA DO TĚCH ČÁSTÍ - ZÍDENA - DOMAČÍ KANCELÁŘ - RELAXAČNÍ PROSTOR
FREKVENCE PROHLÍDEK	2x za hod	—/—/—	VÍCE INFORMACÍ VIZ MAPA: WWW.TUGENDHAT.EU
MAX. POČET NÁVŠTĚVNÍKŮ VE SKUPINĚ	15	—/—/—	
DĚLKA POBYTU SKUPINY	10 - 15 MIN.	—/—/—	
TEPLOTA A RELATIVNÍ VLHKOST V MÍSTNOSTI	léto t = 22-26 °C (skutečná) φ = 42-52 % t = 18±2 °C (optimální) φ = 50±5 %	zima t = 16-18 °C (skutečná) φ = 32-42 % t = 18±2 °C (optimální) φ = 50±5 %	léto t = 22-26 °C (původní) φ = 42-52 % zima t = 15-20 °C (původní) φ = 32-42 % (pozn. odhadem)
MATERIÁL UCHOVÁVANÝCH PŘEDMĚTŮ	DŘEVO, TEXTIL, KNIHY, SOCHY (pozn. zatlčení, odkazy) TRÉDA - MÍRNĚ AŽ STŘEDNĚ CITLIVÉ		
PROVEDENÉ OBNOVY STAVEB. KONSTRUKCI	PODLAŽNÍ - SOBELOVŮ BEHEMT NAHRAZEN V 80. LETECH BET. MAZ. S KARI SÍŤI, ŽILU LINOLEUM NAHRAZENO V 1945 XYLOLITEM, ŠEDÉHO DŘEVO NAHRAZENO ŽIVOU ŠE ZEBRANÁ (MRTVÁ) ŠE ZEBRA		

1/3

Obr. 6.3.1.14 Výstup cíle 2 – první list vyplněné KARTY MÍSTNOSTI [zdroj: autor]

KARTA MÍSTNOSTI - základní popis systémů TZB-V

VYTÁPĚNÍ		SOUČASNĚ		PŮVODNÍ		
MÍSTNOST JE	<input type="checkbox"/> nevytápěná	<input checked="" type="checkbox"/> vytápěná	<input type="checkbox"/> temperovaná	<input type="checkbox"/> nevytápěná	<input checked="" type="checkbox"/> vytápěná	<input type="checkbox"/> temperovaná
POUŽITÉ SYSTÉMY	<input type="checkbox"/> lokální	<input checked="" type="checkbox"/> centrální		<input type="checkbox"/> lokální	<input checked="" type="checkbox"/> centrální	
FUNKČNOST SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ	<input checked="" type="checkbox"/> funkční	<input type="checkbox"/> nefunkční		<input checked="" type="checkbox"/> funkční	<input type="checkbox"/> nefunkční	
ZDROJ(E) TEPLA (pozn. výkon, popis, fotodokumentace, nákresy, odkazy atp.)	---		LOKÁLNÍ SYSTÉM VYTÁPĚNÍ		---	
PALIVO (energonositel)	---				---	
ODTAH SPALIN (lokalizace komína)	---				---	
SPALOVACÍ VZDUCH (lokalizace přívodu)	---				---	
REGULACE, ÚTLUM	---				---	
TEPLOSMĚNNÁ PLOCHA	TRUBKOVÉ VÝMĚNÍKY UMÍSTĚNÉ TĚSNĚ MAD PODLAHOU		CENTRÁLNÍ SYSTÉM VYTÁPĚNÍ (navazuje na kartu budovy)		-//-	
LOKALIZACE TEPLOSM. PLOCHY	PŘED SPOUŠTĚCÍMI OENY HALY				-R-	
REGULACE TEPLOSM. PLOCHY	NEJEN!				-//-	
KONCOVÉ ELEMENTY (př. vytápění teplym vzduchem)	VYTÁPĚNÍ TĚLYM VEDUCÍM SOUČÁSTÍ VZT				-//-	
LOKALIZACE KONC. ELEM. REGULACE KONC. ELEMENTŮ						
PŘIROZENÉ VĚTRÁNÍ		SOUČASNĚ		PŮVODNÍ		
	<input checked="" type="checkbox"/> infiltrace	<input checked="" type="checkbox"/> provětrávání	<input type="checkbox"/> infiltrace	<input checked="" type="checkbox"/> provětrávání		
TYPPY	<input type="checkbox"/> šachtové	<input type="checkbox"/> aerace	<input type="checkbox"/> šachtové	<input type="checkbox"/> aerace		
VELIKOST A LOKALIZACE OTVORŮ						
FUNKČNOST SYSTÉMU	<input checked="" type="checkbox"/> funkční	<input type="checkbox"/> nefunkční	<input checked="" type="checkbox"/> funkční	<input type="checkbox"/> nefunkční		

2/3

Obr. 6.3.1.15 Výstup cíle 2 – druhý list vyplněné KARTY MÍSTNOSTI [zdroj: autor]

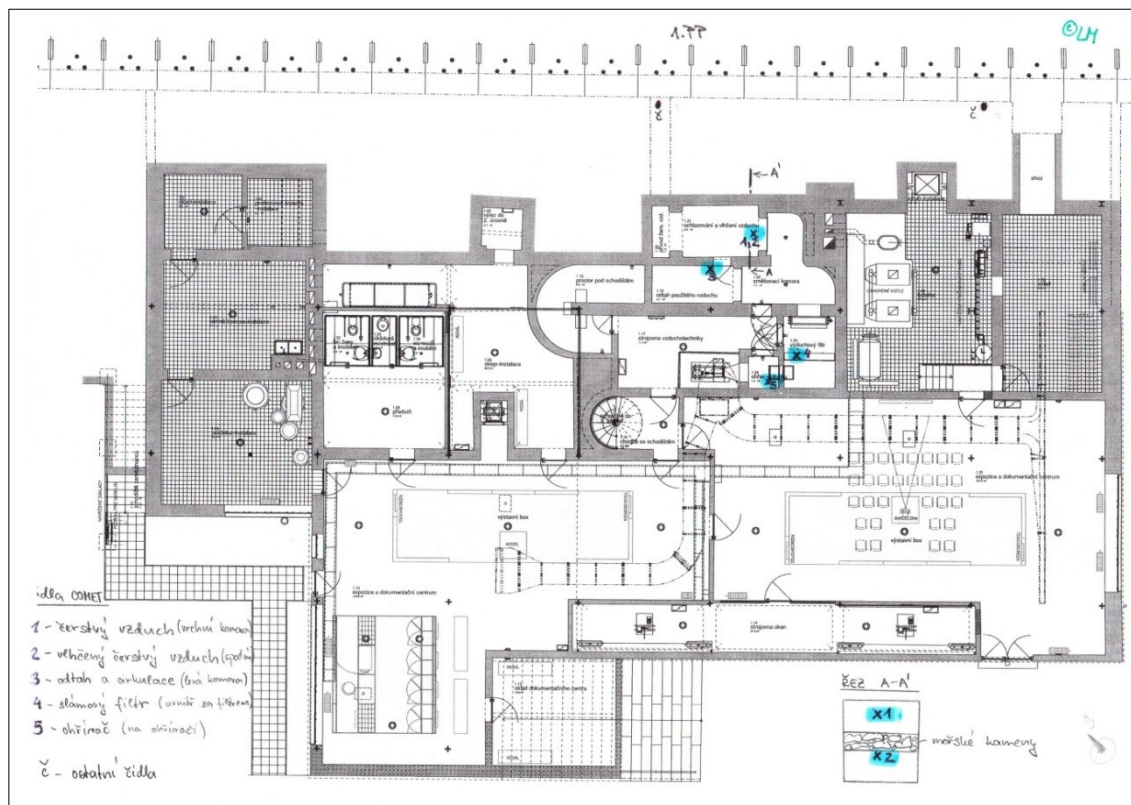
KARTA MÍSTNOSTI - základní popis systémů TZB-V

