



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

ANALÝZA VNITŘNÍHO KLIMATU A ENERGETICKÉ HODNOCENÍ HISTORICKÉ BUDOVY

THERMAL COMFORT ANALYSIS AND ENERGY ASSESSMENT OF A HISTORIC BUILDING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Richard Kalný

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAN WEYR

BRNO 2018



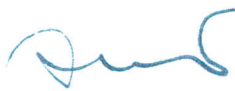
VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

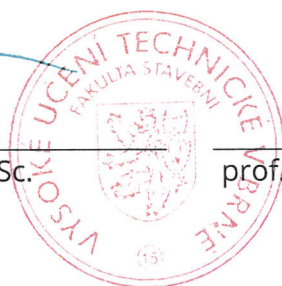
Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3608R001 Pozemní stavby
Pracoviště	Ústav technických zařízení budov


ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Richard Kalný
Název	Analýza vnitřního klimatu a energetické hodnocení historické budovy
Vedoucí práce	Ing. Jan Weyr
Datum zadání	30. 11. 2017
Datum odevzdání	25. 5. 2018

V Brně dne 30. 11. 2017


doc. Ing. Jiří Hirš, CSc.
Vedoucí ústavu




prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Platné zákony, vyhlášky, nařízení a normy v oblasti řešení problematiky bakalářské práce. Domácí, evropská a světová literatura, sborníky vědeckých konferencí a odborných akcí v oblasti TZB. Podrobné podklady a další upřesnění stanoví vedoucí bakalářské práce při konzultacích.

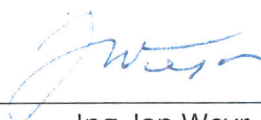
ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

- a) titulní list
- b) zadání VŠKP
- c) abstrakt v českém a anglickém jazyce, klíčová slova v českém a anglickém jazyce
- d) bibliografická citace VŠKP dle ČSN ISO 690
- e) prohlášení autora o původnosti práce, podpis autora
- f) poděkování (nepovinné)
- g) obsah
- h) úvod
- i) vlastní text práce s touto osnovou
 - A. Teoretická část
 - literární rešerše ze zadaného tématu, rozsah 15 až 20 stran
 - B. Výpočtová část
 - B1. Analýza energetických potřeb a toků budovy
 - specifikace energetických systému budovy
 - stavební řešení a tepelně technické vlastnosti konstrukcí
 - B2. Energetické hodnocení budovy
 - standardizované užívání budovy
 - potřeba energie pro systémy TZB
 - zhodnocení realizovaných opatření pro snížení energetické náročnosti
 - C. Projekt - experimentální a simulační řešení, zpracování výsledků
 - průkaz energetické náročnosti budovy
 - zpracování stávajících experimentů
 - počítačová simulace souvisejících fyzikálních dějů
 - j) závěr
 - k) seznam použitých zdrojů
 - l) seznam použitých zkratk a symbolů
 - m) seznam příloh
 - n) přílohy

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



Ing. Jan Weyr
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Cílem práce je podat ucelené informace o analýze vnitřního klimatu budovy, možnosti získávání a analýzy dat o počasí, měření vybraných veličin uvnitř budovy a hodnocení energetické náročnosti staveb. Experimentální část se věnuje historické budově v Praze. Na základě analýzy dat o počasí a odečtu z dataloggerů umístěných v interiéru je vytvořen model v programu BSim a s vysokou přesností zkalibrován. Výsledky z letního období jsou podrobeny diskuzi, budova vyhovuje normativním požadavkům. Dále je zpracován průkaz energetické náročnosti budovy. Je navrženo stavebně technické opatření na snížení tepelných zisků vlivem sluneční radiace, které vytváří roční úsporu energie 1671 kWh.

KLÍČOVÁ SLOVA

optimalizace spotřeb energie, opatření pro úspory energií, průkaz energetické náročnosti budovy, BSim 2002, kalibrace výpočtového modelu, vnitřní mikroklima, tepelná bilance, klimatická data, chlazení, historická budova

ABSTRACT

Objective of this thesis is presenting a comprehensive analysis of a climate inside a building, ways of obtaining and analysing weather data, measuring certain quantities inside the building and evaluating the energy efficiency of buildings. The experimental part deals with a historical building in Prague. Weather data and interior data logger readings are analysed to create a model in the BSim program, which is calibrated to a high degree of accuracy. Summer outcomes are discussed; the building meets regulatory requirements. In addition, an Energy Performance Certificate is issued. Structural and technical modifications are proposed in order to reduce solar heat gains, thus achieving an annual energy saving of 1671 kWh.

KEYWORDS

energy consumption optimizing, energy saving measurements, energy performance certificate, BSim 2002, analysis model calibration, interior microclimate, heat balance, climate data, cooling, historical building

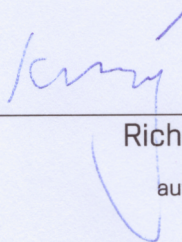
BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Richard Kalný *Analýza vnitřního klimatu a energetické hodnocení historické budovy*.
Brno, 2018. 103 s., 200 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně,
Fakulta stavební, Ústav technických zařízení budov. Vedoucí práce Ing. Jan Weyr

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 19. 5. 2018



Richard Kalný

autor práce

Obsah

Obsah	7
Úvod a cíle práce.....	10
A. Teoretická část.....	11
A. 1 Vnitřní prostředí.....	11
A. 1.1. Důvody sledování a zasahování do vnitřního mikroklima	11
A. 1.2. Veličiny popisující vnitřní prostředí budov	12
A. 1.2.1. Teplota vzduchu v exteriéru	12
A. 1.2.2. Teplota vzduchu v interiéru.....	13
A. 1.2.3. Operativní teplota vzduchu	13
A. 1.2.4. Měrná vlhkost vzduchu	14
A. 1.2.5. Absolutní vlhkost vzduchu	14
A. 1.2.6. Relativní vlhkost vzduchu	15
A. 1.2.7. Entalpie	16
A. 1.2.8. Tlak vzduchu	16
A. 1.2.9. Rychlost větru	17
A. 1.2.10. Intenzita sluneční radiace	17
A. 1.3. Mollierův diagram.....	18
A. 2. Stavební materiály a konstrukce z hlediska tepelné techniky.....	19
A. 2.1. Součinitel prostupu tepla.....	19
A. 3. Tepelné zisky a ztráty místností	22
A. 3.1. Tepelná ztráta prostupem tepla	23
A. 3.2. Tepelná zátěž prostupem tepla stěnou	24
A. 3.3. Tepelná ztráta větráním.....	26
A. 3.4. Tepelné zisky okny	27
A. 3.5. Tepelné produkce lidí.....	31

A. 3. 5. Produkce tepla od ostatních vnitřních zdrojů.....	33
A. 3. 7. Vodní zisky.....	34
A. 3. 8. Předpoklad versus realita.....	34
A. 4. Energetický štítek obálky budovy.....	35
A. 5. Průkaz energetické náročnosti budovy.....	37
A. 6. Data o počasí, jejich získávání a analýza.....	39
A. 7. Získávání dat o vnitřním prostředí budovy.....	41
A. 8. Software pro simulaci chování budovy – Bsim 2002.....	42
B Praktická část.....	45
B. 1. Popis objektu.....	45
B. 2. Úprava dat o počasí pro kalibraci modelu.....	50
B. 3. Tvorba modelu budovy.....	56
B. 3. 1. Analýza dostupné výkresové dokumentace.....	57
B. 3. 2. Analýza konstrukcí a materiálů.....	58
B. 3. 3. Definice konstrukcí v programu.....	58
B. 3. 4. Návrh zjednodušení geometrie.....	60
B. 3. 5. Tvorba geometrického modelu.....	60
B. 3. 6. Vazby na okolní budovy a zbylé části posuzované stavby.....	63
B. 3. 7. Rozdělení modelu na jednotlivé zóny.....	64
B. 3. 8. Přiřazení výkonu pro chlazení a vytápění pro jednotlivé zóny.....	66
B. 3. 9. Vložení tepelné zátěže a ztráty od ostatních zdrojů.....	68
B. 3. 10. Vložení dat o počasí z TMY.....	68
B. 3. 11. Kalibrace.....	69
B. 4. Měření a zpracování dat o teplotě a vlhkosti uvnitř budovy.....	74
B. 4. 1. Použité měřiče.....	74
B. 4. 2. Umístění dataloggerů v budově.....	75

B. 4. 3. Způsob analýzy dat.....	76
B. 4. 4. Závěry plynoucí z analýzy dat.....	79
B. 5. Možnosti snížení nákladů na chlazení.....	84
B. 6. Průkaz energetické náročnosti posuzované části budovy	87
B. 7. Citace autora.....	89
C. Závěr.....	90
Seznam použité literatury.....	92
Seznam tabulek.....	97
Seznam obrázků.....	98
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	100
Zkratky	100
Matematicko - fyzikální veličiny.....	101
Seznam příloh.....	103

Úvod a cíle práce

Cílem této bakalářské práce je shrnutí aktuálních poznatků, norem a předpisů pro úpravu vnitřního klimatu obytných budov. Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část, jejíž součástí je analýza klimatu konkrétní stavby, snížení tepelné zátěže v letním období, úspora energie na chlazení a vytvoření průkazu energetické náročnosti budovy.

Teoretická část se zabývá vysvětlením tématu jako celku, definicemi základních veličin pro popis vnitřního klimatu stavby a vnějších vlivů, které na budovu působí. Popisuje způsoby analýzy vstupních dat a jejich následné vyhodnocování podle aktuálních platných norem a předpisů. Dále jsou uvedeny postupy a metody experimentálního měření, měřicí pomůcky a přístroje. Představuje také software, který slouží k analýze vnitřního klimatu staveb a simulacím případných stavebních a technologických změn pro jeho úpravu.

V praktické části práce je nejprve představena vyšetřovaná část historické budovy. Jedná se o památkově chráněnou stavbu na Václavském náměstí v Praze. Jsou stručně popsány konstrukce a jejich tepelně-technické vlastnosti, stavební systém a také účel a způsob využívání budovy. Následuje popis venkovního prostředí, analýza počasí v letním období, rozbor dat získaných z okolních meteorologických stanic a jejich implikace do dat takzvaného „typického meteorologického roku“. V další části práce jsou zpracována data z dataloggerů umístěných uvnitř stavby. Ty sbírají informace o vnitřním klimatu (vnitřní teplota a vlhkost) v průběhu několika letních měsíců. Na základě získané výkresové dokumentace je sestaven model části budovy v programu BSim 2002. V práci je vysvětleno nutné zjednodušení geometrie stavby a skladby konstrukcí. Do modelu jsou vloženy údaje o technologických systémech, výkony jednotlivých zdrojů a jejich rozmístění. Součástí praktické části práce bylo také získání informací ohledně využívání budovy. Na základě všech údajů je budova kalibrována tak, aby stav odpovídal skutečnosti. Kontrola probíhá na základě dat získaných z dataloggerů. Výsledky jsou podrobeny diskuzi, porovnány s normou a jsou navrženy úpravy, které povedou

k zamezení přehřívání stavby v letních měsících nebo úspore energie na chlazení. Je také vytvořen průkaz energetické náročnosti budovy.

A. Teoretická část

A. 1 Vnitřní prostředí

A. 1.1. Důvody sledování a zasahování do vnitřního mikroklima

Na úvod této práce je potřeba uvést základní důvody, proč je vnitřní prostředí budov sledováno, hodnoceno a proč jsou vydávány a aktualizovány národní a nadnárodní normy, které stanovují určité limity a hranice jednotlivých veličin.

Cílem těchto předpisů a doporučení je vytvořit stavbu, která bude ekologická, ekonomicky optimálně řešená a zdravotně nezávadná. Její užívání bude pro člověka příjemné a pohodlné za všech podmínek a při všech činnostech.

Trendem dnešní doby je snižování emisí a ochrana životního prostředí. Příkladem může být Kjótský protokol, ve kterém se průmyslové země zavázaly redukovat emise skleníkových plynů. Každá stavba přináší z důvodu spotřeby energie jistou zátěž. Je tedy žádoucí, aby tato spotřeba byla co nejnižší bez negativních dopadů na vnitřní klima. Kromě spotřeby elektrické energie je také nutné při návrhu konstrukcí dbát na nezávadnost použití stavebních hmot pro okolní prostředí a zvážit možnost likvidace budoucích odpadů a jejich recyklaci.

Kromě vyvarování se použití zdravotně závadných materiálů pro člověka, je při projekci nutné dbát na vytvoření optimálního vnitřního mikroklimatu pro pobyt osob. Národní normy definují například vnitřní návrhovou teplotu, vlhkost vzduchu, koncentrace CO₂ v místnosti apod.

V neposlední řadě jsou stavby navrhovány s ohledem na finanční možnosti investora. Při projekci je nutné zvážit všechny možnosti získávání, ukládání a distribuce energie. Optimalizace stavebních konstrukcí, dispozice místností, technologického zázemí a dalších vstupů může vést k výraznému snížení ceny stavby a jejího provozu.

A. 1. 2. Veličiny popisující vnitřní prostředí budov

Existuje celá řada veličin, popisujících vnitřní prostředí staveb a jsou také přesně definované postupy pro jejich výpočet a měření. Tato práce se zabývá především měřením a vyhodnocováním dat o vnitřní teplotě a vlhkosti. Kromě těchto veličin se dále zkoumají a vyhodnocují data týkající se rychlosti proudění vzduchu, koncentrace CO₂ a jiných škodlivin v místnosti. Dále musí stavba disponovat například protiradonovou ochranou.

A. 1. 2. 1. Teplota vzduchu v exteriéru

Značení: t_e

Jednotka: [°C]

Popis: Jedná se o výpočtové teploty pro stanovení potřeby tepla pro vytápění. Pro jednotlivá města České republiky jsou stanoveny návrhové teploty vzduchu v exteriéru dle ČSN 38 3350 Zásobování teplem a ČSN 06 0210 Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění. Je nutné rozlišovat teplotu vzduchu v exteriéru pro výpočet součinitele prostupu tepla U (příklad pro Brno: $t_e = -15^\circ\text{C}$) a teplotu pro potřeby vytápění (příklad pro Brno: $t_e = -12^\circ\text{C}$). Příklady teplot jsou uvedeny v Tab. 1. [2]

Venkovní výpočtová teplota pro zimní období		
Místo	Nadm. výška (m. n. m.)	Venkovní výpočtová teplota t_e (°C)
Benešov	327	-15
Beroun	229	-12
Blansko	273	-15
Břeclav	159	-12
Brno	227	-12v
Bruntál	546	-18v
Plzeň	311	-12
Praha	181	-12
Prachatice	574	-18v
Přerov	212	-12
Příbram	502	-15

Tab. 1 Venkovní výpočtová teplota pro zimní období [1]

Obdobným způsobem je pro danou lokalitu stanovena teplota exteriéru v letním období.

A. 1.2.2. Teplota vzduchu v interiéru

Značení: t_i

Jednotka: [°C]

Popis: Tato teplota je stanovena normou ČSN EN 12831. Její hodnota závisí na druhu stavby, místnosti a způsobu využívání. Pro prostory určené k vykonávání fyzické aktivity jsou použity nižší návrhové teploty než pro místnosti určené například k nocování či práci v sedě. V Tab. 2 je uveden příklad výpočtových teplot pro administrativní budovu. [2]

Výpočtové teploty interiéru pro administrativní budovu	
Druh vytápěné místnosti	Výpočtová vnitřní teplota t_i [°C]
kanceláře, čekárny, zasedací síně, jídelny	20
vytápěné vedlejší místnosti (chodby, hlavní schodiště, klozety aj.)	15
vytápěná vedlejší schodiště	10
haly, místnosti s přepážkami	18

Tab. 2 Výpočtové teploty interiéru pro administrativní budovu [3]

A. 1.2.3. Operativní teplota vzduchu

Značení: t_o

Jednotka: [°C]

Popis: Operativní teplota je jednotná teplota uzavřeného černého prostoru, ve kterém by tělo sdílelo radiací a konvekcí stejně tepla, jako ve skutečném nehomogenním prostředí a vypočítá se podle vzorce: [4]

$$t_o = At_i + (1-A)t_r$$

A – koeficient závislý na rychlosti proudění vzduchu [-]

t_i – teplota interiéru [°C]

t_r – radiační teplota [°C]

Operativní teplota oproti teplotě interiéru t_i daleko lépe vystihuje výsledný teplotní stav působící na člověka a její výpočet zahrnuje teplotu ploch v jeho okolí.