NUCENÉ VĚTRÁNÍ		SOUČASNĚ		PŮVODNÍ			
TLAKOVÉ POMĚRY PŘI VĚTRÁNÍ MÍSTNOSTI	<input type="checkbox"/> rovnotlaké	<input checked="" type="checkbox"/> přetlakové	<input type="checkbox"/> podtlakové	<input type="checkbox"/> rovnotlaké	<input checked="" type="checkbox"/> přetlakové	<input type="checkbox"/> podtlakové	<input type="checkbox"/> ???
TYP PŘÍVODNÍCH ELEMENTŮ (pozn. lokalizace, rozměry čelní plochy, velikost volného průřezu, regulace, obj. průtok - odhad, měření)	<p>HEŽÍROVÉ OBJEKTIVOVÉ VÝVĚSTKY:</p> <p>1) V PŘÍDLARĚ PŘED ZIMNÍ ZAHŘADOU (OV STĚNA)</p> <p>2) V OBVOD. STĚNĚ U VSTUPU NA TERASU V HORNÍM Z/3 (SĚ STĚNA)</p> <p>LOKALIZACE + ROZMĚRY VIZ VÝKRESY</p>		LOKÁLNÍ SYSTÉM VĚTRÁNÍ		-//-		
TYP ODVODNÍCH ELEMENTŮ (pozn. lokalizace, rozměry čelní plochy, velikost volného průřezu, regulace, obj. průtok - odhad, měření)	<p>OBJEKTIVOVÁ HEŽÍROVÁ VÝVĚSTKA - U DVEŘÍ NA SCHODISĚ (SPODNÍ TŘETINA STĚNY)</p> <p>ČÁST VEDUCÍM UMĚRA STĚNAMI DO OSTATNÍCH PROSTORŮ A DO EXTERIÉRU</p> <p>LOKALIZACE VIZ VÝKRESY</p>				-//-		
FUNKČNOST SYSTÉMU N. VĚTRÁNÍ	<input checked="" type="checkbox"/> funkční	<input type="checkbox"/> nefunkční			<input checked="" type="checkbox"/> funkční	<input type="checkbox"/> nefunkční	
ORIENTACE STÍNĚNÝCH OTVORŮ	ZE				ZE		
ŽALUZIE (materiál, barva, popis)	<input type="checkbox"/> vnitřní	<input type="checkbox"/> vnější			<input type="checkbox"/> meziokenní	<input type="checkbox"/> vnitřní	<input type="checkbox"/> vnější
ROLETY (materiál, barva, popis)	<input type="checkbox"/> vnitřní	<input type="checkbox"/> vnější	<input type="checkbox"/> meziokenní	<input type="checkbox"/> vnitřní	<input type="checkbox"/> vnější	<input type="checkbox"/> meziokenní	
OKENICE (materiál, barva, popis)	<input type="checkbox"/> vnitřní	<input type="checkbox"/> vnější		<input type="checkbox"/> vnitřní	<input type="checkbox"/> vnější		
VNĚJŠÍ MARKÝZY (materiál, popis)	LÁTKOVÉ MARKÝZY S VÝCERNÍM PŘED ZE OENY		CENTRÁLNÍ SYSTÉM VĚTRÁNÍ		-//-		
VNĚJŠÍ SLUNOLAMY (materiál, popis)					-//-		
JINÝ TYP STÍNĚNÍ	VITĚNÍ ZACLONY A ZÁVĚSY				-//-		
OVĚŘOVÁNÍ STÍNĚNÝCH PRVKŮ	<input checked="" type="checkbox"/> ruční	<input type="checkbox"/> automatické			<input checked="" type="checkbox"/> ruční	<input type="checkbox"/> automatické	
FUNKČNOST STÍNĚNÍ	<input checked="" type="checkbox"/> funkční	<input type="checkbox"/> nefunkční			<input checked="" type="checkbox"/> funkční	<input type="checkbox"/> nefunkční	

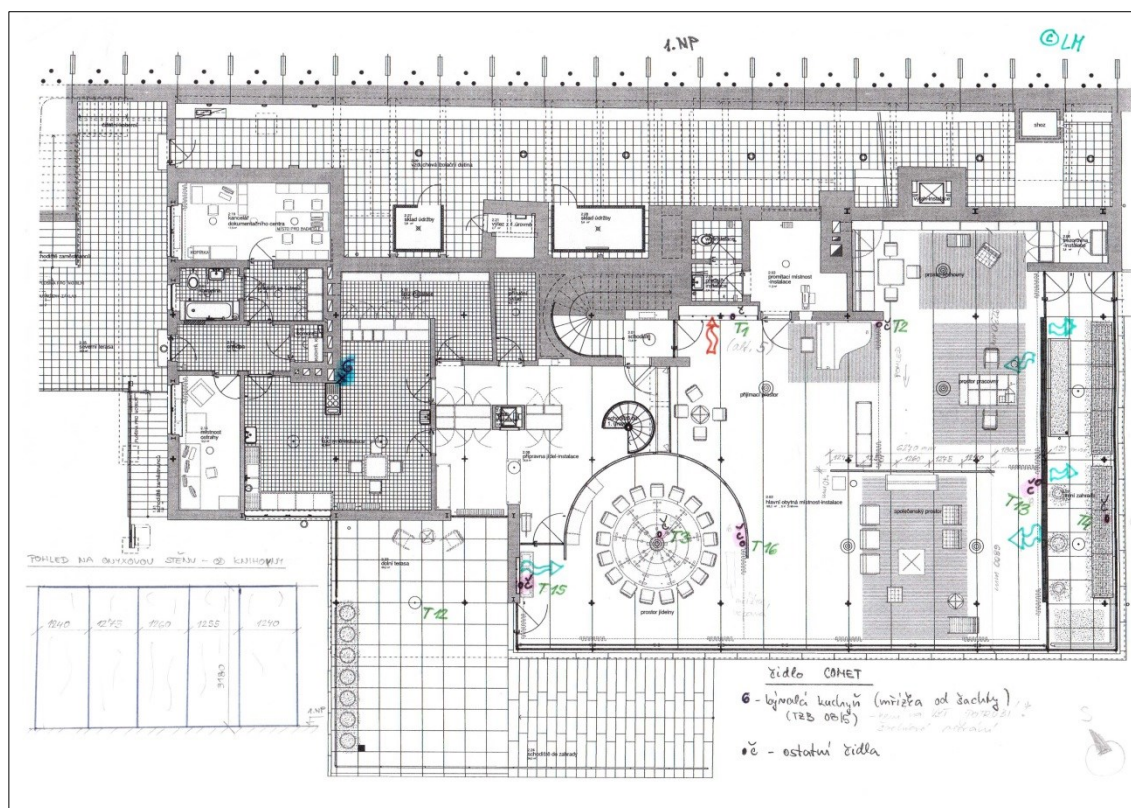
3/3

Obr. 6.3.1.16 Výstup cíle 2 – třetí list vyplněné KARTY MÍSTNOSTI [zdroj: autor]

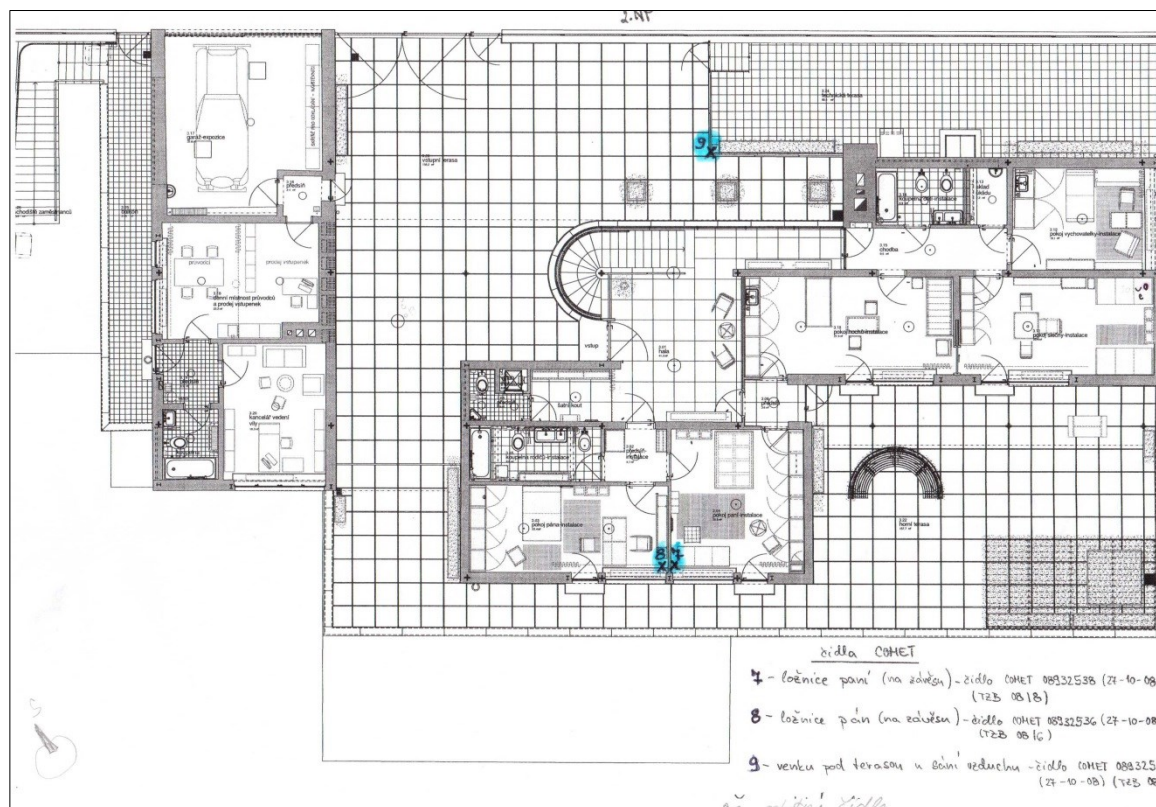
PŘÍLOHA 7 – Zaznačení osazení dataloggerů ve vile Tugendhat



Obr. 6.3.1.18 Vila Tugendhat 1.PP – osazená čidla TZB (1-5) [zdroj: autor]



Obr. 6.3.1.19 Vila Tugendhat 1.NP – osazená čidla TZB (6) a ostatní čidla jiného výzkumníka [zdroj: autor]



Obr. 6.3.1.20 Vila Tugendhat 2.NP – osazená čidla TZB (7-9) a ostatní čidla jiného výrobce
[zdroj: autor]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.1.1.0	Vývoj ochrany kulturních památek v Čechách a v zahraničí [zpracování: autor].....	20
Obr. 2.2.1.0	Časová osa vývoje jednotlivých přístupů k péči o památky s uvedením jejich nejvýznamnějších propagátorů [zdroj:[11][29], zpracování: autor]	21
Obr. 2.2.1.1	Schéma procesu péče o nemovité památky [zpracování: autor]	22
Obr. 2.3.1.0	Základní rozdělení průzkumů nemovitých památek do kategorií [zpracování: autor].....	24
Obr. 2.3.1.1	Zařazení komplexních průzkumů v chronologickém sledu fází procesu péče o nemovité památky [zpracování: autor].....	24
Obr. 2.4.1.0	Rozdělení památkového fondu ČR [zdroj:[11], zpracování: autor]	28
Obr. 2.4.1.1	Ukázka evidenčního listu nemovité kulturní památky [zdroj: NPÚ – ÚOP Brno]	29
Obr. 2.4.1.2	Struktura evidenčních seznamů dostupných z IS MonumNet [zdroj:[11], zpracování: autor]	29
Obr. 2.4.1.3	Struktura informačního systému IISPP [zdroj: [11], zpracování: autor].....	30
Obr. 2.4.2.0	Schéma vazeb mezi informačními sítěmi a jejich zakládajícími dokumentačními centry [zdroj: [14], zpracování: autor].....	31
Obr. 2.5.1.0	Znázornění procesu BIM v průběhu životního cyklu stavby (vlevo) [zdroj:[66]], znázornění vzájemných vazeb mezi jednotlivými zainteresovanými subjekty (vpravo) [zdroj:[67]]	32
Obr. 2.6.1.0	Obecné znázornění sorpční izotermy – množství absorbované vody na svislé ose bývá častěji vyjádřeno vlhkostí materiálu v % [zdroj: [41], upraveno: autor].....	35
Obr. 2.6.1.1	Znázornění doporučených oblastí stavu interního mikroklimatu – standardní hodnoty pro uchování uměleckých děl (menší, červeně vyšrafovaná oblast), doporučené rozmezí pro pobyt osob (větší, černě vyšrafovaná oblast) [zpracování: autor].....	36
Obr. 2.7.1.0	Dochované pozůstatky hypocaustu (vlevo nahoře) [zdroj: [19]], velarium na Římském koloseu (vlevo dole)[zdroj:[20]], větrací komín – wind catcher (vpravo) [zdroj:[21]]	37
Obr. 2.7.1.1	Znázornění uzavřené izolované termodynamické soustavy charakterizované vybranými stavovými veličinami teplotou T a relativní vlhkostí φ [zdroj: autor]	39
Obr. 2.7.1.2	Znázornění uzavřené termodynamické soustavy při přechodu z počátečního do koncového stavu, způsobeného změnou teploty [zdroj: autor].....	41
Obr. 2.7.1.3	Znázornění uzavřené termodynamické soustavy při přechodu z počátečního do koncového stavu (kroky 0-1-2), kdy ve stavu 1 dochází ke sdílení tepla a ke vzniku proudění vzduchu [zdroj: autor].....	43
Obr. 2.7.1.4	Přirozené větrání - schéma polouzavřené termodynamické soustavy s vyznačením proudnic v otvoru (vlevo), znázornění tlakových poměrů v otvoru při větrání (vpravo) [zdroj: autor].....	44
Obr. 2.7.1.5	Znázornění návětrné a závětrné strany budovy [zdroj: autor].....	45
Obr. 2.7.1.6	Znázornění proudu vzduchu protékajícího ohraničenými plochami S_1 a S_2 [zdroj: autor]	46
Obr. 2.7.2.0	Nejstarší doložený větrací systém egyptských staveb – půdorys horizontálního systému na sebe navazujících dutin pod dlažbou (vlevo) s vyznačeným detailem tesaného kamenného bloku, detail větrací dutiny ve střeše s napojením na zbytek systému pod dlažbou (vpravo nahoře), detail tesaného kamenného bloku s dutinami pro přívod vzduchu (vpravo dole) [zdroj: [28], upraveno: autor].....	48
Obr. 2.7.2.1	Schéma větrání infiltrací s naznačením proudění vzduchu (vlevo) a s naznačením tlakových poměrů ve větracím otvoru (vpravo) [zdroj: autor]	49