A. 1. 2. 4. Měrná vlhkost vzduchu

Značení: x

Jednotka: [kg/kgA]

Popis: Měrná vlhkost udává množství vody v kilogramech, připadající na 1 kg suchého vzduchu. Vzhledem k nízkým hodnotám se častěji využívá jednotka [g/kgA]. Hodnotu měrné vlhkosti lze odečíst z h-x diagramu nebo spočítat například z rovnice: [2]

$$x = 0,622 \frac{p_v}{p - p_v} \text{ [kg/kgA]}$$

p_v – parciální tlak vodních par [Pa]

p – celkový tlak vzduchu [Pa]

A. 1. 2. 5. Absolutní vlhkost vzduchu

Značení: φ

Jednotka: [kg/m³]

Popis: Absolutní vlhkost vyjadřuje hmotnost vodní páry obsažené v jednotce objemu měřeného vzduchu.

A. 1. 2. 6. Relativní vlhkost vzduchu

Značení: ϕ

Jednotka: [%]

Popis: Relativní vlhkost vzduchu udává poměr absolutní vlhkosti vzduchu a absolutní vlhkosti vzduchu, který by byl při téže teplotě sytý vodními parami. Tuto veličinu lze popsat rovnicí: [2]

$$\phi = \frac{p_v}{p_v''}$$

p_v – parciální tlak vodních par [Pa]

p_v'' – parciální tlak syté vodní páry [Pa]

Tato veličina má význam pro návrh vnitřního mikroklima staveb. Zjednodušeně by se dalo říci, že optimální vlhkost pro člověka se pohybuje okolo 60 %. Relativní vlhkost v pobytové místnosti by v zimním období neměla klesnout pod 30 %. V letním období by naopak neměla vzrůst nad 70 %. Po překročení této hodnoty hrozí vznik a rozvoj plísní. Výjimku tvoří hygienické místnosti a stavby sloužící pro speciální účely, kde se vyšší vlhkosti nevyhneme (pěstírny, textilní průmysl apod.) Doporučené hodnoty relativní vlhkosti pro daný účel místnosti nebo stavby určuje také ČSN 06 0210. Příklad pro administrativní budovu viz Tab. 3. [2]

Doporučené hodnoty relativních vlhkostí	
Druh vytápěné místnosti	Rel. vlhkost vzduchu
	ϕ_{ai} [%]
Administrativní budovy	
kanceláře, čekárny, zasedací síně, jídelny	60
vytápěné vedlejší místnosti (chodby, hlavní schodiště)	60
vytápěná vedlejší schodiště	70
haly, místnosti s přepážkami	70

Tab. 3 Doporučené hodnoty relativních vlhkostí [3]

A. 1.2.7. Entalpie

Značení: h

Jednotka: [J/kg]

Popis: Entalpie je fyzikální veličina, která udává množství energie uchované v 1 kg termodynamického systému. Závisí především na měrné tepelné kapacitě $c=[\text{J}/\text{kgK}]$ dané látky. Pro suchý vzduch je hodnota $c_A = 1\,010 \text{ J}/\text{kg.K}$. Při většině tepelných pochodů dochází ke změně entalpie. Výjimku tvoří adiabatický děj, při kterém se hodnota entalpie zachovává. Tyto procesy je možné vyjádřit a hodnoty popisovaných veličin odečíst z h - x diagramu. Rovnice pro výpočet: [2]

$$h=h_A+h_V=c_A t+x(2500+c_V t)$$

h_A – entalpie suchého vzduchu [J/kg]

h_V – entalpie vodní páry [J/kg]

c_V – měrná tepelná kapacita vody [J/kgK]

c_A – měrná tepelná kapacita suchého vzduchu [J/kgK]

A. 1.2.8. Tlak vzduchu

Značení: p

Jednotka: [Pa]

Popis: Tlak vzduchu způsobuje atmosféra země. Jedná se o sílu, kterou působí na jednotku plochy. Příčinou je gravitační zrychlení země a je závislý na nadmořské výšce a počasí. Celkový stav směsi plynů popisuje Daltonův zákon, který říká, že výsledná hodnota tlaku je dána součtem parciálního tlaku vzduchu $p_{sv}=[\text{Pa}]$ a parciálního tlaku vodní páry $p_{vp}=[\text{Pa}]$. Změny tlaku vzduchu, kterou způsobí rozdíl výšek, se využívá například při výpočtu tepelné ztráty nebo zátěže objektu při infiltraci vzduchu okny. Každá h - x diagram je definován pro určitou hodnotu atmosférického tlaku. [2]

A. 1. 2. 9. Rychlost větru

Značení: v

Jednotka: [m/s]

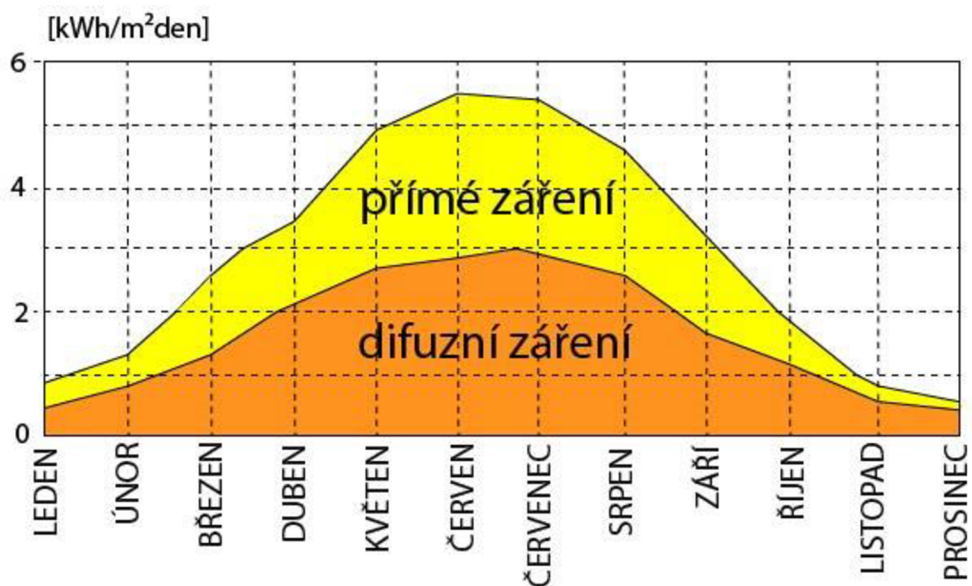
Popis: Tato fyzikální veličina je důležitá především pro výpočet tlaku větru a tím i zatížení na konstrukci v mechanice staveb. Své místo má ale také při výpočtu tepelných ztrát a zisků stavby. Při zvýšení rychlosti větru roste také tlak na otvory ve fasádě a tím se zvyšuje infiltrace vzduchu do místnosti. Účinky popisuje například Beaufortova stupnice. Vzhledem k tomu, že se jedná o vektorovou veličinu, závisí také na směru působení. Obvykle se udává ve stupních $0^\circ - 360^\circ$.

A. 1. 2. 10. Intenzita sluneční radiace

Značení: I

Jednotka: [W/m²]

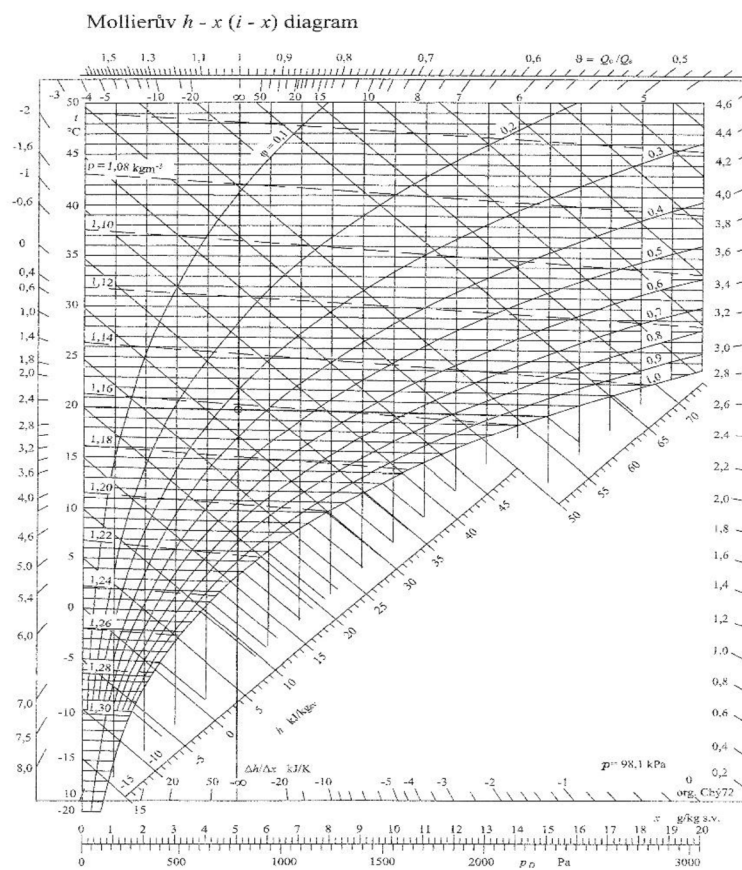
Popis: Tato veličina je velmi důležitá pro výpočet tepelných zisků posuzované budovy. Především v letním období dochází k pronikání sluneční energie okny do interiéru budovy. Díky rotaci země je nutné k této veličině přistupovat s vědomím, že se její hodnota mění jak v průběhu dne, tak v průběhu kalendářního roku. Radiaci můžeme dále rozdělit na přímou (I_p) a difúzní (I_d). Postup výpočtu tepelných zisků je uveden v kapitole A. 3. 4. Tepelné zisky okny. [2]



Obr. 1 Přibližná závislost přímého a difúzního záření na ročním období [5]

A. 1.3. Mollierův diagram

Jednou z možností pro odečtení veličin popisujících stav vzduchu a zobrazení termodynamický dějů je použití Mollierova diagramu. V případě, že máme stav vzduchu popsáný dvojicí veličin (například relativní vlhkost a teplota), lze z diagramu odečíst celá škála dalších veličin, charakterizujících zadaný stav. Podle použitých os se diagramu říká také i - x , h - s nebo h - x . Na vodorovné ose je vyznačena měrná vlhkost x =[kg/kg]. Na svislé ose se nachází suchá teplota vzduchu t =[°C]. Z grafu lze dále z pravidla odečíst relativní vlhkost ϕ [%], entalpie h =[J/kg] apod. Zde je také možné zaznačit jednotlivé termodynamické děje, například adiabatické chlazení, které probíhá za konstantní hodnoty entalpie, mokré chlazení nebo vlhčení vodní párou. Každý diagram je definován atmosférickým tlakem p =[Pa]. Příklad h - x Mollierova diagramu pro $p=98,1$ kPa viz Obr. 2. [6]



Obr. 2 Mollierův h - x diagram pro $p=98,1$ kPa [7]

A. 2. Stavební materiály a konstrukce z hlediska tepelné techniky

V lidských silách není možnost měnit povětrnostní podmínky a ovlivnit střídání počasí během dne a roku, proto je nutné zaměřit se při návrhu vnitřního klimatu budovy na fyzikální vlastnosti stavebních materiálů a celých konstrukcí. Volba materiálu nosných konstrukcí, izolací, výplní otvorů apod. probíhá s ohledem na dodržení normativních požadavků na prostup tepla konstrukcí a akumulaci schopnosti materiálů. Zjednodušeně řečeno jde o jakousi snahu ovlivnit chování budoucí stavby z hlediska tepelné techniky bez nutnosti nebo s omezenou potřebou návrhu vzduchotechniky. Tím dojde ke snížení spotřeby energie a finančních nákladů na pořízení a provoz stavby. Kromě akumulace a šíření tepla se při návrhu zohledňuje možnost kondenzace vodní páry v konstrukci. Té musí být zabráněno, nebo nesmí překročit roční množství stanovené výpočtem.

A. 2. 1. Součinitel prostupu tepla

Tato veličina je jednou z nejdůležitějších při návrhu konstrukce z hlediska tepelné techniky budovy. Charakterizuje tepelně izolační schopnost materiálů. Pro pochopení principu tohoto jevu je důležité nejprve definovat schopnost konstrukce odolávat tepelné zátěži. Vyjadřuje ji veličina „tepelný odpor“ $R=[m_2K/W]$. Jinými slovy jde o určení velikosti plochy a změny teploty, při které dojde k přenosu energie o velikosti 1 watt. Rovnice pro výpočet tepelného odporu:

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

d – tloušťka vrstvy v konstrukci [m]

λ – součinitel tepelné vodivosti [W/mK]

Jde tedy o přímou závislost na tloušťce konstrukce a nepřímou závislost na součiniteli tepelné vodivosti. V současné době nejlepší hodnoty součinitele tepelné vodivosti vykazují například materiály z extrudovaného nebo expandovaného polystyrenu, minerální a skelné vaty apod. Reprezentativní vzorek materiálů a jejich tepelně technických vlastností k nahlédnutí v Tab. 4. [8]

Stavební materiály a jejich tepelně technické vlastnosti			
Druh materiálu	Součinitel tepelné vodivosti	tepelná kapacita	Hustota
	λ	c	ρ
	[W/mK]	[J/kgK]	[kg/m ³]
Pěnový polystyren extrud. - EXP	0.034	2060	30
PVC pěněné	0.051	1350	60
Materiály z minerální plsti	0.056	880	100
HELUZ FAMILY 38 2in1	0.062	1000	650
Koberec	0.065	1880	160
Desky dřevovláknité, lisované	0.075	1630	200
YTONG P2-500 (tl. 200) vnější	0.150	1000	650
POROTHERM 40 P+D - P10 TI vnější nosná s	0.150	960	800
PVC	0.160	1100	1400
Beton cihlový	0.520	840	1300
POROTHERM 6,5 P+D - P10 příčka	0.650	960	1000
Zdivo-CP	0.860	900	1800
Malta vápenná	0.870	840	1600
Omítka vápenná	0.880	840	1600
Keramická dlažba	1.010	840	2000
Beton hutný	1.230	1020	2100
Železobeton	1.740	1020	2500
Ocel	50.000	440	7850

Tab. 4 Stavební materiály a jejich tepelně technické vlastnosti [9]

Celkový tepelný odpor konstrukce při prostupu tepla je poté rovný součtu odporů jednotlivých vrstev konstrukce a odporů při prostupu tepla na vnitřní a vnější straně konstrukce. [8]

$$R_T = R_{si} + \Sigma R_j + R_{se}$$

ΣR_j – součet odporů jednotlivých vrstev konstrukce [m²K/W]

R_{si} – odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce [m²K/W]

R_{se} – odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce [m²K/W]

Veličiny R_{si} a R_{se} zohledňují ve výpočtu tepelný odpor tenké vzduchové vrstvy, která bezprostředně přiléhá k vnitřní nebo vnější straně konstrukce. Jejich hodnota závisí na typu konstrukce (svíslá stěna, podlaha, jednoplášťová střecha...) a je dána normou ČSN 73 0540-3. [8]

Pokud již známe hodnotu celkového tepelného odporu konstrukce, lze spočítat součinitel prostupu tepla $U=[W/(m^2K)]$.

$$U = \frac{1}{R_t}$$

Z tohoto vztahu vyplývá, že čím nižší součinitel prostupu tepla zajistíme, tím lepší tepelně izolační vlastnosti bude daná konstrukce mít. Pro návrh skladby vrstev je závazná norma ČSN 73 0540-2:2011 Tepelná ochrana budov - Část 2. Ta stanovuje požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla pro budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou t_i v intervalu 18 °C až 22 °C. Požadovanou hodnotu $U_{N,20}$ je nutné dodržet vždy. Kromě doporučené hodnoty $U_{rec,20}$ je zde zmíněna také doporučená hodnota pro pasivní domy $U_{pas,20}$. Každý typ stavební konstrukce má jiný požadavek, příklady uvedené v Tab. 5. [8] [10]