Obr. 2.7.2.2	Schéma provětrávání otevřeným oknem s naznačením proudění vzduchu (vlevo) a s naznačením tlakových poměrů ve větracím otvoru (vpravo) [zdroj: autor].....	49
Obr. 2.7.2.3	Schéma větrání aeraci s naznačením proudění vzduchu (vlevo) a s naznačením tlakových poměrů ve větraném prostoru (vpravo) [zdroj: autor].....	50
Obr. 2.7.2.4	Schéma šachtového větrání s naznačením proudění vzduchu (vlevo) a s naznačením tlakových poměrů v šachtě (vpravo) [zdroj: autor]	50
Obr. 2.7.2.5	Specifické podoby šachtového větrání – šachtové větrání podpořené účinkem solární energie - solární komín, šachtové větrání podpořené hybností větru – wind catcher [zdroj: [36]].....	51
Obr. 2.7.5.0	Schéma sálavého vytápění s naznačením přenosu tepelné energie [zdroj: autor].....	53
Obr. 2.7.5.1	Schéma vytápění horkým vzduchem pod podlahu tzv. hypocaust [zdroj: autor].....	54
Obr. 2.7.5.2	Schéma vytápění horkým vzduchem pod podlahu, používané v Koreji - tzv. ondol; vlevo řez budovou, vpravo půdorys budovy [zdroj: [56], upraveno: autor]	54
Obr. 2.7.5.3	Schéma vytápění teplým vzduchem – příklad jedné z variant provedení topeniště a zděné pece [zdroj: autor]	55
Obr. 2.7.5.4	Parní vytápění – řez kotlem používaným kolem roku 1788 (James Watt) (vlevo) [zdroj:[61], upraveno: autor], schéma modernější soustavy parního vytápění s umístěním otopných ploch do zděného kanálu (vpravo)[zdroj: autor].....	56
Obr. 2.7.5.5	Schéma soustavy teplovodního vytápění s přirozeným oběhem otopné vody od A. M. Perkinse [zdroj: [60], přeloženo a upraveno: autor]	57
Obr. 2.7.6.1	Schéma Sokratova domu [zdroj: autor]	58
Obr. 2.7.6.2	Základní prvky pasivního využití solární energie (orientace velkých prosklených ploch na jih, stínění v podobě přesahu střechy, akumulární jádro v podobě betonové podlahy s tepelnou izolací) [zdroj: [54]].....	59
Obr. 2.7.6.3	Příklady usměrnění proudění vzduchu pomocí výsadby vhodné vegetace v blízkosti budovy [zdroj: [36], přeloženo a upraveno: autor]	60
Obr. 2.7.6.4	Ukázka atriového domu s impluviem – lokalizace impluvia v půdorysu (vlevo) [zdroj:[62], upraveno: autor], řez atriovým domem se znázorněním větrání ochlazeným vzduchem (vpravo) [zdroj:[63], zpracování: autor]	60
Obr. 4.2.2.0	Přehled nejobvykleji sledovaných veličin IM nemovitých památek [zdroj: autor].....	69
Obr. 4.3.1.0	Chronologické řazení metod použitých pro řešení cíle 1 [zdroj: autor].....	70
Obr. 4.3.2.0	Chronologické řazení metod použitých pro řešení cíle 2 [zdroj: autor].....	71
Obr. 4.3.3.0	Chronologické řazení metod použitých pro řešení cíle 3 [zdroj: autor].....	71
Obr. 4.3.4.0	Chronologické řazení metod použitých pro řešení cíle 4 a) a b) [zdroj: autor].....	72
Obr. 5.1.2.0	Zachycení vzájemných vazeb při procesu vytvářejícím informační model nemovité památky [zdroj: autor]	75
Obr. 5.2.1.0	Časová osa s vyznačením přibližného přechodu mezi budovami historickými a soudobě významnými [zdroj: autor]	76
Obr. 5.2.2.0	Provětrávání oknem – Lednice na Moravě: větrání skleníku oknem v portálu (vlevo) [zdroj: [33]], větrání 2.NP zámku (uprostřed) [zdroj: autor], větrání obytné haly vily Tugendhat (vpravo) [zdroj: David Židlický [34]].....	80
Obr. 5.2.2.1	Příklad aerace – řez Zámeckým palmovým skleníkem v Lednici na Moravě se zvýrazněním aeračních otvorů a naznačeným prouděním větracího vzduchu[zdroj: autor].....	81

Obr. 5.2.2.2	Detaily aeračních otvorů Zámeckého palmového skleníku v Lednici na Moravě – přívodní a odváděcí aerační otvory (vlevo), detail přívodního aeračního otvoru v soklu (druhý zleva), detail odváděcího otvoru ve stropu - interiér (druhý zprava), detail odváděcího aeračního otvoru ve střeše (vpravo) [zdroj: autor]	81
Obr. 5.2.2.3	Krov nad Zámeckým palmovým skleníkem – detail kladkového mechanismu, který ovládá víko nad větracím otvorem ve stropě [zdroj: autor]	82
Obr. 5.2.2.4	Historická aula Fakulty stavební – původní otvory šachtového větrání [zdroj: autor]	82
Obr. 5.2.2.5	Vila Tugendhat – lokalizace personálního traktu [zdroj:[37]]	83
Obr. 5.2.2.6	Vila Tugendhat – půdorys 1.NP s vyznačením šachet pro šachtové větrání (vlevo) [zdroj: autor], fotografie s detailem odvodní mřížky v kuchyni a ve spíži (vpravo) [zdroj: autor].....	83
Obr. 5.2.2.7	Vstupní terasa vily Tugendhat - elipsou je vyznačeno zakončení větracích šachet v podobě otvorů vyústěných na vstupní terasu 2.NP [zdroj: David Židlický [35]].....	84
Obr. 5.2.2.8	Vila Tugendhat – schéma specifického systému nuceného větrání obytné haly a přilehlé zimní zahrady: 0 – přívod čerstvého vzduchu, 1 – komora pro přívod čerstvého vzduchu, 2 – komora adiabatického chlazení/vlhčení a mineralizace vzduchu, 3 – komora cirkulačního vzduchu, 4 – směšovací komora, 5 – olejový filtr (1. stupeň filtrace), 6 – hoblinový filtr (2. stupeň filtrace), 7 – teplovodní ohřívač, 8 – radiální ventilátor, A – odvodní obdélníková vyústka, B – přívodní podlahová vyústka s možností odklonění části proudu vzduchu do zimní zahrady, C – přívodní obdélníková vyústka [zdroj: autor]	85
Obr. 5.2.2.9	Mollierův h-x diagram – ohřev vzduchu při cirkulačním provozu (vlevo) a při provozu ventilačním I. (vpravo) – pozn. zde je naznačena možnost zvýšení měrné vlhkosti (Δx) v obytné hale otevřením dveří do zimní zahrady [zdroj: autor].....	86
Obr. 5.2.2.10	Vila Tugendhat – pohled do směšovací komory, kde je viditelný rozvod studené a teplé vody – v kroužku je vyznačen uzavírací ventil na potrubí studené vody, které vede do trysek pračky vzduchu (vlevo), pohled do revizního otvoru umístěného v cirkulační komoře – otvorem lze vidět registr pračky vzduchu – v kroužku je vyznačena tryska (uprostřed), detail roštu s moškovými kameny (vpravo) [zdroj: autor].....	86
Obr. 5.2.2.11	Vila Tugendhat – komponenty systému nuceného větrání: manuální regulační panel (vlevo), pohled na „regulační klapku“ komory cirkulačního vzduchu (uprostřed), pohled na otevřenou „regulační klapku“ komory cirkulačního vzduchu a na zavřené „regulační klapky“ komory čerstvého vzduchu /horní komora/ a chlazeného vzduchu /spodní komora/ (vpravo) [zdroj: autor]	87
Obr. 5.2.2.12	Výřez části půdorysu 2.NP budovy A - lokalizace historické auly a zasedacích místností [zdroj: projektová dokumentace – rekonstrukce budovy A; upraveno: autor]	88
Obr. 5.2.2.13	Schéma vzduchotechnické jednotky pro historickou aulu a přilehlé zasedací místnosti [zdroj: projektová dokumentace VUT Brno, Veveří 95, objekt “A”- Schéma technologie VZT 6 a 7; upraveno: autor].....	89
Obr. 5.2.2.14	Historická aula FAST – přívodní vyústky umístěné pod pódiem v přední části auly (vlevo), přívodní podlahové vyústky v zadní části auly (uprostřed), odvodní vyústky po obvodu auly ve 2/3 výšky místnosti – zvýrazněné elipsami (vpravo) [zdroj: autor].....	89
Obr. 5.2.2.15	Řez historickou aulou FAST – znázornění distribuce vzduchu přívodními a odváděcími vyústkami [zdroj: projektová dokumentace – rekonstrukce budovy A; upraveno: autor]	90

Obr. 5.2.2.16	Interiéry zámku Lednice s představiteli sálavého vytápění – krb v tyrkysovém sálu se zdobeným kozlíkem uvnitř (vlevo) [zdroj: autor], krb v červeném sálu se zábranou proti odlétání jisker (uprostřed) [zdroj: autor], sálavá kamna v ložnici Sofie Esterhazy, obsluhovaná z vedlejší místnosti (vpravo) [zdroj: [48]]	91
Obr. 5.2.2.17	Schematický řez krbem Lednického zámku [zdroj: autor]	91
Obr. 5.2.2.18	Schéma pece pro vytápění teplým vzduchem - patent č.2949 z roku 1864 registrovaný Johnem Grundym [zdroj: [49], upraveno: autor]	92
Obr. 5.2.2.19	Dochovaný řez V-křídla zámku Lednice s popisem jednotlivých částí navrhovaného systému vytápění teplým vzduchem [zdroj: [72][72], originální dokument: Moravský zemský archiv v Brně F115 i. č. 2637, upraveno: autor]	92
Obr. 5.2.2.20	Distribuční elementy pro vytápění teplým vzduchem – mřížka v podlaze chodby (vlevo), regulovatelná zdobená kruhová vyústka v podlaze sálu v poloze otevřeno (nahore uprostřed) a zavřeno (dole uprostřed), regulovatelná mřížková vyústka schovaná v obložení modrého sálu (vpravo) [zdroj: autor]	93
Obr. 5.2.2.21	Zámek Lednice 1.PP V-křídlo – dochované pozůstatky zděných pecí a kanálů pro rozvod teplého vzduchu, pod klenbou jsou nádoby na popel (zcela vlevo),boční pohled na příkládací a vybírací otvor topeniště s dochovanými dvířky (uprostřed vlevo) , čelní pohled na zděnou pec s dochovanými litinovými otvory do topeniště a spalinových cest (uprostřed vpravo), pohled na litinové topeniště (vpravo nahore), pohled ze spalovací komory litinového topeniště do zděné pece, kde je patrné napojení kouřovodu (vpravo dole) [zdroj: autor]	93
Obr. 5.2.2.22	Wilton's Music Hall, Londýn – čelní pohled na dochovanou Grundyho pec pro vytápění teplým vzduchem [zdroj: [49]]	94
Obr. 5.2.2.23	Dochovaný detailní nákras pece pro vytápění teplým vzduchem – patent J. Grundyho [zdroj: [49], upraveno: autor].....	94
Obr. 5.2.2.24	Dochovaný výkres kotelny s detailním rozkreslením technologie parních kotlů (červený rozvod značí kondenzátní potrubí) [zdroj: [72], upraveno: autor]	95
Obr. 5.2.2.25	Zvětšené výřezy z výkresu na Obr. 5.2.2.24 s označením jednotlivých částí parního systému a naznačením toku spalin ve spalinových cestách [zdroj: [72], upraveno: autor].....	96
Obr. 5.2.2.26	Parní kotel typu Lancashire z roku 1854, patentovaný Sirem Williamem Fairbairnem (1844) – čelní pohled (vpravo), podélný řez kotlem (vlevo)[zdroj: [61]]	97
Obr. 5.2.2.27	Prostorový pohled na parní kotle typu Lancashire s externí pecí, vyrobené Manchesterskou fabrikou Galloway (vlevo) [zdroj: [61]], pohled na větrací lucernu, pod kterou se nacházela původní parní kotelna [zdroj: autor]	97
Obr. 5.2.2.28	Vytápění ve vile Tugendhat – teplovodní kotelna zrestaurovaná při památkové obnově v letech 2010 - 2012 do původní podoby z doby výstavby [zdroj: David Židlický [35]].....	98
Obr. 5.2.2.29	Výměníková stanice CZT ve vile Tugendhat před památkovou obnovou – pohled na ležaté trubkové výměníky pára-voda (vpravo), nádrž na kondenzát a kondenzátní čerpadla (vlevo) [zdroj: autor]	99
Obr. 5.2.2.30	Příčný řez vilou Tugendhat se zaznačením jednotlivých prvků solární architektury [zdroj: autor]	100
Obr. 5.2.2.31	Stínící prvky ve vile Tugendhat – látkové markýzy nad JZ okny obytné haly (vlevo) [zdroj: David Židlický [35]], vnější dřevěné žaluzie ve 2.NP – pokoj paní (uprostřed), detail ovládání žaluzií (vpravo) [zdroj: autor].....	101