Požadované a dopor. hodnoty součinitele prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2:2011			
Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla [W/(m ² K)]		
	Požadované hodnoty	Doporučené hodnoty	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy
	$U_{N,20}$	$U_{rec,20}$	$U_{pas,20}$
Stěna vnější	0,30	těžká: 0,25 lehká: 0,20	0,18 až 0,12
Střecha strmá se sklonem nad 45°	0,3	0,2	0,18 až 0,12
Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Strop s podlahou nad venkovním prostorem	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Strop pod nevytápěnou půdou (se střechou bez TI)	0,3	0,2	0,15 až 0,10
Stěna k nevytápěné půdě (se střechou bez TI)	0,30	těžká: 0,25 lehká: 0,20	0,18 až 0,12
Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině	0,45	0,3	0,22 až 0,15
Strop a stěna vnitřní z vytáp. k nevytápěnému prostoru	0,6	0,4	0,30 až 0,20
Strop a stěna vnitřní z vytáp. k temperovanému prostoru	0,75	0,5	0,38 až 0,25
Strop a stěna vnější z temper. prostoru k venk. prostředí	0,75	0,5	0,38 až 0,25
Podlaha a stěna temper. prostoru přilehlá k zemině	0,85	0,6	0,45 až 0,30
Stěna mezi sousedními budovami	1,05	0,7	0,5

Tab. 5 Požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2:2011 [10]

Vypočítané hodnoty součinitele lze dále využít při výpočtu tepelných ztrát a zisků posuzovaného objektu. Další využití nachází při návrhu otopné soustavy pro zimní období a vzduchotechniky pro letní a zimní období. Na základě znalostí těchto hodnot lze také sestavit podle ČSN 73 0540-2/2011 energetický štítek obálky budovy, který je dokladem o hospodárnosti dané stavby. Dále se průběh teploty v konstrukci využívá pro výpočet kondenzace vodní páry. Dle požadavku ČSN 73 0540-2:2011 + Z1:2012 buď nesmí docházet ke kondenzaci vůbec, nebo musí být roční množství zkondenzované vodní páry $M_{c,a}=[\text{kg}/\text{m}^2\text{a}]$ menší než normativní požadavek $M_{c,a}=[\text{kg}/\text{m}^2\text{a}]$ a zároveň musí být toto číslo menší než množství vypařitelné vodní páry $M_{ev,a}=[\text{kg}/\text{m}^2\text{a}]$. [11]

A. 3. Tepelné zisky a ztráty místností

Pokud máme definované základní fyzikální veličiny pro popis vnitřního a vnějšího prostředí a informace o tepelně technických vlastnostech konstrukce, je možné spočítat tepelné zisky a ztráty jednotlivých místností. Jedním z důvodů výpočtu je stanovení nejvyšších možných tepelných ztrát v zimním období pro návrh otopné soustavy a nejvyšší možný tepelný zisk pro letní období, který naopak slouží pro návrh vzduchotechniky. Ptáme se, jaký maximální výkon je potřebný pro pokrytí těchto výkyvů v místnosti. Při součtu jednotlivých výkonů dostáváme sumu pro celou budovu. V případě zjištění nedostatků u dokončené stavby je postup opačný. Snahou je co možná nejefektivněji snížit nadměrné tepelné zisky a ztráty, aby navržený výkon otopné soustavy nebo klimatizace pokryl potřebu. V zimním období je možné dodatečně zateplit budov za účelem snížení ztrát prostupem tepla. Pro letní období navrhujeme instalaci stínících prvků vedoucích k eliminaci tepelných zisků radiací.

Dalším způsobem hodnocení vnějších a vnitřních tepelných účinků na stavbu je stanovit energetickou náročnost budovy. Jde o přibližný výpočet roční potřeby tepla a tím i elektrické energie na vytápění. Analogicky v zimním období potřeba chladu a elektrické energie na ochlazování budovy. Tento výpočet již zahrnuje

změnu venkovní teploty v průběhu roku a zohledňuje počet dnů otopného období v roce.

A. 3. 1. Tepelná ztráta prostupem tepla

Tepelnou ztrátu místnosti Q_p [W] způsobuje rozdíl teplot vnitřního prostředí a okolního prostředí. Základní vzorec pro výpočet:

$$Q_p = UA(t_i - t_e)$$

U – součinitel prostupu tepla konstrukce [W/(m²K)]

A – plocha konstrukce [m²]

t_i – návrhová vnitřní teplota místnosti [°C]

t_e – teplota exteriéru [°C]

Celková tepelná ztráta místnosti je pak suma ztrát jednotlivých konstrukcí. Sem patří samozřejmě také otvory v konstrukci (okna, dveře, světlíky), jejichž plochu je nutné odečíst od plochy konstrukce, ve které se nachází. Pokud obálková konstrukce místnosti nesousedí přímo s externím prostředím, za hodnotu t_e dosazujeme jinou teplotu než návrhovou teplotu exteriéru. Jedná se například o nevytápěné prostory, přilehlou zeminu, popřípadě sousední místnost s jinou návrhovou teplotou. Pokud je v prostorách, pro které počítáme ztrátu, vnitřní návrhová teplota nižší než teplota místnosti sousední, rozdíl teplot Δt bude záporný a v podstatě se jedná o zisk tepla. Příklady výpočtových teplot zeminy dle ČSN 06 0210 v Tab. 6 [12]

Výpočtové teploty zeminy dle ČSN 06 0210				
Poloha přilehlé zeminy	Teplota přilehlé vrstvy t_{ez} [°C] při venk. výpočt. teplotě t_e [°C]			
Venkovní teplota t_e	-12 °C	-15 °C	-18 °C	-21 °C
pod podlahou	+5 °C	+5 °C	+5 °C	+5 °C
u svislé stěny do hloubky 1 m	-3	-3	-6	-6
u svislé stěny v hloubce 1 až 2 m	0	0	-3	-3
u svislé stěny v hloubce 2 až 3 m	3	3	0	0
u svislé stěny v hloubce přes 3 m	5	5	5	5

Tab. 6 Výpočtové teploty zeminy dle ČSN 06 0210 [13]

A. 3. 2. Tepelná zátěž prostupem tepla stěnou

Tuto zátěž lze opět dále dělit na teplo, které získáme prostupem z vnitřních stěn a z vnějších stěn. Uvnitřní stěny je postup obdobný, jako u tepelné ztráty řešené v předchozí kapitole.

V případě tepelné zátěže vnějších stěn dochází k dalšímu dělení výpočtu podle jejich tloušťky. Důvodem je snaha zohlednit při kalkulaci dobu, kterou trvá teple projít počítanou konstrukcí. Je závislá právě na tloušťce stěny: [14]

Stěny lehké: do 0,08 m

U tohoto typu konstrukce se zanedbává fázový posun teplotních kmitů $\psi = [h]$ a používá vzorec:

$$Q_s = U_s A (t_r - t_i)$$

U_s – součinitel prostupu tepla stěnou [$W/(m^2K)$]

A – plocha konstrukce po odečtení otvorů [m^2]

t_i – návrhová vnitřní teplota místnosti [$^{\circ}C$]

t_r – rovnocenná sluneční teplota vnějšího vzduchu pro určenou hodinu [$^{\circ}C$]

Stěny středně těžké: 0,08 – 0,45 m

V tomto případě je nutné vypočítat fázový posun teplotních kmitů:

$$\psi = 32\delta - 0,5$$

δ – tloušťka stěny [m]

Pokud tedy počítáme zisky sluneční radiace například v 14:00 a fázový posun činí 11 hodin, číselnou hodnotu $t_{r,\psi}$ [$^{\circ}C$] rovnocenné sluneční teploty v době o ψ hodin dřív budeme brát pro 14-11 tj. 3 hodiny. Vzorec pro výpočet:

$$Q_s = U_s A [(t_{rm} - t_i) + m (t_{r\psi} - t_{rm})]$$

$$m = \frac{1 + 7,6\delta}{2500\delta}$$

m – součinitel zmenšení teplotního kolísání [-]

t_{rm} – průměrná rovnícenná sluneční teplota vnějšího vzduchu za 24 hodin [°C]

Stěny těžké: nad 0,45 m

U těžkých stěn počítáme pouze s průměrnou rovnícennou sluneční teplotou vnějšího vzduchu za 24 hodin:

$$Q_s = U_s A (t_{rm} - t_i)$$

Rovnícenná sluneční teplota t_r je závislá na denní době, ale také na umístění konstrukce vzhledem ke světovým stranám a roční době. Příklad výpočtových teplot viz Tab. 8 [14]

Rovnícenné sluneční teploty vzduchu pro měsíc červenec										
hod	t_e	horiz	S	SV	V	JV	J	JZ	Z	SZ
1	18,1	18,1	18,1	18,1	18,1	18,1	18,1	18,1	18,1	18,1
2	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2
3	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4
4	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0
5	16,5	19,2	20,9	23,1	23,0	19,7	17,7	17,7	17,7	17,7
6	17,4	24,8	23,1	30,8	32,3	26,5	20,0	20,0	20,0	20,0
7	19,6	33,0	24,4	36,7	41,4	35,2	23,4	23,1	23,4	23,4
8	21,8	40,9	26,5	37,8	45,4	41,8	29,3	26,5	26,5	26,5
9	23,8	48,6	29,3	36,7	47,0	46,9	36,5	29,3	29,3	29,3
10	25,8	55,1	31,8	33,5	45,3	49,2	42,9	31,8	31,8	31,8
11	27,7	59,9	34,0	34,0	41,3	48,9	47,8	38,5	34,0	34,0
12	29,2	62,6	35,7	35,7	35,7	46,1	50,4	46,1	35,7	35,7
13	30,7	62,9	30,7	37,0	37,0	41,5	50,8	51,9	44,3	37,0
14	31,6	60,9	37,6	37,6	37,6	37,6	48,7	55,0	51,1	39,3
15	32,0	56,8	37,5	37,5	37,5	37,5	44,6	55,1	55,2	44,9
16	31,8	50,9	36,5	36,5	36,5	36,5	39,3	51,8	55,4	47,8
17	31,1	44,5	35,9	34,9	34,9	34,9	34,9	46,7	52,6	48,2
18	30,1	37,5	35,8	32,7	32,7	32,7	32,7	39,2	45,0	43,5
19	28,4	31,1	32,1	29,6	29,6	29,6	29,6	31,6	34,9	35,0
20	26,8	26,8	26,8	26,8	26,8	26,8	26,8	26,8	26,8	26,8
21	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
22	23,2	23,2	23,2	23,2	23,2	23,2	23,2	23,2	23,2	23,2
23	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5
24	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7
t_{rm}	24,2	36,4	27,6	29,1	30,9	31,2	30,5	31,2	30,9	29,1

Tab. 7 Rovnícenné sluneční teploty vzduchu pro měsíc červenec [14]

A. 3. 3. Tepelná ztráta větráním

Také tepelnou ztrátu větráním $Q_{v,i}=[W]$ je nutné započítat při návrhu otopné soustavy a výpočtu energetické náročnosti celé budovy. Příčinou je nutnost přivádění čerstvého vzduchu do místností z hygienických důvodů. To může být zajištěno prouděním vzduchu štěrbinami a netěsnostmi v plášti budovy. Pokud je objem vyměněného vzduchu tímto způsobem za jednotku času nižší než hygienický požadavek, musíme do výpočtu zahrnout normovou hodnotu dle ČSN EN 12 831. Rovnice pro výpočet tepelné ztráty: [15]

$$Q_{v,i} = V_i \rho c (t_i - t_e)$$

ρ – hustota vzduchu [kg/m^3]

c – měrná tepelná kapacita vzduchu

V_i – vyšší z hodnot objemového toku [m^3/h]

$V_{inf,i}$ – proudění vzduchu štěrbinami a netěsnostmi v plášti budovy

$V_{min,i}$ – normové požadavky z hygienických důvodů

$$V_{min,i} = n_{min} V_m$$

$$V_{inf,i} = 2 V_m n_{50} e_i \varepsilon_i$$

V_m – objem místnosti [m^3]

n_{min} – hygienické minimum dle ČSN EN 12 831 [h^{-1}]

n_{50} – hodnota intenzity výměny vzduchu při rozdílu tlaku 50 Pa [h^{-1}]

e_i – stínící součinitel [-]

ε_i – korekční součinitel výšky od úrovně terénu (vliv větru ve vyšších podlažích) [-]

Hodnoty minimální výměny vzduchu za hodinu pro typ místnosti uvedeny v Tab. 7.

Hygienické minimum dle ČSN EN 12 831	
Typ místnosti	n_{min}
Obytné místnosti	0,5
Kuchyně a koupelny bez oken	1,5
Kanceláře	1
Zasedací místnosti, třídy, apod.	2

Tab. 8 Hygienické minimum n_{min} dle ČSN EN 12 831 [15]

Výše uvedené vzorce platí pouze pro přirozené větrání. Další odlišné návrhy a postupy je nutno aplikovat v případě nuceného větrání. V letním období je naopak nezbytné kalkulovat s teplenými zisky větrání vlivem infiltrace teplého vzduchu do vnitřního prostředí. [15]

A. 3. 4. Tepelné zisky okny

Existuje několik druhů vedení tepla. U tepelných zisků okny se uplatňuje především radiace (vyzařování) a konvekce (proudění). Výpočet pro zátěž konvekcí je ekvivalentní výpočtu pro prostup tepla stěnou.

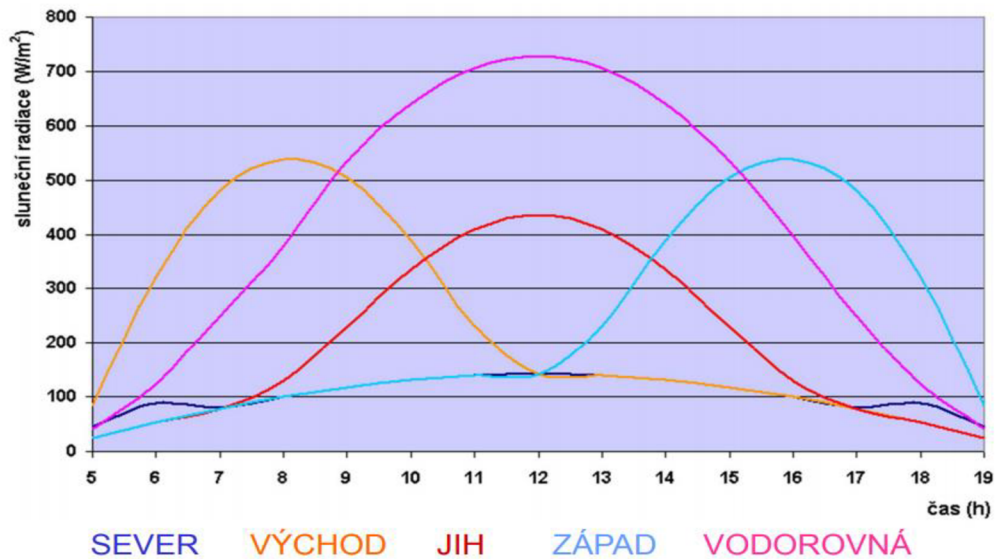
Tepelné zisky okny radiací patří v současné době k rozhodujícím a nejvýznamnějším faktorům ovlivňujícím vnitřní mikroklima budovy v létě a z toho důvodu hrají významnou roli také při návrhu vzduchotechniky pro daný objekt. Existuje několik metod výpočtu radiace. Která z nich bude zvolena záleží především na tom, jaké výstupy mají z výpočtu vzniknout. Korelační denostupňová metoda slouží ke kvantifikaci roční potřeby energie na chlazení. Naopak dynamické metody vedou k určení nejvyšší možné tepelné zátěže místnosti nebo celé budovy. Pro účely praktické části této práce je tato metoda nejdůležitější, neboť její výsledek určuje maximální potřebný výkon klimatizace k pokrytí aktuálních tepelných zisků a je s ní pracováno v simulačním programu. Z tohoto důvodu bude také její podstata nastíněna v teoretické části práce.