Obr. 5.2.2.32	Model vily Tugendhat (výstava v NTK v Praze, 2010) v pohledu z východní strany (vlevo) a ze západní strany (vpravo) [zdroj: autor]	102
Obr. 5.2.2.33	Uplatnění zeleně při tvorbě vnitřního klimatu budov – opadavý strom v zahradě vily Tugendhat v letním období (vlevo) [zdroj: [34]], tentýž pohled na strom v zimním období (uprostřed) [zdroj: [34]], pohled na Palmový skleník z východní strany, kde ze severní – pravé strany jsou vysázené vzrostlé neopadavé stromy (vpravo) [zdroj: [50]]	102
Obr. 5.2.2.34	Ukázka úpravy IM uvnitř budovy i v jejím blízkém okolí pomocí přirozeného systému větrání s adiabatickým chlazením vzduchu [zdroj: [36]]	103
Obr. 5.2.3.0	Ukázka druhého listu formuláře KARTA BUDOVY [zdroj: autor]	105
Obr. 5.2.3.1	Ukázka druhého listu formuláře KARTA MÍSTNOSTI [zdroj: autor]	105
Obr. 5.3.1.0	Příklad osazení „skrytých“ měřicích přístrojů ve strojovně vzduchotechniky vily Tugendhat – logger umístěný v kanále cirkulačního vzduchu, zavěšený na potrubí – místo nepřístupné návštěvníkům (vpravo nahoře), logger umístěný na zadní straně pilinového filtru – místo nepřístupné návštěvníkům (vpravo dole)[zdroj: autor]	107
Obr. 5.3.1.1	Vila Tugendhat – polní náčrt měření na onyxové stěně uprostřed obytné haly – místo je součástí prohlídkové trasy [zdroj: autor]	107
Obr. 5.3.1.2	Vila Tugendhat, půdorys 1.PP – záznam z terénu - osazení jednotlivých čidel [zdroj: autor] ..	108
Obr. 5.3.1.3	Ukázka záznamů z terénu – lokalizace osazených přístrojů (záznam vlevo dole), záznam termínů stahování dat a výměny dataloggerů (vlevo nahoře), záznam stavu baterií jednotlivých dataloggerů (vpravo) [zdroj: autor]	109
Obr. 5.3.2.0	Ukázka vyplněného formuláře určeného k dokumentaci dočasného měření parametrů interního mikroklimatu v nemovitých památkách [zdroj: autor]	111
Obr. 5.4.1.0	Vila Tugendhat - polní záznam informací z průzkumu staveniště v roce 2011 - podklad pro stanovení skladeb konstrukcí [zdroj: autor]	113
Obr. 5.4.1.1	Pracovní půdorys 1.NP vily Tugendhat - barevné rozdělení konstrukcí v závislosti na jejich skladbě a tloušťce; zakótování významných rozměrů [zdroj: autor]	114
Obr. 5.4.1.2	Vila Tugendhat - stručný přehled významných parametrů systémů TZB včetně základních informací o provozu budovy [zdroj: autor]	114
Obr. 5.4.1.3	Vila Tugendhat 1.NP – ukázka zjednodušování geometrie – lokalizace styčných bodů a stanovení souřadnic [zdroj: autor]	115
Obr. 5.4.1.4	Vila Tugendhat, vzájemné vazby mezi 1.PP, 1.NP a 2.NP (rozlišeno barvami) – ukázka zjednodušování geometrie – jednočarová síť s lokalizací styčných bodů a jejich souřadnic [zdroj: autor]	116
Obr. 5.4.1.5	Vila Tugendhat – geometrický model v simulačním nástroji BSim - geometrie zadávaná naráz, se zaznačením kolizí (vlevo nahoře); geometrie zadaná po patrech, před sloučením (vpravo nahoře); geometrie 1NP s uplatněním virtuálních zón (dole) [zdroj: autor]	116
Obr. 5.4.2.0	Ukázka zpracovaných dat z vily Tugendhat – naměřené průběhy teplot z jednotlivých stanovišť v období 7. 1. 2009 – 31. 3. 2009 [zdroj: autor]	118
Obr. 5.4.2.1	Klimatická data ze stanice Brno-Tuřany - graf průměrných ročních teplot (sloupcový) s průběhem maximálních a minimálních teplot pro jednotlivé roky (spojnicový) [zdroj:[76], zpracování: autor]	119
Obr. 5.4.2.2	Graf průběhů venkovních teplot v období 12. 7. – 20. 7. 2009 [zdroj: autor]	119

Obr. 5.4.2.3	Graf průběhů vnitřních teplot v obytné hale vily Tugendhat v období 17. 7. – 20. 7. 2009 [zdroj: autor]	120
Obr. 5.4.2.4	Vila Tugendhat, obytná hala - pohled na onyxovou stěnu z přední strany s lokalizací měřících čidel [zdroj: autor]	121
Obr. 5.4.2.5	Graf průběhů povrchových teplot na onyxové stěně v období 14. 7. – 15. 7. 2009 [zdroj: autor]	122
Obr. 5.4.2.6	Simulace oslunění obytné haly ve vile Tugendhat – dne 21. 12. ve 12 hod. (vlevo nahoře), dne 21. 12. v 9 hod. (vpravo nahoře), dne 21. 6. ve 12 hod. (vlevo dole), dne 21. 6. v 9 hod. (vpravo dole) [zdroj: autor]	123
Obr. 6.3.1.0	Trend spotřeby energie využívané na provoz nemovitých památek [zdroj: autor]	126
Obr. 6.3.1.1	Vila Tugendhat - záznam průběhu měření venkovní teploty a relativní vlhkosti v období 1. 1. až 1. 2. 2010 (nahore); histogram četnosti relativní vlhkosti (vlevo dole); histogram četnosti teploty (vpravo dole) [zdroj: autor]	137
Obr. 6.3.1.2	Vila Tugendhat – lokalizace loggerů v obytné hale [zdroj: autor]	138
Obr. 6.3.1.3	Vila Tugendhat - záznam průběhu měření vnitřní teploty a relativní vlhkosti na vyznačených stanovištích v období 1. 12. 2009 až 6. 1. 2010 (nahore); histogram četnosti průměrné relativní vlhkosti (vlevo dole); histogram četnosti průměrné teploty (vpravo dole) [zdroj: autor]	139
Obr. 6.3.1.4	Letecký snímek zámku Lednice s lokalizací východního křídla a orientačním bodem pro následující obrázek [zdroj: Google maps, upraveno: autor]	140
Obr. 6.3.1.5	Půdorys přízemí východního křídla zámku Lednice (návrh stavebních úprav z roku 1846) se zaznačením tras teplovodních kanálů vedených pod podlahou [zdroj: [72], originální dokument: Moravský zemský archiv v Brně F115 i. č. 2756, upraveno: autor]	140
Obr. 6.3.1.6	Dochovaný řez zámeckým skleníkem se zaznačením podpodlahových zděných kanálů, ve kterých byly uloženy potrubní rozvody parního vytápění [zdroj: [72]]	141
Obr. 6.3.1.7	Palmový skleník v Lednici - pohled na mřížky zděného kanálu, ve kterém jsou skryty teplovodní registry – současný stav (vlevo) [zdroj: autor]; The Palm House of Belfast - topný kanál s pochozí mřížkou – teplovodní systém instalovaný firmou Musgrave & Co Ltd. of Belfast [zdroj: [61]]	141
Obr. 6.3.1.8	Skladba obvodové stěny tloušťky 370 mm (vlevo), fotodokumentace odkryté části stěny při památkové obnově v letech 2010 – 2012 (uprostřed a vpravo) [zdroj: autor]	142
Obr. 6.3.1.9	Výňatek z databáze IPeG–Institut – na obrázku je označen izolační materiál tzv. Torfplatten (Torfoleum) [zdroj: [74]]	142
Obr. 6.3.1.10	Dobová pohlednice se znázorněním použité izolační desky Torfoleum [zdroj:[75]]	143
Obr. 6.3.1.11	Výstup cíle 2 – první list vyplněné KARTY BUDOVY [zdroj: autor]	144
Obr. 6.3.1.12	Výstup cíle 2 – druhý list vyplněné KARTY BUDOVY [zdroj: autor]	144
Obr. 6.3.1.13	Výstup cíle 2 – třetí list vyplněné KARTY BUDOVY [zdroj: autor]	145
Obr. 6.3.1.14	Výstup cíle 2 – první list vyplněné KARTY MÍSTNOSTI [zdroj: autor]	145
Obr. 6.3.1.15	Výstup cíle 2 – druhý list vyplněné KARTY MÍSTNOSTI [zdroj: autor]	146
Obr. 6.3.1.16	Výstup cíle 2 – třetí list vyplněné KARTY MÍSTNOSTI [zdroj: autor]	146
Obr. 6.3.1.18	Vila Tugendhat 1.PP – osazená čidla TZB (1-5) [zdroj: autor]	147
Obr. 6.3.1.19	Vila Tugendhat 1.NP – osazená čidla TZB (6) a ostatní čidla jiného výzkumníka [zdroj: autor]	147

Obr. 6.3.1.20 Vila Tugendhat 2.NP – osazená čidla TZB (7-9) a ostatní čidla jiného výzkumníka [zdroj: autor]
..... 148

SEZNAM TABULEK

Tab. 2.6.1.0	Ukázka rozmezí relativní vlhkosti a teploty, vycházející z požadavků pro různé kategorie vnitřního prostředí [zdroj: [32][40], zpracování: autor].....	36
Tab. 4.1.1.0	Tabulka s vyhodnocením výběru optimálního simulačního SW pro moji práci (+ vyjadřuje pozitivní hodnocení kritéria, - vyjadřuje negativní hodnocení) [zdroj: autor].....	67
Tab. 5.2.2.0	Možné provozní stavy nuceného větrání ve vile Tugendhat (nastavení regulačního panelu 0 – neaktivní, 1 – aktivní) [zdroj: autor].....	85
Tab. 5.4.3.0	Tabulka s vyhodnocením hlavních předností a nedostatků při tvorbě geometrického modelu pro PC simulaci [zdroj: autor].....	123
Tab. 5.4.3.1	Tabulka s vyhodnocením hlavních předností a nedostatků při verifikaci a kalibraci PC modelu pomocí naměřených dat [zdroj: autor].....	124
Tab. 6.3.1.0	Tabulka technických parametrů použitých dataloggerů [zdroj: autor].....	136
Tab. 6.3.1.0	Stanovení součinitele prostupu tepla pro obvodovou stěnu tl. 370 mm [zdroj: autor].....	143

SEZNAM PUBLIKACÍ AUTORA

rok 2015

- [1] MAUREROVÁ, L.; HIRŠ, J., Pasivní využití solární energie ve funkcionalistické vile, příspěvek na konferenci *VYKUROVANIE 2015 23. medzinárodná vedecko-odborná konferencia na tému: Vykurovanie a budovy s takmer nulovou potrebou energie*, ISBN 978-80-89216-70-3, SSTP Bratislava, Bratislava, 2015
- [2] BÁRTA, L.; DOLEŽALOVÁ, J.; MAUREROVÁ, L.; WIERZBICKÁ, H., *Návody do cvičení se vzorovými úlohami TECHNICKÁ ZAŘÍZENÍ BUDOV I (S) TECHNICKÁ ZAŘÍZENÍ BUDOV I. A TECHNICKÁ INFRASTRUKTURA*. 1. vydání. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2015. 168 s. ISBN 978-80-214-5132-2

rok 2014

- [3] MAUREROVÁ, L.; HIRŠ, J., Villa Tugendhat as a Technical Monument - Elements of Passive Solar Architecture, článek v *GSTF Journal of Engineering Technology*, ISSN 2251-3701 (online ISSN 2251-371X), Global Science and Technology Forum (GSTF), Singapore, 2014, DOI: 10.7603/s40707-014-0003-5, Dostupné také z Global Science Journals (Powered by Springer open access):
<<http://www.globalsciencejournals.com/article/10.7603/s40707-014-0003-5>>
- [4] MAUREROVÁ, L.; HIRŠ, J., Elements of Passive Solar Architecture in Villa Tugendhat, článek v *Architecture and Civil Enineering*, ISSN 2301-394X, Global Science and Technology Forum (GSTF), Singapore, 2014, DOI: 10.5176/2301-394X_ACE14.18, Dostupné také z: < <http://dl4.globalstf.org/?wpsc-product=elements-of-passive-solar-architecture-in-villa-tugendhat#more-8625>>

rok 2013

- [5] MAUREROVÁ, L.; HIRŠ, J., Historické budovy a jejich systémy TZB, příspěvek na konferenci *Sborník přednášek 11. Letní školy TZB 2013*, ISBN 978-80-260-4001-9, Společnost pro techniku prostředí, Praha, 2013
- [6] MAUREROVÁ, L.; HIRŠ, J., Villa Tugendhat - An Unique Air-conditioning System in Residential Hall, příspěvek na konferenci *Proceedings of CLIMA 2013*, ISBN 978-80-260-4001-9, Society of Environmental Engineering (STP), Praha, 2013
- [7] MAUREROVÁ, L.; DERMEKOVÁ, S.; HIRŠ, J., Souhrnná zpráva - Budovy Magistrátu města Brna, Brno, 2013

rok 2012

- [8] MAUREROVÁ, L.; HIRŠ, J., Vliv pomocných energií na stanovení energetické náročnosti budov, článek v *Topenářství*, ISSN 1211-0906, Technické vydavatelství Praha, spol. s r. o., Praha, 2012

- [9] MAUREROVÁ, L.; HIRŠ, J., Prvky solární architektury ve vile Tugendhat, příspěvek na konferenci *Sborník přednášek 10. Letní školy TZB 2012*, ISBN 978-80-02-02396-8, Společnost pro techniku prostředí, Praha, 2012
- [10] MAUREROVÁ, L.; HIRŠ, J., Vliv pomocných energií při zpracování průkazu energetické náročnosti budov, příspěvek na konferenci *Zborník prednášok z 20. medzinárodnej konferencie VYKUROVANIE 2012 na tému Trvalá udržateľnosť, energetická efektívnosť a environmentálna bezpečnosť*, ISBN 978-80-89216-45-1, SSTP Bratislava, Bratislava, 2012
- [11] MAUREROVÁ, L., Uplatnění směrnice 2010/31/EU při návrhu budovy, příspěvek na konferenci *Sborník anotací konference JUNIORSTAV 2012*, ISBN 978-80-214-4393-8, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Brno, 2012

rok 2011

- [12] MAUREROVÁ, L.; HIRŠ, J.; VAHALA, J., Revitalizace základní školy na parametry budovy s téměř nulovou spotřebou energie, příspěvek na konferenci *Zborník prednášok z 22. medzinárodnej konferencie VNÚTORNÁ KLÍMA BUDOV 2011 na tému Environmentálne a energetické hodnotenie budov*, ISBN 978-80-89216-44-4, SSTP Bratislava, Bratislava, 2011
- [13] MAUREROVÁ, L.; HIRŠ, J., Pasivní využití solární energie v budovách - stínění, příspěvek na konferenci *Sborník přednášek 9. Letní školy TZB 2011*, ISBN 978-80-02-02334-0, Společnost pro techniku prostředí, Praha, 2011
- [14] MAUREROVÁ, L., Unikátní systém vzduchotechniky v historické budově, příspěvek na konferenci *Sborník anotací konference Juniorstav 2011*, ISBN 978-80-214-4232-0, CERM, Brno, 2011

rok 2010

- [15] MAUREROVÁ, L.; HIRŠ, J., Influence of solar gains to greenhouse's indoor climate during the year, příspěvek na konferenci *The 8th International Conference Indoor Climate of Buildings 2010 focused on Indoor Environment, Energy Auditing and Certification of Buildings*, ISBN 978-80-89216-37-6, SSTP, Bratislava, 2010
- [16] MAUREROVÁ, L.; HIRŠ, J., Vliv přirozeného větrání na vnitřní prostředí skleníku, příspěvek na konferenci *Sborník příspěvků Simulace budov a technika prostředí 2010*, ISBN 978-80-254-8661-0, Česká technika - nakladatelství ČVUT, Praha, 2010
- [17] MAUREROVÁ, L.; HIRŠ, J., Sledování kvality vnitřního prostředí v historické aule, článek ve *Vytápění, větrání, instalace*, ISSN 1210-1389, Společnost pro techniku prostředí, Praha, 2010