Jak již bylo řečeno, tepelné zisky radiací jsou zpravidla největší složkou celé sumy tepelné zátěže místnosti v létě. Musí být proto nalezena hodina, během které se tato zátěž projeví nejvýrazněji. Intenzita sluneční radiace nezáleží pouze na denní době, ale také na orientaci vůči světovým stranám. Jestliže se v místnosti nachází okna z rozdílnou orientací, musí se při výpočtu vyzkoušet více variant denní doby. Hodina, při které je dosaženo nejvyššího součtu radiace všemi okny místnosti, je pak rozhodující pro další postup. Příklad vývoje intenzity radiace v průběhu dne v závislosti na světových stranách na Obr. 3. Polohu slunce vůči oknu popisují směrové veličiny azimut slunce α a výška slunce h nad obzorem, hodnoty v Tab. 10. Azimut stěn se určí podle Tab. 9. [14]

Azimut stěny γ :								
směr	S	SV	V	JV	J	JZ	Z	SZ
γ	0	45	90	135	180	225	270	315

Tab. 9 Azimut stěny γ [14]

Intenzita sluneční radiace I (W/m^2) procházející jednoduchým oknem s ocelovým rámem



Obr. 3 Intenzita sluneční radiace pro vybraný druh okenní konstrukce [14]

Pokud je známa hodina, pro kterou proběhne výpočet, je nyní potřeba určit osluněnou a zastíněnou plochu okna. Pro osluněnou část bude ve výpočtu použita globální radiace, pro zastíněnou difúzní. Výpočet osluněné části okna $S_{os}=[\text{m}^2]$: [14] [16]

$$S_{os} = [l_a - (e_1 - f)] [l_b - (e_2 - g)]$$

$$e_1 = c \tan|\alpha - \gamma|$$

$$e_2 = d \frac{\tan h}{\cos|\alpha - \gamma|}$$

l_a – výška zasklení [m]

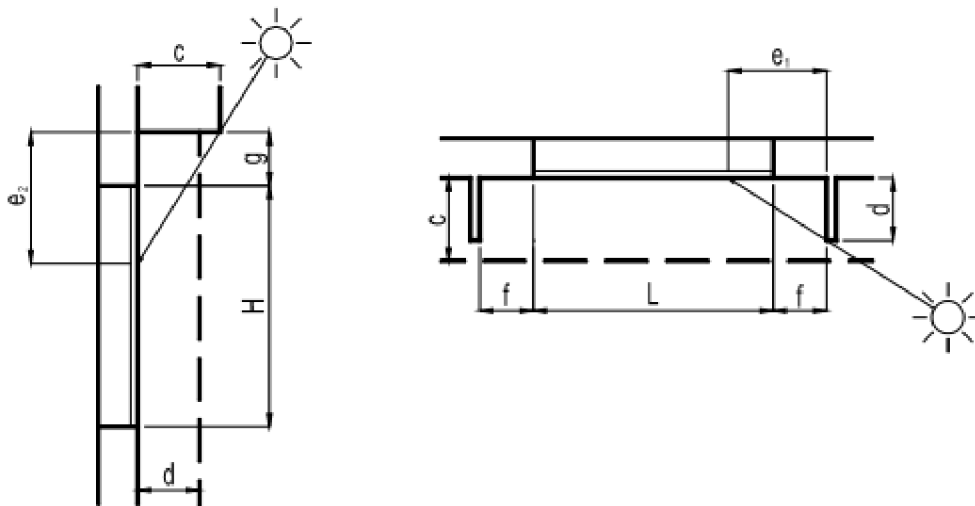
l_b – šířka zasklení [m]

f – odstup od svislé stínící překážky (běžně šířka rámu) [m]

g – odstup od vodorovné stínící překážky (běžně šířka rámu) [m]

c – hloubka okna (venkovní nadpraží, balkón) [m]

d – hloubka okna (venkovní ostění či hloubka vodorovného slunolamu) [m]



Obr. 4 Geometrický model pro výpočet osluněné části okna S_{0s} [16]

Při znalosti geometrie okna a doby pro výpočet intenzity sluneční radiace je možné spočítat samotný tepelný zisk sluneční radiací pro jedno okno $Q_{or} = [W]$:

$$Q_{or} = [S_{0s} I_o c_0 + (S_o - S_{0s}) I_{o,dif}] s$$

c_0 – korekce na čistotu atmosféry [-]

$c_0 = 0,85$ pro městskou a průmyslovou oblast

$c_0 = 1,15$ pro venkovskou oblast

I_o – celková intenzita radiace (globální záření) $[W/m^2]$

$I_{o,dif}$ – intenzita difúzní radiace (nahradí se hodnotou pro severní směr) $[W/m^2]$

s – stínící součinitel [-]

Z použitého vzorce také vyplývá, že nejefektivnější a často také nejlevnějším řešením snížení tepelných zisků radiace je korekce stínicího součinitele. V současné době existuje na trhu celá škála možností, jak se s daným problémem vypořádat. Samotné použití dvojskla pro zasklení snižuje koeficient s na hodnotu 0,9. Při použití tmavé reflexní folie lze dosáhnout hodnot $s=0,25$, s vnějšími lamelovými žaluziemi pak až $s=0,15$ [14] [16].

V následujících tabulkách jsou uvedeny příklady hodnot použitých veličin.

Intenzity sluneční radiace I_0 =[W] pro 21. srpna:									
hod.	S	SV	V	JV	J	JZ	Z	SZ	horiz.
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	41	188	230	145	32	32	32	32	60
7	59	316	476	466	64	59	59	59	169
8	81	277	566	520	164	81	81	81	317
9	99	166	536	598	396	99	99	99	463
10	112	112	408	599	436	114	112	112	576
11	121	121	229	526	523	222	121	121	652
12	123	123	123	388	552	388	123	123	676
13	121	121	121	222	523	526	229	121	652
14	112	112	112	114	436	599	400	112	579
15	99	99	99	99	306	598	536	166	463
16	81	81	81	81	164	520	566	277	317
17	59	59	59	59	64	366	476	316	469
18	41	32	32	32	32	145	230	188	60
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tab. 10 Intenzita sluneční radiace pro 21. srpna [16]

Polohy slunce v závislosti na slunečním čase a roční době:																
		sluneční čas														
	měsíc	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
výška slunce h	12.					6	12	15	17	15	12	6				
	1., 11.				3	10	15	19	20	19	15	10	3			
	2., 10.			0	10	17	23	27	29	27	23	17	10	0		
	3., 9.		1	10	19	27	34	39	40	39	34	27	19	10	1	
	4., 8.	0	9	18	28	37	44	49	51	49	44	37	28	18	9	0
	5., 7.	6	15	25	34	44	52	58	60	58	52	44	34	25	15	6
	6.	9	18	27	37	46	55	61	63	61	55	46	37	27	18	9
sluneční azimut a	12.					139	152	166	180	194	208	221				
	1., 11.				125	138	151	165	180	195	209	222	235			
	2., 10.			109	121	134	148	168	180	196	212	226	239	241		
	3., 9.		89	101	114	127	143	160	180	200	217	233	246	259	271	
	4., 8.	72	83	94	106	120	137	157	180	203	223	240	254	266	277	288
	5., 7.	67	77	88	100	114	131	152	180	208	229	246	260	272	283	293
	6.	64	74	85	97	110	128	151	180	209	232	250	263	275	286	296

Tab. 11 Poloha slunce v závislosti na slunečním čase a roční době [16]

A. 3. 5. Tepelné produkce lidí

Dalším druhem tepelných zisků je produkce lidí $Q_l = [W]$. Množství tepla vyprodukované člověkem závisí na teplotě v interiéru a činnosti kterou vykonává. Pro výpočet uvažujeme pouze produkci citelného tepla. Výchozí hodnotou pro odvození zbylých absolutních hodnot je produkce citelného tepla muže 62 W při mírně aktivní práci při teplotě okolního vzduchu 20 °C. Určit při projekci přesně budoucí obsazenost budovy je prakticky nemožné. Z toho důvodu existuje také více přístupů k tomuto výpočtu. První z nich zohledňuje rozdíl produkce tepla dospělého muže, ženy a dítěte: [4]

$$Q_l = n_l 6,2 (36 - t_i)$$

$$n_l = 0,85 n_z + 0,75 n_d + n_m$$

n_z – počet žen [-]

n_d – počet dětí [-]

n_m – počet mužů [-]

t_i – návrhová teplota interiéru [°C]

Další výpočet již zohledňuje činnost, kterou osoba při dané vnitřní návrhové teplotě vykonává. Vybrané hodnoty jsou uvedeny v Tab. 12.

Produkce tepla a vodní páry od lidí								
činnost člověka	místo činnosti	metabolické teplo	teplota vzduchu					
			24 °C		26 °C		28 °C	
			teplo cit.	v. pára	teplo cit.	v. pára	teplo cit.	v. pára
		[W]	[W]	[g/h]	[W]	[g/h]	[W]	[g/h]
sedící, odpočívající	divadlo, kino	115	74	60	62	79	50	97
sedící, mírně aktivní	kancelář, byt	140	74	98	62	116	50	135
stojící, lehká práce	obchody, sklady	150	72	116	60	134	48	152
chodící, přecházející	obchodní domy	160	77	124	64	143	51	162
lehká práce u stolu	dílny	230	79	225	66	244	53	264
mírný tanec		260	92	250	77	273	62	296

Tab. 12 Produkce tepla a vodní páry od lidí [17]

A. 3. 5. Produkce tepla od ostatních vnitřních zdrojů

Kromě již zmiňovaných tepelných zisků existuje celá řada dalších potenciálních zdrojů. U každé místnosti je nutné zohlednit také produkce tepla svítidly. U tiskáren, serverů a místností s podobným účelem bude tvořit velkou složku tepelné zátěže zisk tepla od elektronických zařízení nebo elektromotorů. Ve stravovacích zařízení je naopak nutné započítat produkce tepla od jídel, u chemických provozů od ventilátorů. Jelikož je tato složka zisků u každé stavby rozdílná, bude uveden příklad produkce od svítidel, kterým je zatížena téměř každá místnost. [4]

Posouzení produkce tepla svítidly je opět velice obtížné. U hlubokých místností se uvažuje s umělým osvětlením ve vzdálenosti větší než 5 m od okna (Obr. 5). U svítidel se předpokládá, že se jejich celý elektrický příkon $P=[W]$ změní v teplo. [18]



Obr. 5 Osvětlovaná plocha [18]

$$Q_{sv} = S_s P_s c_1 c_2$$

S_s – podlahová plocha zmenšená o přirozeně osvětlenou plochu u oken [m^2]

P_s – výkon osvětlení [W/m^2]

c_1 – součinitel současnosti používání svítidel [-]

c_2 – zbytkový součinitel 1, při odsávání vzduchu z okolí svítidel 0,7

A. 3. 7. Vodní zisky

Kromě zisků a ztrát tepla je nutné při návrhu vnitřního klimatu a samotné vzduchotechniky uvažovat také s produkcí vodních par $M_w = [\text{g/s}]$. Zdrojem jsou především lidé, přičemž množství jejich produkce závisí na vnitřní návrhové teplotě a fyzické aktivitě. Dalšími zdroji mohou být pokrmy nebo odpary z mokrých povrchů. Konkrétní hodnoty pro produkci vodní páry od lidí jsou uvedeny v Tab. 12. [17]

A. 3. 8. Předpoklad versus realita

Na závěr této kapitoly je nutné rozvést diskuzi nad zmíněnými normativními hodnotami a výpočty. Při projekci konkrétní stavby pracujeme vždy se vstupními hodnotami, které jsou stanoveny určitou aproximací dat, a je v nich zahrnuto jisté zjednodušení. Například návrhové teploty vnějšího prostředí pro danou lokalitu jsou stanoveny čistě z historických údajů o počasí a nelez tedy říci, že budou za každých okolností platit. Pokud je výpočtová teplota pro návrh otopné soustavy v Brně $-12\text{ }^\circ\text{C}$, nikde není psáno, že teplota v této oblasti nemůže klesnout na $-20\text{ }^\circ\text{C}$. V takové chvíli je naopak nutné spolehnout se na akumulaci tepla konstrukcemi a jiné vnitřní zdroje tepla. Při dlouhodobě přetrvávající nižší teplotě už bude návrhová teplota v interiéru $t_i = [^\circ\text{C}]$ nedosažitelná.

K ještě větším výkyvům dochází v případě zisků v letním období. Stejně jako v zimě zde hraje podstatnou roli aktuální stav počasí. K této proměnné se přidává také obsazenost objektu lidmi a jejich produkce tepla a vodní páry. I přes veškerou snahu projektanta prokonzultovat predikci těchto veličin před samotným návrhem vzduchotechniky a ostatních tepelně technických parametrů stavby, se výsledný stav může velmi lišit od projektovaných hodnot. Na finální stav vnitřního klimatu a tepelnou pohodu mají vliv tedy nejen zkušenosti návrháře, ale také obeznámenost stavebníka s tím, jakým způsobem budovu využívat, jak zacházet s technologií vytápění a vzduchotechniky.

I přes veškerou snahu obou stran může dojít k výrazným výchylkám od projektovaného stavu. Při projekci je tedy také nutné zvážit případnou připravenost stavby pro budoucí úpravy. Téměř žádný investor nebude samozřejmě chtít veškeré

technologie předem předimenzovat, je ale možné například ponechat určitý prostor ve strojnách vzduchotechniky, kotelnách a podobně pro zabudování další technologie v případě potřeby. Mezi jednodušší a méně nákladné dodatečné úpravy v letním období patří instalace předokenních žaluzií, zabudování stínících fólií apod. Za účelem snížení tepelných ztrát v zimním období může dojít k dodatečnému zateplení stavby nebo výměny oken a dveří za modernější kusy s nižším součinitelem prostupu tepla $U=[W/(m^2K)]$.

A. 4. Energetický štítek obálky budovy

Energetický štítek obálky budovy slouží ke klasifikaci stávající nebo projektované stavby s hlediska energetické náročnosti. Vyhodnocuje kvalitu obálkových konstrukcí a tím i nároky na energii potřebnou k vytápění. Zpracování probíhá podle normy ČSN 73 0540-2/2011. Tento způsob hodnocení stavby je nutné odlišit od průkazu energetické náročnosti budovy (PENB), kterému je věnována kapitola A. 5.

V principu jde o porovnání posuzované stavby s fiktivní budovou, jejíž obálkové konstrukce mají hodnotu součinitele prostupu tepla $U_{N,20}$ dle normativních požadavků ČSN 73 0540-2:2011 viz Tab. 5.

Na začátku dokumentu „Protokol k energetickému štítku obálky budovy“ jsou uvedeny identifikační údaje o stavbě a charakteristika budovy. Ta je dána objemem obálky stavby $V=[m^3]$, celkovou plochou $A=[m^2]$, tj. součet vnějších ploch ochlazovaných konstrukcí ohraničujících objem budovy a geometrickou charakteristikou objektu A/V . Dále je zde uvedena převažující vnitřní teplota v otopném období $t_i= [°C]$ a vnější návrhová teplota v zimním období $t_e= [°C]$. Samotnou obálku pak tvoří konstrukce ohraničující obytné místnosti s vnitřní návrhovou teplotou. Například nevytápěné a temperované prostory, garáže apod. se zde nezapočítávají. [19]

Sestaví se tabulka s měrnými ztrátami prostupem tepla pro jednotlivé konstrukce $H_T= [W/K]$.

$$H_T = AU_b$$

A – plocha konstrukce [m²]

U – součinitel prostupu tepla konstrukce [W/(m²K)]

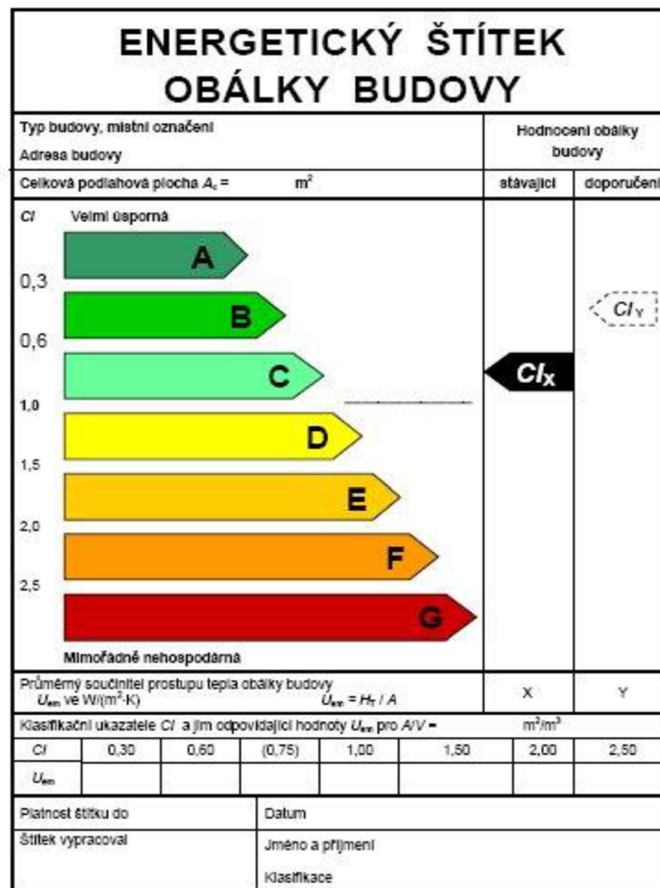
b – redukční činitel zohledňující rozdíly teplot [-]