- [18] ŠPAČKOVÁ, L.; HIRŠ, J., Bilance solární energie v Zámeckém palmovém skleníku v Lednici na Moravě, příspěvek na konferenci *Sborník příspěvků Konference Alternativní zdroje energie 2010*, ISBN 978-80-02-02241-1, Společnost pro techniku prostředí, Praha, 2010
- [19] ŠPAČKOVÁ, L.; HIRŠ, J., Regulace vytápění v zatepleném rodinném domě, příspěvek na konferenci *Zborník prednášok z 18. medzinárodnej konferencie VYKUROVANIE 2010 na tému Energetická efektívnosť systémov výroby, distribúcie a odovzdávania tepla*, ISBN 978-80-89216-32-1, SSTP Bratislava, Bratislava, 2010
- [20] ŠPAČKOVÁ, L., Průkazy energetické náročnosti budov trochu jinak, příspěvek na konferenci *Sborník anotací konference JUNIORSTAV 2010*, ISBN 978-80-214-4042-5, Akademické nakladatelství CERM, Brno, 2010
- [21] ŠPAČKOVÁ, L.; HIRŠ, J., Sledování kvality vnitřního prostředí v historické aule, příspěvek na konferenci *Sborník přednášek 19. Konference klimatizace a větrání*, ISBN 978-80-02-02202-2, Společnost pro techniku prostředí, Praha, 2010

rok 2009

- [22] ŠPAČKOVÁ, L.; HIRŠ, J., Systém vytápění zámku v Lednici, příspěvek na konferenci *Sborník přednášek 7. Letní školy TZB 2009*, ISBN 978-80-02-02174-2, Společnost pro techniku prostředí, Praha, 2009
- [23] ŠPAČKOVÁ, L.; HIRŠ, J.; WAWERKA, R., Simulation of building energy consumption, příspěvek na konferenci *Workshop „Energy Self-sufficient and Sustainable Buildings“*, ISBN 978-80-214-3925-2, Brno, 2009
- [24] ŠPAČKOVÁ, L.; HIRŠ, J.; WAWERKA, R., Heat consumption modelling with climatic parameters, příspěvek na konferenci *Zborník príspevkov, I. CASSOTHERM*, ISBN 978-80-89385-03-4, Košice, 2009
- [25] ŠPAČKOVÁ, L.; HIRŠ, J.; WAWERKA, R., Modelování spotřeby energie budov, příspěvek na konferenci *Building Services and Energy in Buildings*, ISBN 978-80-7204-629-4, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, Brno, 2009
- [26] ŠPAČKOVÁ, L., Monitorování parametrů vnitřního klimatu v historické aule, příspěvek na konferenci *Sborník anotací konference Juniorstav 2009*, ISBN 978-80-214-3810-1, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno, 2009

rok 2008

- [27] ŠPAČKOVÁ, L.; HIRŠ, J., Klimatizace historické auly, příspěvek na konferenci *Budovy a Energia 8*, SSTP Bratislava, Bratislava, 2008

SEZNAM ŘEŠENÝCH PROJEKTŮ AUTORA

rok 2015

- [1] Program aplikovaného výzkumu a vývoje národní a kulturní identity (NAKI), DF13P01OVV016 – *Metodika uchování předmětů kulturní povahy – optimalizace podmínek s cílem dosažení dlouhodobé udržitelnosti (2013-2017, MK0/DF)*, trvání: 2013 – 2017, role: externí spolupráce s jedním z řešitelů, Technickým muzeem v Brně (v současné době probíhá fáze zasmluvnění výzkumu mezi FAST a TMB), činnost: provedení simulací v nástroji BSim pro posouzení vhodnosti vytápění metodou „conservation heating“ ve vybrané místnosti v SZ Kunštát; simulace oslunění a vlivu návštěvnosti ve vybrané místnosti v SZ Hluboká nad Vltavou.

rok 2014

-

rok 2013

- [2] Středoevropské centrum pro vytváření a realizaci inovovaných technicko-ekonomických studijních programů, CZ.1.07/2.2.00/28.0301 – *CEPRI – Inovace výuky předmětů BT51 a AT01*, trvání: 2013 – 2015, role: člen řešitelského týmu, činnost: vytváření interaktivních pdf – tvorba výkresů ve formátu *.dwg s převodem do interaktivního souboru s formátem *.pdf. Tvorba obrazové přílohy do výukové literatury.
- [3] TAČR – Centra kompetence, TE02000077 – *INTELIGENTNÍ REGIONY – Informační modelování budov a sídel, technologie a infrastruktura pro udržitelný rozvoj (2014-2019/TA0/TE)*, trvání: 2014 – 2019, role: řešitel dílčího projektu, činnost: zpracovávání přílohy pilotních projektů při podávání projektu => **PROJEKT POSTOUPIL A JE ŘEŠEN** (na projektu jsem se podílela v rámci přípravy, v době schválení projektu jsem již nebyla zaměstnancem centra AdMaS a proto také nejsem vedená jako člen řešitelského týmu).
- [4] Strukturální fondy EU, Operační program Výzkum a vývoj pro inovace (VaVpI), CZ.1.05/2.1.00/03.0097 – *SmBRNO – Posouzení provozních nákladů* (v rámci centra AdMaS, skupiny EGAR), trvání: 03/2013 – 05/2013, role: řešitel dílčího projektu, činnost: sestavení multioborového týmu (cca 10 osob), vedení a koordinace týmu, vývoj interní metodiky pro hodnocení budov za obor TZB, zpracování posudků na 3 objekty ve vlastnictví Magistrátu města Brna (z celkových 8), prohlídky objektů, zaškolení týmu.

rok 2012

- [5] TAČR – Centra kompetence, TE01020410 – *Technologické systémy a zařízení pro inteligentní regiony*, role: člen řešitelského týmu, činnost: zpracovávání přílohy pilotních projektů při podávání projektu => **PROJEKT NEPOSTOUPIL DO 2. KOLA, neřešený**

rok 2011

- [6] FRVŠ 834-G1 – *Studijní model aktivní fasády*, trvání: 2011, role: spoluřešitel, činnost: zpracování posterů a popisného materiálu k modelu aktivní fasády.
- [7] Juniorský grant FAST, FAST-J-11-27/1316 – *Vliv sluneční energie a energie země na snížení energetické náročnosti budov*, trvání: 2011, role: spoluřešitel, činnost: zkoumání vlivu solární energie ve vybraných budovách, publikace výsledků.

rok 2010

- [8] Regionální inovační strategie 3 (RIS3), Jihomoravské centrum pro mezinárodní mobilitu (JCMM) – *Podpora talentovaných Ph.D. studentů - Brno Ph.D. Talent*, trvání: 2010 – 2012, role: řešitel a příjemce stipendia, činnost: výzkum v oblasti systémů TZB majících vliv na interní mikroklima historických budov, publikace výsledků, plnění závazků projektu v podobě monitorovacích a závěrečných zpráv.
- [9] Juniorský grant FAST, FAST-J-10-76/343 – *Využití pasivní solární energie v historické budově*, trvání: 2010, role: řešitel, činnost: Sumarizace podkladů z průzkumů in-situ ve vybraných budovách, zpracování a rozbor simulací a naměřených dat, publikace výsledků.

rok 2009

- [10] VG FAST, č. 288 - *Analýza energetického managementu VUT z hlediska úspor energie na FAST*, trvání: 2009, role: řešitel, činnost: zpracování a rozbor dat naměřených v historické aule, simulace vnitřního prostředí auly v nástroji BSim, publikace výsledků.

rok 2008

- [11] EFEKT 2008, I-3, MPO 122142-8903 - *Databáze meteorologických dat prezentujících klimatické podmínky na celém území ČR*, trvání: 2008, role: člen řešitelského týmu, činnost: simulace posuzované budovy v nástroji BSim, prověření klimatických dat referenčního roku a reálného roku 2005 pomocí simulace, vyhodnocení a interpretace výsledků simulací do závěrečných zpráv.