Součet všech dílčích ztrát s přihlédnutím k tepelným vazbám pak udává celkovou měrnou tepelnou ztrátu prostupem tepla. Ta je vyčíslena také pro referenční budovu. Následujícím výpočtem vzniká veličina $U_{em} = H_T/A$, průměrný součinitel prostupu tepla. Při použití celkové měrné ztráty pro referenční budovu získáme požadovaný součinitel prostupu tepla $U_{em,Nrq}$. 75 % této hodnoty tvoří doporučený součinitel prostupu tepla $U_{em,Nrc}$. Podíl těchto hodnot $U_{em}/U_{em,Nrq}$ je nazýván jako Klasifikační ukazatel *CI* pro hranice klasifikačních tříd. Ty jsou stanoveny jak číselnou hodnotou, tak slovně. Viz Tab. 13. [19] [20]

Klasifikační třídy prostupu tepla obálkou hodnocené budovy		
Klasifikační třída	Slovní vyjádření klasifikace	Klasifikační ukazatel CI
A	Velmi úsporná	≤ 0,3
B	Úsporná	≤ 0,6
C	Vyhovující	≤ 1,0
D	Nevyhovující	≤ 1,5
E	Nehospodárná	≤ 2,0
F	Velmi nehospodárná	≤ 2,5
G	Mimořádně nehospodárná	> 2,5

Tab. 13 Klasifikační třídy prostupu tepla obálkou hodnocené budovy dle ČSN 73 0540-2/2011 [19]

Dle platné normy jsou za vyhovující považovány budovy v kategoriích A až C. Klasifikační třída A odpovídá pasivním domům, třída B nízkoenergetickým domům. Třída C se podrobněji dělí na C1 (budova vyhovuje doporučené hodnotě součinitele prostupu tepla) a C2 (budova vyhovuje požadované úrovni součinitele prostupu tepla). [20]



Obr. 6 Energetický štítek budovy dle ČSN 73 0540-2/2011 [21]

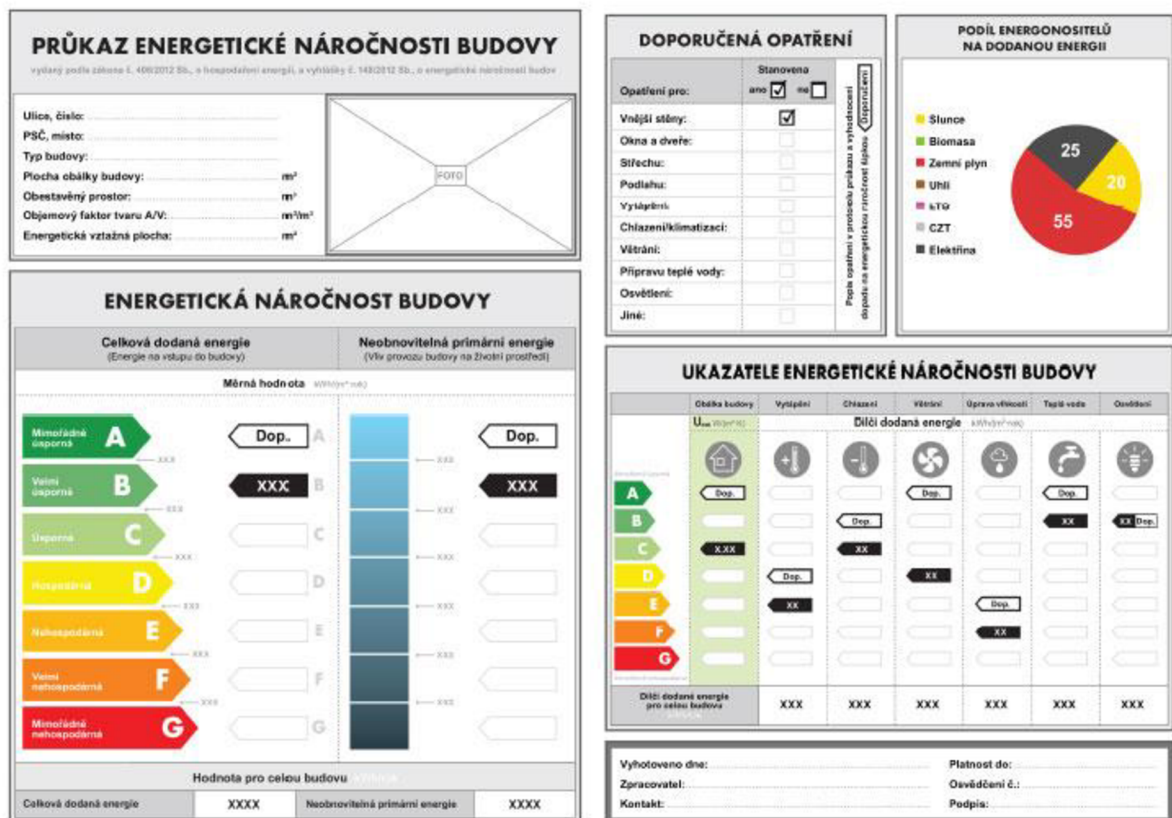
A. 5. Průkaz energetické náročnosti budovy

Povinnost zpracovat dokument „Průkaz energetické náročnosti budovy“ je dána z podstaty zákona č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií. Od roku 2013 vešla v platnost také vyhláška č. 78/2013 o energetické náročnosti budov. Povinnost vypracovat tuto dokumentaci vzniká při výstavbě nových budov. Jeho absence je důvodem pro neudělení stavebního povolení. Dále pak při větších změnách dokončení stavby, které ovlivňují jejich energetickou náročnost a také v případě prodeje nebo nájmu budov nebo jejich částí za určitých podmínek. Existují zákonem dané výjimky, které majitele zbavují povinnosti vypracovat tento posudek. Například u budov z celkovou energeticky vztažnou plochou menší než 50 m² nebo u průmyslových a výrobních provozů, dílenských provozoven a zemědělských budov se spotřebou energie do 700 GJ za rok. [22]

Tento dokument vypovídá o stávající nebo budoucí energetické náročnosti provozu. Na základě vypočítané celkové dodané energie, vztažené na měrnou plochu a rok, je budova obdobně jako v případě „Energetického štítku obálky budovy“ zařazena do energetických kategorií. Potřeba neobnovitelných primárních zdrojů pak určuje vlivu stavby na životní prostředí. V grafické části jsou zpracovány údaje o potřebě energie na vytápění, chlazení, větrání, úpravu vlhkosti, osvětlení a přípravu teplé vody. Dále pak podíl energonositelů na dodanou energii (např. slunce, biomasa, zemní plyn...) a informace o stanovených doporučených opatřeních. Nechybí samozřejmě informace o posuzované stavbě, osobě, která průkaz vystavila a datum zpracování. [23]

V rozsáhlé textové části jsou popsány jednotlivé konstrukce a jejich stavebně fyzikální vlastnosti. Součástí jsou popisy jednotlivých technologických systémů, jejich výkony, účinnosti a podobně. Pro přehlednost je stavba rozdělena do zón, kterým jsou dle projektovaného stavu přiřazeny podíly na potřebě energie. Dokument obsahuje analýzu technické, ekonomické a ekologické proveditelnosti alternativních systémů dodávek energie u nových budov a u větší změny dokončených budov. Pokud se nejedná o novostavbu stanovení doporučených opatření pro snížení energetické náročnosti budovy. [22] [23]

Zpracování PENB je součástí praktické části této práce. Posudek je vytvářen na analyzovanou stávající budovu a výstupy z něj jsou diskutovány v následujících kapitolách nebo jsou přiloženy k textové části práce. Ukázkou grafické části průkazu zobrazuje Obr. 7



Obr. 7 Grafická část Průkazu energetické náročnosti budovy [24]

A. 6. Data o počasí, jejich získávání a analýza

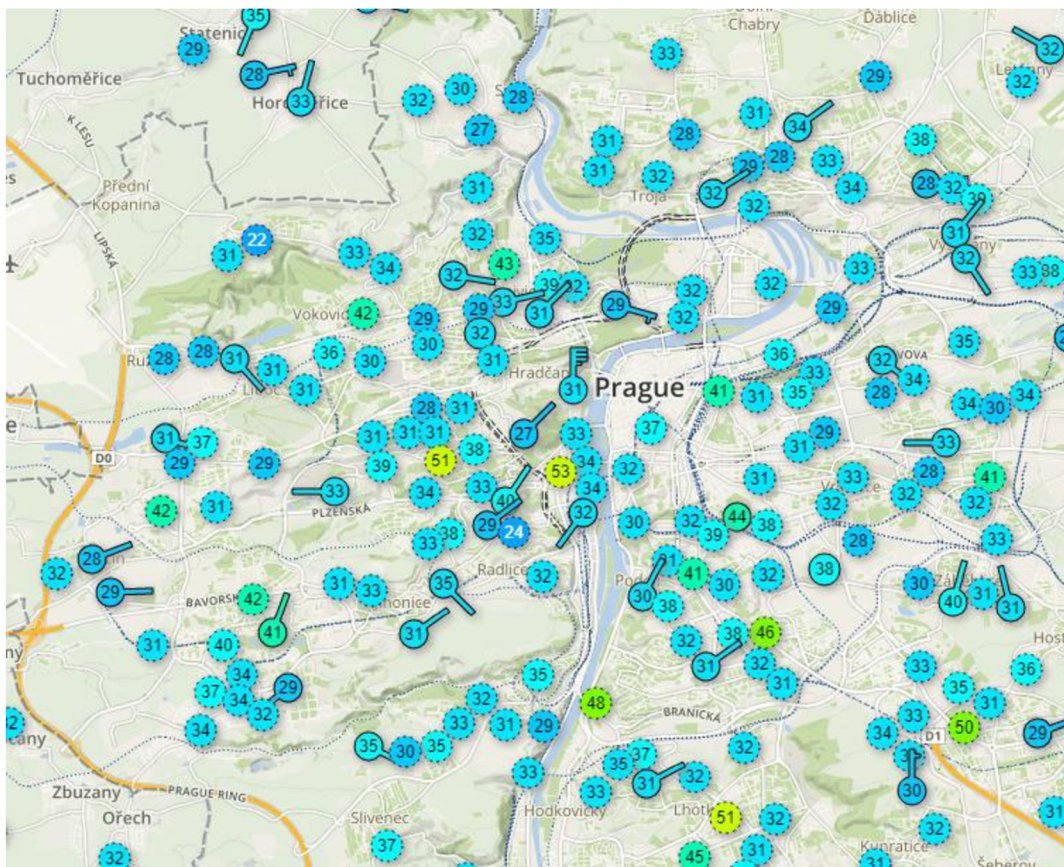
Pokud chceme pomocí softwaru analyzovat reálné chování stavby a změnu vnitřního mikroklimatu na základě vnějších i vnitřních faktorů, které na stavbu působí, je zapotřebí zajistit dvě základní věci. V programu musí být vytvořen model, který svou geometrií, vlastnostmi konstrukcí, technologickým řešením a dalšími ukazateli co nejlépe odpovídá reálnému stavu zkoumané budovy. Z hlediska vnějších podmínek je poté potřeba získat data o počasí, které v dané lokalitě převládá. Softwaru pro vytvoření modelu stavby se věnuje následující kapitola této práce.

Počasí je souhrn meteorologických jevů a veličin charakterizujících stav atmosféry v určitém okamžiku v daném místě. Pokud posuzujeme konstrukce a celou stavbu z hlediska tepelných ztrát a zisků a navrhujeme otopné a vzduchotechnické systémy, spokojíme se s informacemi o podnebí v dané lokalitě, normami stanovenými návrhovými hodnotami a historickými průměry. Pokud potřebujeme

vyhodnotit konkrétní reakce vnitřního prostředí stavby na změny počasí, je potřeba získat přesné údaje z meteorologických stanic v okolí budovy a provést jejich analýzu, popřípadě import do softwaru.

K těmto účelům slouží například webová stránka <https://www.wunderground.com>

Jsou zde zaregistrovány a v mapě zaznačeny operující meteorologické stanice, které je možné dohledat podle jejich identifikačního kódu (ID). Obr. 8.



Obr. 8 Grafické znázornění meteorologických stanic v Praze (www.wunderground.com) [25]

U každé stanice je možné získat grafické zpracování průběhu teplot a ostatních fyzikálních veličin v určitém časovém horizontu. Při analýze dat je potřeba také zvážit věrohodnost informací. Zpravidla nejpresnějšími a nejmodernějšími přístroji na měření dat o počasí disponují mezinárodní letiště. Je proto dobré data

z ostatních stanic porovnat s informacemi získanými z letištních meteorologických stanic. Kromě náhledu na graficky zpracovaná data jde tyto údaje zdarma nebo za poplatek stáhnout pro potřeby importu do simulačních programů. Příklad zpracovaných dat pro potřeby této práce, připravených k importu do softwaru BSim 2002 viz Obr. 9 [25]

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Month	Day	Hour	Ambient temperature	Dew-point temperature	Humidity ratio	Enthalpy	Relative humidity	Global radiation	Diffuse sky radiation	Wind speed	Wind direction
2	Měsíc	Den	Hodina	Teplota okolního vzduchu	Teplota rosného bodu	Měrná vlhkost	Entalpie	Relativní vlhkost	Globální sluneční záření	Difúzní sluneční radiace	Rychlost větru	Směr větru
3				°C	°C	kg/kg	kJ/kg	%	W/m ²	W/m ²	m/s	°
4	1	1	1	3,2	1,7	0,0037	12,5	89,9	0	0	2,4	20
5	1	1	2	3,1	1,8	0,0041	13,2	91,0	0	0	1,3	0
6	1	1	3	3,1	1,9	0,0045	14,3	91,9	0	0	1,4	0
7	1	1	4	3,1	1,9	0,0049	15,4	92,0	0	0	3,1	0
8	1	1	5	2,8	1,6	0,0052	15,8	92,0	0	0	2,0	60
9	1	1	6	2,4	1,2	0,0055	16,2	92,0	0	0	2,1	70
10	1	1	7	2,0	0,8	0,0056	16,2	92,1	0	0	0,0	70
11	1	1	8	1,8	0,7	0,0014	5,3	92,6	0	0	2,0	80
12	1	1	9	1,7	0,7	0,0014	5,2	93,0	5	25	2,0	80
13	1	1	10	2,4	1,4	0,0015	6,2	93,0	74	28	2,0	60
14	1	1	11	5,0	3,7	0,0015	8,8	91,4	174	34	0,0	0
15	1	1	12	8,0	4,9	0,0015	11,9	80,6	222	37	0,0	0
16	1	1	13	8,8	4,0	0,0016	12,9	72,0	110	37	0,0	0
17	1	1	14	8,9	3,1	0,0017	13,2	67,0	73	34	0,0	0
18	1	1	15	9,1	2,3	0,0017	13,5	62,4	43	67	0,0	0
19	1	1	16	8,4	2,3	0,0019	13,3	65,5	12	17	0,0	0
20	1	1	17	6,8	2,1	0,0020	11,9	71,7	0	0	0,0	0
21	1	1	18	5,4	1,6	0,0022	11,0	76,5	0	0	4,0	90
22	1	1	19	3,6	0,9	0,0022	9,1	82,5	0	0	0,0	0
23	1	1	20	3,1	1,0	0,0027	9,8	86,1	0	0	3,0	60
24	1	1	21	2,3	0,4	0,0029	9,6	86,8	0	0	2,0	130

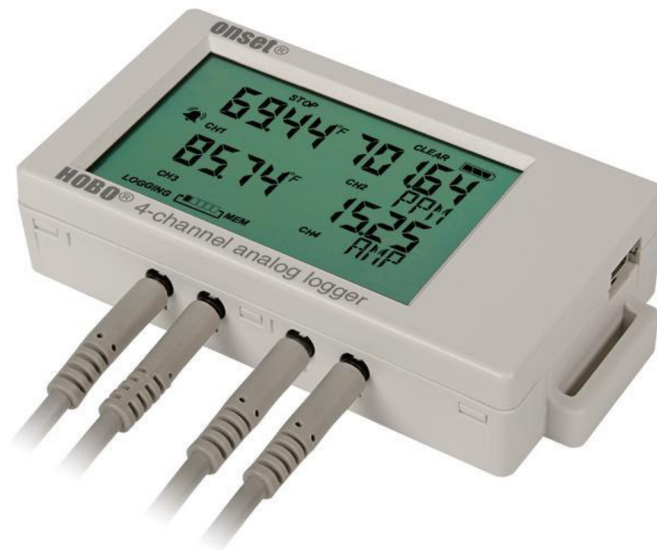
Obr. 9 Zpracovaná data z meteorologické stanice, připravená k importu do programu BSim 2002

A. 7. Získávání dat o vnitřním prostředí budovy

Pokud máme informace o změnách počasí a tím i fyzikálních veličinách, které na stavbu působí, je důležité mít také údaje z vnitřního prostředí. Jinými slovy vědět, jak vnitřní klima budovy reaguje na vnější změny. Snahou projektanta je tyto výkyvy eliminovat nebo snížit na minimum, aby nedocházelo k odchýlkám od návrhových hodnot veličin, charakterizujících vnitřní prostředí jednotlivých místností. V případě, že k těmto výkyvům dochází, je možné pomocí softwaru simulovat stavební úpravy a jejich dopad na změnu chování prostředí. Tímto způsobem se dá vyhodnotit a

navrhnout efektivní řešení, jak vzniklý problém eliminovat. Příkladem může být přehřívání místností v letním období vlivem radiace. Dataloggery naměřily velké výchylky vnitřní teploty od navrhované. Zároveň byla do programu vložena přesná data o počasí během dní, kdy z výchylkám došlo. Za pomoci softwaru jsem schopni vyzkoušet například zvýšení výkonu klimatizace nebo zabudování předokenních rolet.

Přístrojů na měření dat o vnitřním prostředí budovy nebo místnosti je na trhu celá řada. Nejčastěji měřenými veličinami jsou teplota, teplota rosného bodu a relativní vlhkost. Příklad data loggeru od firmy OneTemp, model HOBO UX120 4-Channel Analogue Data Logger na Obr. 10.



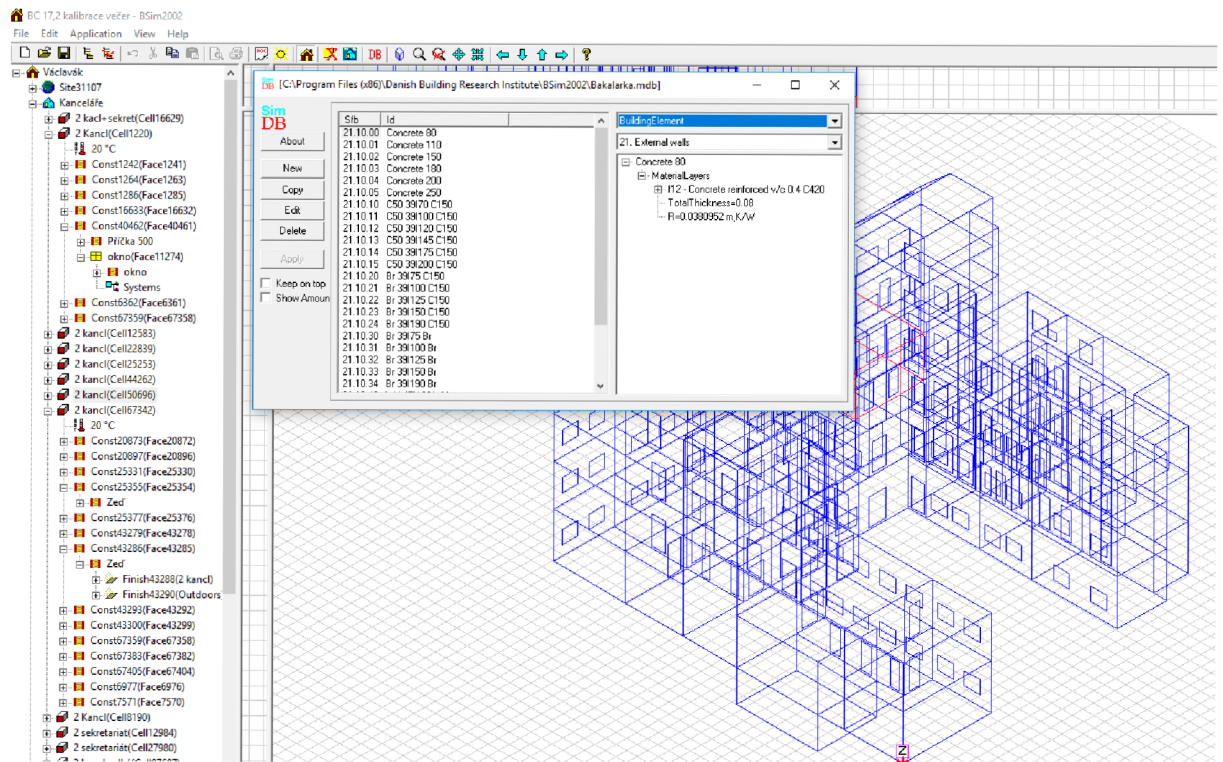
Obr. 10 HOBO UX120 4-Channel Analogue Data Logger [26]

A. 8. Software pro simulaci chování budovy – Bsim 2002

Existuje celá řada programů, ve kterých je možné vytvořit model zkoumané budovy, analyzovat jeho tepelně technické vlastnosti a za pomoci simulací určitých stavů predikovat chování reálné stavby. V praktické části této práce je model vytvořen v programu BSim2002, proto je o něm informováno také zde. Autorem tohoto softwaru je Danish Building Research Institute.

Principem práce v tomto programu je vytvoření geometrického modelu posuzované budovy. Je nutné, aby vytvořené místnosti a části objektu disponovaly stejnými objemy a plochami konstrukcí, jako skutečná stavba. Konstrukcím jsou přiřazeny hodnoty fyzikálních veličin a tepelně technických vlastností dle potřeby. U obvodových konstrukcí se jedná především o součinitel prostupu tepla, akumulární schopnosti materiálů, u povrchů pak odrazivost, barva a podobně. Je možné využít zabudovanou databázi konstrukcí a materiálů nebo si vytvořit vlastní. Po dokončení modelu je objekt systematicky rozdělen na zóny. Následuje import informací o obsazenosti objektu, technických parametrech chlazení, vytápění, osvětlení a ostatních technologiích v jednotlivých zónách. Jsou vložena data o počasí z dané lokality (buď formou přesného sběru z meteorologické stanice, nebo použitím údajů z tzv. „typického meteorologického roku“). Tato fáze tvorby modelu se nazývá kalibrace. Snahou je docílit shodného chování modelu budovy s reálnou stavbou. Shoda se kontroluje například porovnáním průběhů veličin (teplota, vlhkost) ve sledovaném období u vytvořeného modelu a průběhů stejných veličin naměřených dataloggerů v budově. Další možností je srovnání spotřeb energií na jednotlivé technologické systémy.

Jakmile je model zkalibrován, je vhodný k provádění úprav za cílem dosažení stabilnějšího stavu vnitřního prostředí, snížení nebo zvýšení teploty, tepelných ztrát a zisků a podobně. Zde už záleží na předem stanoveném zadání, například požadavku investora. Práce s programem je podrobně popsána v praktické části této práce. Ukázka uživatelského prostředí softwaru Obr. 11 [27]



Obr. 11 Uživatelské prostředí programu BSim 2002

B Praktická část

B. 1. Popis objektu

Na úvod této kapitoly je nutné zmínit informaci, která ovlivňuje celkové řešení praktické části této práce, zkoumaní budovy a práci s informacemi ohledně stavebních konstrukcí, technologického zázemí a užívání objektu. Budova je velmi náročná po stránce dispoziční, architektonické a stavebně-konstrukční. K vytvoření modelu stavby byla k dispozici pouze velmi stará výkresová dokumentace a technická zpráva o rekonstrukci budovy. Veškeré podklady pochází z roku 1995 a jsou v tištěné podobě. Budova jako celek spadá pod památkovou ochranu, neboť jde o architektonicky cennou stavbu. Její historie sahá do druhé poloviny 19. století, za hodnotné se považují především propracované detaily na průčelí stavby.



Obr. 12 Fotografie posuzované stavby

Lokalita

Stavba se nachází v Praze v jihovýchodní části Václavského náměstí. Přesná adresa není uváděná z důvodu anonymity práce. Budova je umístěna uprostřed městské zástavby, což má z hlediska tepelně technického chování stavby vliv především na vyšší zisky v letním období. Jedná se o řadovou zástavbu. Kromě hlavní části budovy, viditelné na Obr. 16 patří k domu také dvě křídla přístupná ze dvora. Ta jsou také stavebně propojena s okolní zástavbou.

Vyšetřovaná část budovy

Další důležitou informací o tomto objektu je fakt, že v rámci vytváření modelu, simulací a hodnocení v praktické části té je pracováno pouze s ucelenou částí této stavby. Důvodem je funkční a vlastnické dělení objektu a tedy také požadavek na zpracování modelu pouze ucelené části objektu. Předmětem výzkumu jsou 4 patra čelní části stavby (1NP, 2NP, 3NP a 4NP). Dále 2 patra jižního křídla a 2 patra severního křídla budovy (vždy 1NP a 2NP). Suterén a přízemí objektu patří provozovateli kavárny Starbucks. V 3 NP a 4 NP severního křídla se nachází administrativní a obytné prostory, které také provozuje jiný majitel.

Suterén

V suterénu se nachází především skladovací prostory a technické zázemí pro prostory kavárny v 1 NP

Přízemí

Převažující část tohoto patra slouží jako provozovna stravovacího zařízení, konkrétně kavárna Starbucks. K prostorům provozovny náleží také sklady, technické zázemí a hygienické zařízení. Přes podjezd domu vede průchod na dvůr, ze kterého je možné vstoupit do námi vyšetřované části objektu – administrativních prostor. Další vstup je umožněn také přes provozovnu kavárny. V přízemí se nachází také trafostanice a ve dvoře parkovací prostory.

1 NP

V tomto podlaží jsou situovány reprezentativní prostory, recepce, kanceláře, ale také kuchyňka a jídelna pro zaměstnance. Dále pak velké množství komunikačních prostor, hygienické zázemí a menší skladovací prostory.

2 NP

Druhé nadzemní patro slouží především jako kancelářské prostory. V jižní části stavby je umístěn sekretariát, v severní poté archiv a skladovací prostory. Zbytek podlahové plochy tvoří komunikační prostory, hygienické zázemí a sklad.

3 NP

Funkčně se toto patro podobá 2 NP. Navíc je tu vstup na střešní terasu nad jižním křídlem objektu, která je využívána k relaxaci. V severním křídle se nachází 2 bytové jednotky, které nepatří k vyšetřované části budovy.

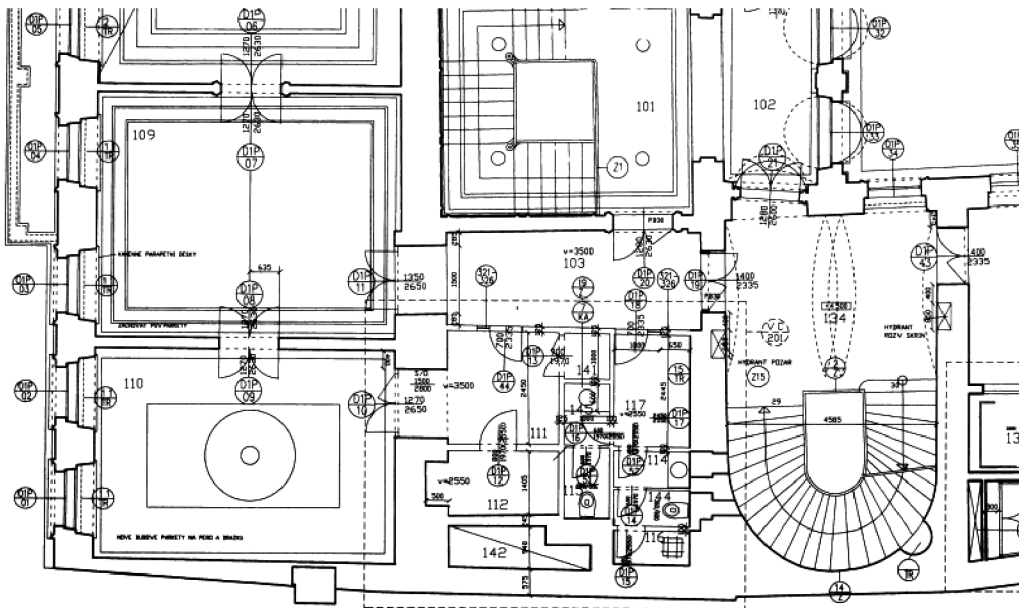
4. NP

V poslední patře jsou především kancelářské a reprezentativní prostory. V severním křídle je umístěna strojovna topení a vzduchotechniky. Kancelářské prostory v jihozápadní části jsou prosvětlené střešními okny. Tato část stavby je kritická při posuzování tepelné zátěže v létě. Dochází zde k vysokým ziskům tepla sluneční radiací.

Svislé konstrukce

Obecně lze říci, že získat přesné informace o konstrukcích, jejich tloušťkách a tepelně-technických vlastnostech této konkrétní stavby je téměř nemožné. Konstrukčně je stavba velmi složitá, ve výkresové dokumentaci chybí celá řada důležitých kót a technická zpráva obsahuje pouze zmínku o druhu konstrukce. Na základě prohlídky stavby, prostudování výkresové dokumentace a konzultace se správcem budovy byly pro výpočet zvoleny dva typy vnějších obvodových stěn. Čela

obou křídel a stěny, přiléhající k okolním budovám jsou tvořeny plnými cihelnými bloky o tloušťce 500 mm a součiniteli prostupu tepla $U=1,23 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Zbylé vnější obvodové stěny, především historické průčelí budovy, jsou tvořeny také plnými cihelnými bloky, ovšem tloušťka činí 650 mm a součiniteli prostupu tepla $U=0,96 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Jelikož nejsou tyto veličiny přesně dané, bude zvolený předpoklad ověřen při kalibraci budovy v softwaru. Příklad složitosti obvodových konstrukcí je uveden na Obr. 13.



Obr. 13 Výřez půdorysu 1 NP – ukázka výkresové dokumentace z roku 1995

Vodorovné konstrukce

Stropní konstrukce jsou tvořeny dřevěnými trámy a železobetonovými roznášecími deskami. Tloušťka stropní konstrukce a podlahy byla vyčtena ze starší výkresové dokumentace, tj. 500 mm. Součiniteli prostupu tepla $U=0,77 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Střecha

Střešní konstrukce je řešena jako dvouplášťová. Vzhledem k nedávné rekonstrukci její tepelně technické vlastnosti vykazují lepší hodnoty než její obvodový plášť. Je proto také dobře známa její tloušťka, tj. 595 mm a součiniteli prostupu tepla $U=0,29 \text{ W}/(\text{m}_2\text{K})$. Tloušťka pochůzí terasy nad 2 NP v jižním křídle činí 475 mm a součiniteli prostupu tepla $U=0,3 \text{ W}/(\text{m}_2\text{K})$.

Výplně otvorů

Jelikož se jedná o historickou budovu, okna a dveře nemají dobré tepelně izolační vlastnosti. Okna s dřevěným rámem a dvojitým zasklením vykazují hodnoty součinitele prostupu tepla $U=2,39 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Dřevěné vstupní dveře potom $U=2,34 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Vytápění

Budova je vytápěna pomocí 3 plynových kotlů Wolf NG 30E o výkonu 3x40 kW. Rozdělení výkonu pro jednotlivé zóny popsané v kapitole B. 3. 8.

Chlazení

V budově se nachází systém chlazení

- CHL 1 - 2x WESPER CWP RC R407C BLN25

Celkový chladicí výkon činí 175,4 kW pro celou budovu. Pro posuzovanou část objektu je vyhrazený chladicí výkon 87,7 kW. Rozdělení výkonu pro jednotlivé zóny popsané v kapitole B. 3. 8.

Objekt je vybaven parapetními fan-coil jednotkami v kombinaci s nástěnnými nebo podhledovými. Každá jednotka je individuálně regulovatelná.

B. 2. Úprava dat o počasí pro kalibraci modelu

Při vytváření modelu zkoumané budovy je zlomovým bodem jeho kalibrace. Tedy ověření, že stavba, vytvořená v programu BSim 2002, reaguje na vnější podmínky a jejich změny podobně jako skutečná budova v Praze. K tomuto kroku je nutné získat data o počasí z vybrané části roku (ve které bude kalibrace probíhat), data upravit pro potřeby programu a vhodným způsobem je vložit.

Jelikož budou na modelu dále probíhat simulace chování budovy za určitých podmínek, je žádoucí a pro samotný program také nezbytné, aby byla vložena data o počasí z celého kalendářního roku. K tomuto účelu poslouží soubor dat z takzvaného typického meteorologického roku (TMY – typical meteorological year). Jedná se o shrnutí údajů o počasí, příslušící dané lokalitě, přičemž výstupem jsou průměrné hodnoty pro jeden kalendářní rok.

K účelům kalibrace budou ve vybraném období (14 dní v měsíci srpnu) nahrazena data TMY za přesné údaje o počasí z roku 2017, vypočítané z údajů získaných z meteorologických stanic v Praze v blízkosti Václavského náměstí.

Byly vybrány 3 meteorologické stanice z okruhu 3 kilometrů od posuzované stavby. Ze serveru <https://www.wunderground.com/wundermap> byla stažena data o počasí v období od 14. 8. 2017 do 28. 8. 2017. ID použitých stanic: [25]

IPRPRAGU2

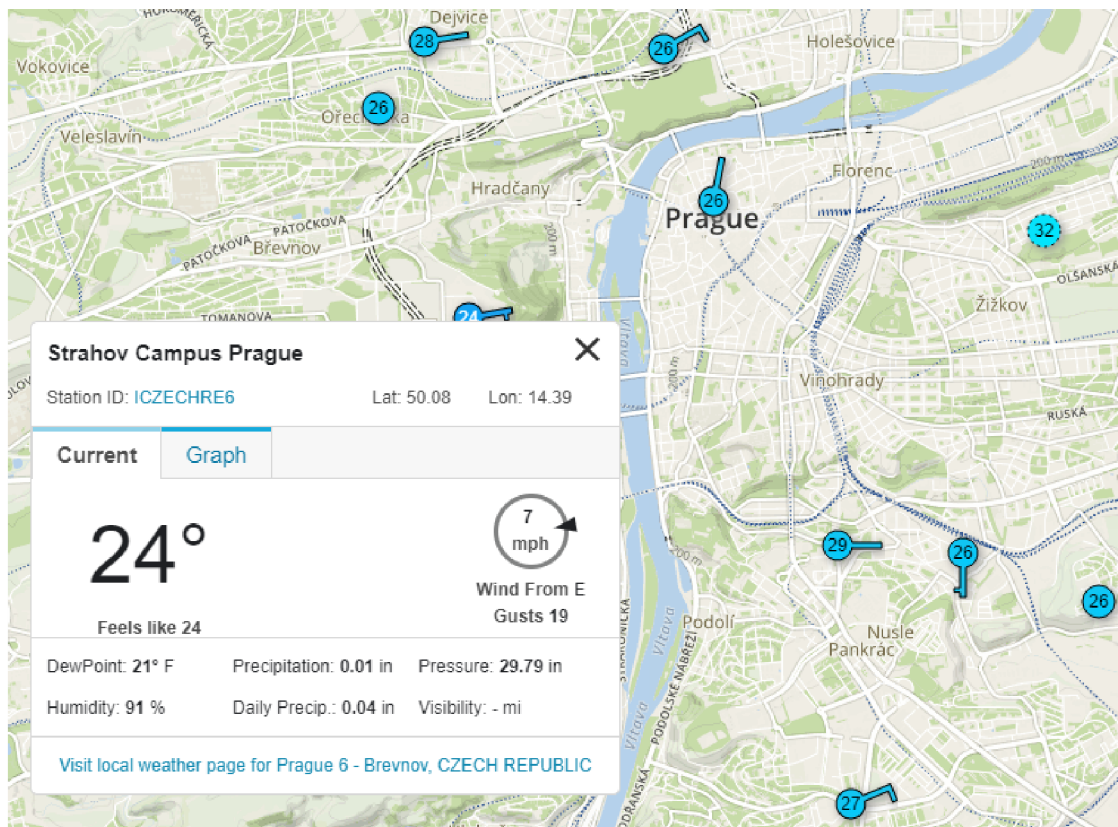
ICZECHRE6

IPRAGUE367

Stanice byly voleny podle několika kritérií. Nejdůležitější je vzdálenost od objektu. Podmínkou je, aby alespoň dvě vybrané stanice získávaly data o sluneční radiaci, která spolu s venkovní teplotou patří k nejdůležitějším údajům o počasí. Dále byla zohledněna nadmořská výška stanic, okolní zástavba a důvěryhodnost institutu.

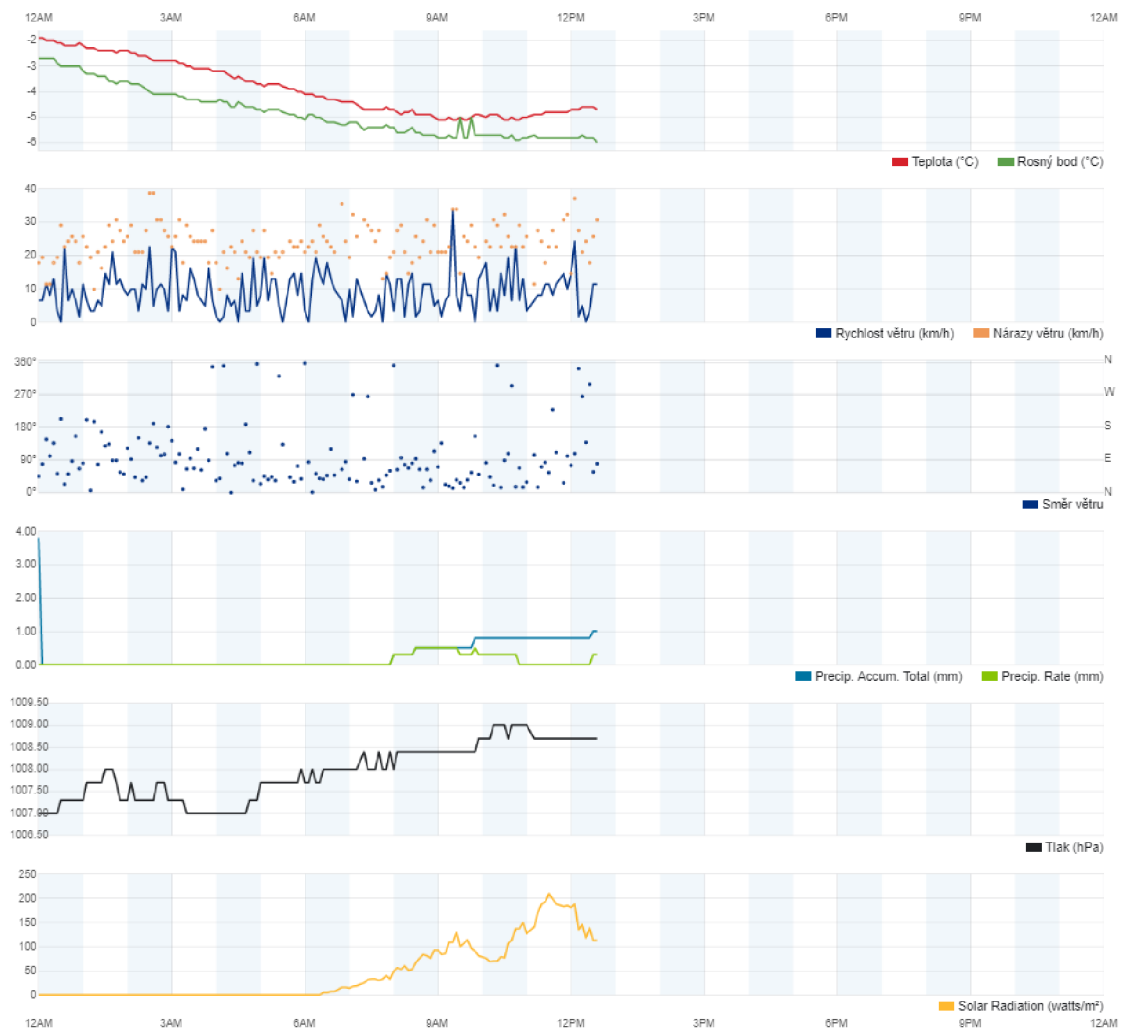
Jako příklad bude podrobněji popsána stanice s ID ICZECHRE6. Ta se nachází cca 2,58 kilometrů západně od Václavského náměstí. Nadmořská výška stanice je

278 m. n. m. B. p. v. Z ní je možné zdarma získat informace o aktuální venkovní teplotě, teplotě rosného bodu, rychlosti a směru větru a jeho nárazech, úhrnu srážek, tlaku vzduchu a solární radiaci. Umístění stanice Obr. 14, příklad zobrazení dat o počasí ze dne 17. 3. 2018 Obr. 15.



Obr. 14 Umístění stanice s ID ICZECHRE6 [25]

Weather History Graph
March 17, 2018



Obr. 15 Příklad zobrazení dat ze stanice ID ICZECHRE6 pro 17. 3. 2018 [28]

Kromě zmiňovaných náhledů je také možné stáhnout data pro účely dalšího zpracování ve formátu .csv. Zpracování dále probíhá v programu Microsoft Excel 2013.

Data typického meteorologického roku, která jsou konvertována a vložena do programu BSim 2002, musí obsahovat číselné hodnoty pro tyto veličiny v příslušných jednotkách:

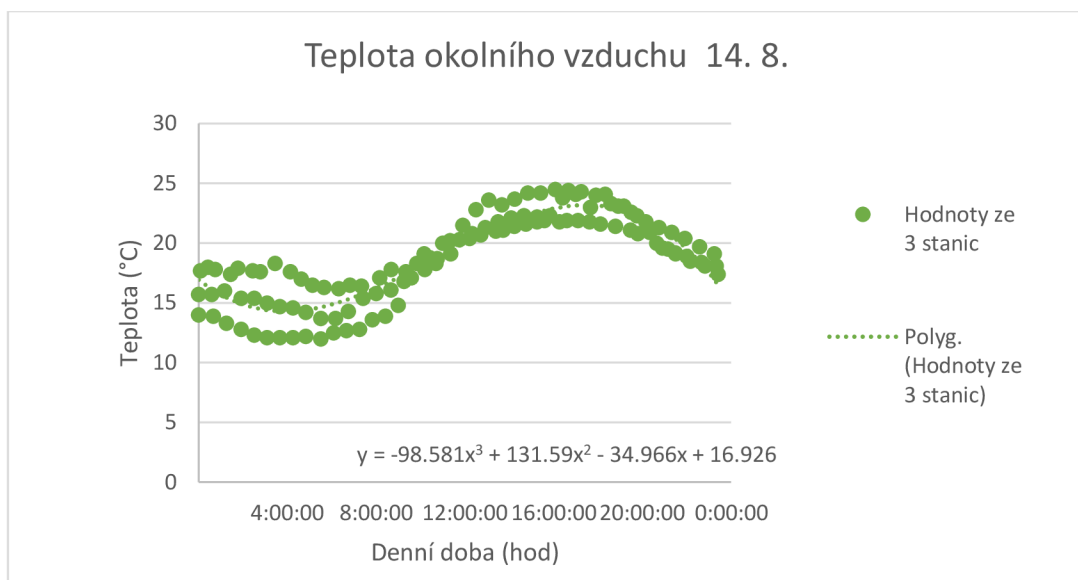
- Měsíc [-]
- Den [-]
- Hodina [-]
- Teplota okolního vzduchu [°C]
- Teplota rosného bodu [°C]
- Měrná vlhkost [kg/kg]
- Entalpie [kJ/kg]
- Relativní vlhkost [%]
- Globální sluneční radiace [W/m²]
- Difúzní sluneční radiace [W/m²]
- Rychlost větru [m/s]
- Směr větru [°]

Data jsou v programu Excel zobrazena viz Obr. 16. Je proto nutné je rozřadit do jednotlivých sloupců, chybějící veličiny (např. měrná vlhkost a entalpie) dopočítat a přebývající veličiny (např. úhrn srážek a UV index) odstranit.

2	2017-08-14,00:00:00,14,12.7,72,1.0,0.4,270,270,W,1023.2,,,,,0,0,0,0,,Cumulus v3.0.0	
3	2017-08-14,00:40:00,13.9,12.8,93,1.6,4.8,225,225,SW,1023.6,,,,,0,0,0,0,,Cumulus v3.0.0	
4	2017-08-14,01:15:00,13.3,12.2,93,0,0,0,0,North,1023.6,,,,,0,0,0,0,,Cumulus v3.0.0	
5	2017-08-14,01:55:00,12.8,11.7,93,0,0,0,0,North,1023.6,,,,,0,0,0,0,,Cumulus v3.0.0	
6	2017-08-14,02:30:00,12.3,11.2,93,3.2,6.4,225,225,SW,1023.9,,,,,0,0,0,0,,Cumulus v3.0.0	
7	2017-08-14,03:05:00,12.1,11.1,94,0,9.7,0,0,North,1023.9,,,,,0,0,0,0,,Cumulus v3.0.0	
8	2017-08-14,03:40:00,12.1,11.3,95,0,3.2,0,0,North,1023.9,,,,,0,0,0,0,,Cumulus v3.0.0	
9	2017-08-14,04:15:00,12.1,11.3,95,0,6.4,0,0,North,1023.9,,,,,0,0,0,0,,Cumulus v3.0.0	
10	2017-08-14,04:50:00,12.2,11.4,95,0,3.2,0,0,North,1023.9,,,,,0,0,0,0,,Cumulus v3.0.0	
11	2017-08-14,05:30:00,12,11.2,95,1.6,1.6,315,315,NW,1023.9,,,,,0,0,0,0,,Cumulus v3.0.0	
12	2017-08-14,06:05:00,12.5,11.9,96,0,3.2,0,0,North,1024.3,,,,,0,0,0,0,,Cumulus v3.0.0	
13	2017-08-14,06:40:00,12.7,12.1,96,1.6,3.2,360,360,North,1024.3,,,,,0,0,0,0,15,0,,Cumulus v3.0.0	
14	2017-08-14,07:15:00,12.8,12.3,97,0,3.2,0,0,North,1024.9,,,,,0,0,0,0,54,0,,Cumulus v3.0.0	
15	2017-08-14,07:50:00,13.6,13.1,97,1.6,3.2,360,360,North,1024.9,,,,,0,0,0,0,91,0,,Cumulus v3.0.0	
16	2017-08-14,08:25:00,13.9,13.3,96,0,6.4,0,0,North,1024.9,,,,,0,0,0,0,114,0,,Cumulus v3.0.0	
17	2017-08-14,09:00:00,14.8,14.2,96,4.8,11.3,45,45,NE,1024.9,,,,,0,0,0,0,158,0,,Cumulus v3.0.0	

Obr. 16 Příklad zobrazení dat z meteorologické stanice před úpravou

Následuje úprava dat na potřebný formát pro program BSim 2002. Každá veličina je vyšetřována zvlášť a to v denním kroku. Důvodem je fakt, že pro kalibraci budovy je nutné znát hodnoty veličin pro celé hodiny. Každá meteorologická stanice však získává hodnoty veličin v jiném časovém intervalu (10, 15, 20, 30 minut). Proto byl použit následující postup. Pro daný den a danou veličinu je vytvořen graf hodnot ze všech 3 zkoumaných meteorologických stanic. Grafem je proložena polynomická spojnice trendu. Výsledkem je kvadratická rovnice třetího nebo čtvrtého řádu. Graf s vloženou kvadratickou rovnicí pro teplotu okolního vzduchu ze dne 14. 8. 2017 Obr. 17.



Obr. 17 Graf a rovnice pro teplotu okolního vzduchu ze dne 14. 8. 2017

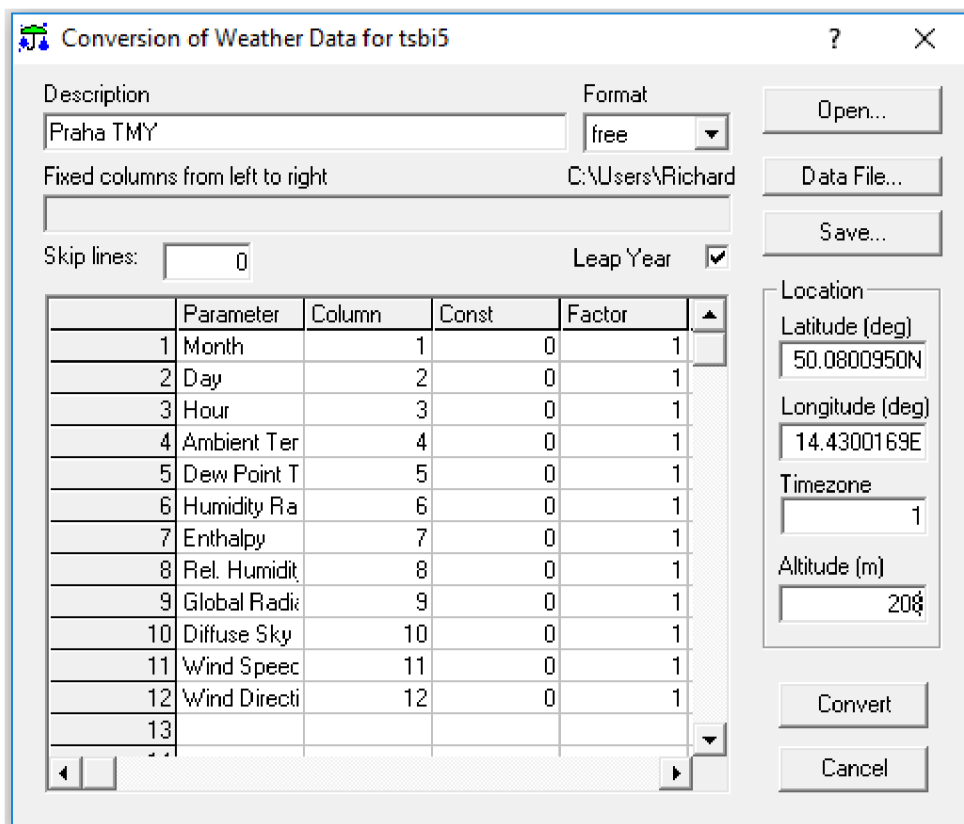
Následuje dopočet teplot pro jednotlivé hodiny (hodnoty „y“). Pro teploty okolního vzduchu ze dne 14. 8. 2017 má kvadratická rovnice tvar:

$$y = 36,914x^4 - 170,16x^3 + 175,79x^2 - 44,184x + 17,317$$

Za hodnoty „x“ se dosadí celočíselné násobky čísla 1/24 od 0 do 23, každé číslo reprezentuje jednu hodinu. Výsledné teploty se vloží do souboru typu .xls ve formátu podle Obr. 9 (Zpracovaná data z meteorologické stanice).

V programu BSim 2002 lze také konvertovat soubory do potřebného formátu (.wdf). Společně se souborem dat o počasí je také nutné zadat informace o poloze budovy. Ty jsou pro případ objektu na Václavském náměstí následující:

- Zeměpisná šířka: 50.0798886N
- Zeměpisná délka: 14.4301419E
- Nadmořská výška: 208 m. n m.
- Časové pásmo: +1 hod



Obr. 18 Práce s daty o počasí v BSimu 2002

Nyní je možné k vytvořenému modelu stavby upravená data o počasí typického kalendářního roku, doplněná o zpracovaná data z meteorologických stanic za období 14. – 28. 8. 2017, vložit pomocí funkce „Add site“.

B. 3. Tvorba modelu budovy

Hlavním cílem praktické části této práce je vytvoření modelu posuzované stavby v simulačním programu BSim 2002, jeho kalibrace a následné zhodnocení tepelně technických vlastností objektu, parametrů technologických zařízení a případná simulace možných změn, které povedou k větší tepelné pohodě v budově. Jelikož se jedná o rozsáhlou stavbu s vysokým počtem místností, rozdílnými konstrukcemi a nedokonale zdokumentovanou, důležitým bodem vytváření modelu je přiměřené zjednodušení geometrie, fyzikálních vlastností materiálů a konstrukcí a optimální volba zón pro následné rozdělení výkonů vytápění a chlazení a vkladu dalších zdrojů tepelné zátěže.

Nejprve bude uveden postup při vytváření modelu, následně bude každý krok tvorby detailně popsán.

Postup

1. Analýza dostupné výkresové dokumentace
2. Analýza konstrukcí a materiálů
3. Definice konstrukcí v programu
4. Návrh zjednodušení geometrie
5. Tvorba geometrického modelu
6. Vazby na okolní budovy a zbylé části posuzované stavby
7. Rozdělení modelu na jednotlivé zóny
8. Přiřazení výkonu pro chlazení a vytápění pro jednotlivé zóny
9. Vložení tepelné zátěže a ztráty od ostatních zdrojů
10. Vložení dat o počasí z TMY
11. Kalibrace

Pokud je splněno všech 11 bodů a kalibrace proběhne úspěšně, lze prohlásit, že model budovy na Václavském náměstí se bude po stránce fyzikální chovat velmi podobně jako skutečná stavba. Bude tedy možné zhodnotit, jestli vnitřní mikroklima jednotlivých zón odpovídá normativním požadavkům. Pokud ne, v programu jde simulovat případné změny, které by vedly k zlepšení tohoto stavu.

B. 3. 1. Analýza dostupné výkresové dokumentace

Jak už bylo zmíněno v kapitole B. 1., u této konkrétní stavby nastává první problém již u vstupních údajů. Výkresová dokumentace pochází z roku 1995 a je pouze v papírové podobě. Důležité ale je, že pro tvorbu modelu jsou podstatné především údaje a ploše jednotlivých místností a pater a jejich světlá či konstrukční výška. Tato data stará výkresová dokumentace obsahuje. K dispozici jsou půdorysy všech modelovaných pater a svislý řez budovou vedený schodištěm. Tyto výkresy jsou součástí příloh práce P5.

TABULKA MÍSTNOSTI

C M	UCEL	M2	POVRCHY			POZNAMKY
			PODLAHA	STENY	STROP	
101	SCHODI HALA	1146	STAV TERACO	STUK OMITKA	STUK OMITKA	
102	RECEPCE	1109	STAV TERACO	STUK OMITKA	STUK OMITKA	
103	HALA	1184	TERACO	STUK OMITKA	SADROKARTON	
104	CEKANI	1874	PARKETY	STUK OMITKA	STUK OMITKA	
105	ZIMNI ZAHRAVA	1405	KAMEN DLAŽBA	STUK OMITKA	STUK OMITKA	
106	KNIHOVNA	3993	REST PARKETY	STUK OMITKA	VZ NB	
107	KONFER MISTN	6165	REST PARKETY	STUK OMITKA	STUK OMITKA	
108	KONFER MISTN	5221	REST PARKETY	STUK OMITKA	STUK OMITKA	
109	KONFER MISTN	3703	REST PARKETY	STUK OMITKA	STUK OMITKA	
110	KONFER MISTN	3070	PARKETY	STUK OMITKA	STUK OMITKA	
111	PREDSIN	597	PARKETY	STUK OMITKA	SADROKARTON	
112	TELEFON	339	PARKETY	STUK OMITKA	SADROKARTON	
113	KANCELAR	735	KOBEREC	STUK OMITKA	STUK OMITKA	
114	PREDSIN	152	KERAM DLAŽBA	STUK OMITKA	SADROKARTON	KERAM OBKLAD
115	WC	150	KERAM DLAŽBA	STUK OMITKA	SADROKARTON	
116	UKLID	142	KERAM DLAŽBA	STUK OMITKA	SADROKARTON	KERAM OBKLAD
117	PREDSIN-SATNA	464	KERAM DLAŽBA	STUK OMITKA	SADROKARTON	
118	PREDSIN	480	KOBEREC	STUK OMITKA	STUK OMITKA	
119	ZAZEMI	1908	KOBEREC	STUK OMITKA	STUK OMITKA	
120	CHODBA	715	KOBEREC	STUK OMITKA	SADROKARTON	

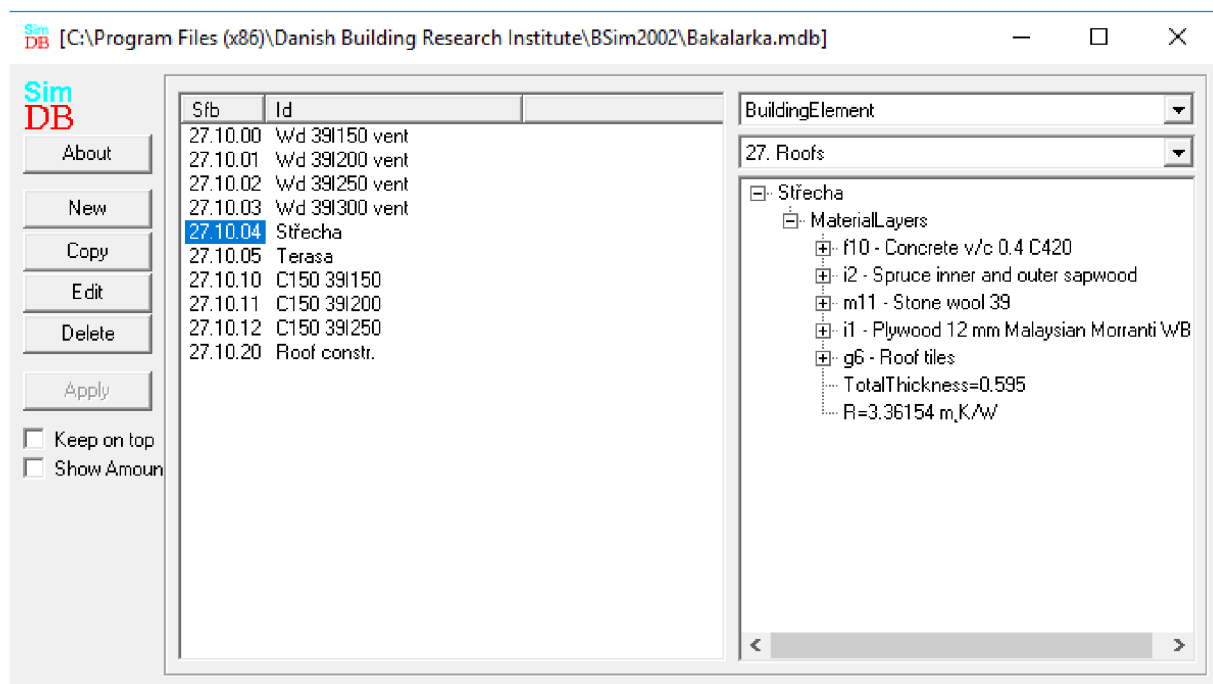
Obr. 19 Část tabulky místností z 1 NP

B. 3. 2. Analýza konstrukcí a materiálu

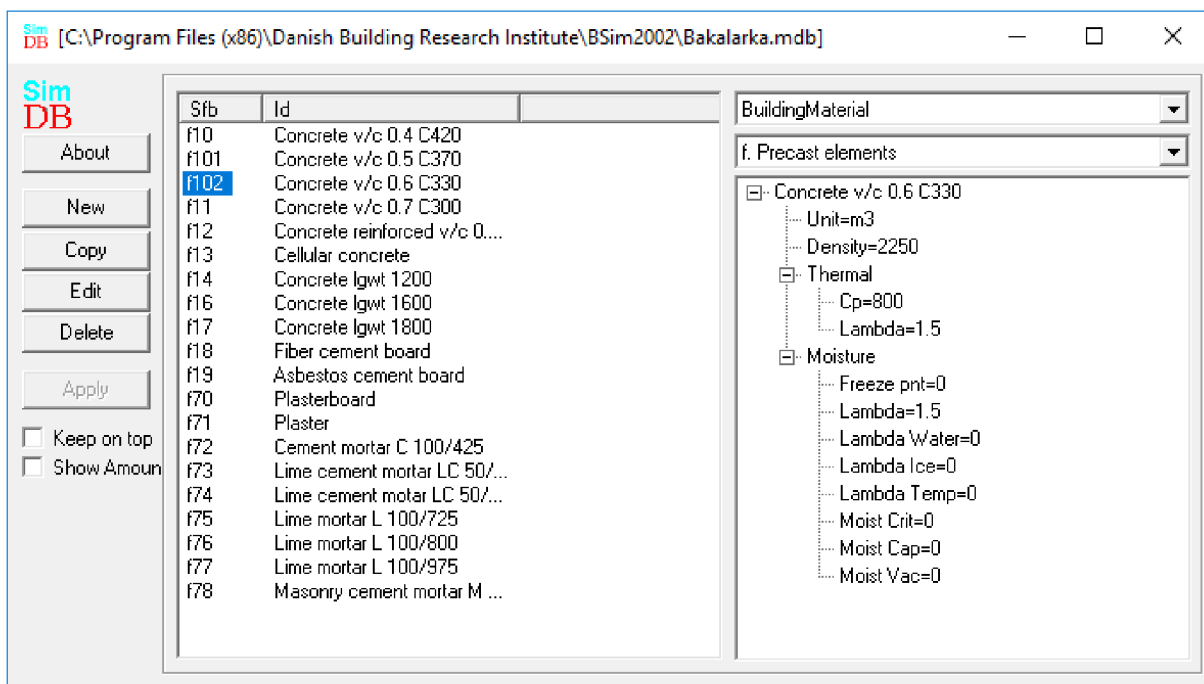
Nyní je potřeba si uvědomit, jaké konstrukce budou součástí budoucího modelu a jestli jsou veškeré potřebné informace o materiálech, které je tvoří, dostupné. Pro potřeby programu BSim 2002 je nutné znát především tloušťku jednotlivých vrstev konstrukcí a celkový tepelný odpor konstrukce $R=[m^2K/W]$. Požadavky na znalost hodnot fyzikálních veličin se u jednotlivých materiálů liší, u výplně oken je potřeba znát například hodnotu celkové propustnosti solárního záření $s=[-]$.

B. 3. 3. Definice konstrukcí v programu

Nyní je možné definovat konstrukce a jejich materiály také v softwaru. Program BSim umožňuje využít vloženou databázi, vytvářet kopie jednotlivých položek, kombinovat je mezi sebou nebo nadefinovat vlastní hodnoty. Při tvorbě konstrukcí pro účely této práce bylo ve většině případů využito možnosti sestavit vlastní konstrukci z již definovaných materiálů. Příklad vytvořené střešní konstrukce na Obr. 20, příklad definice materiálu na Obr. 21. Pro kontrolu je nutné sledovat minimálně celkovou tloušťku konstrukce $t_l=[m]$ a hodnotu tepelného odporu $R=[m^2K/W]$.



Obr. 20 Skladba již definované střešní konstrukce a její parametry (BSim 2002)



Obr. 21 Možnost definice materiálu – beton (BSim 2002)

Definované konstrukce pro vytvoření modelu budovy na Václavském náměstí a popis oblasti použití v Tab. 14

Definované konstrukce				
Název	Kategorie	Oblast použití	Tloušťka [mm]	U [W/(m ² K)]
Zed'	External walls	Vnější nosné zdi	650	0,96
Zed'500	External walls	Vnější nosné zdi a zdi sousedící s okolními stavbami	500	1,23
Příčka	Internal walls	Příčky	125	2,72
Příčka 500	Internal walls	Vnitřní nosné zdivo	500	1,36
Strop+podl	Floors	Stropní konstrukce a podlaha	500	0,77
Střecha	Roofs	Dvouplášťová plochá střecha	595	0,29
Terasa	Roofs	Terasa nad 2 NP - severní křídlo	475	0,3
Okno	External windows	Okna	-	2,39
Dveře	External windows	Vnější i vnitřní dveře	-	2,34

Tab. 14 Definované konstrukce v programu BSim 2002

B. 3. 4. Návrh zjednodušení geometrie

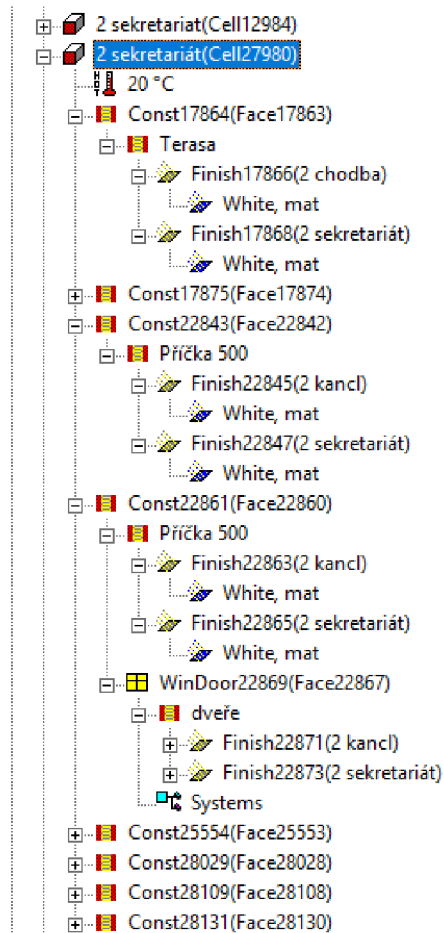
V tomto bodě je nutné zohlednit fakt, že posuzovaná budova je velmi složitá geometrie, obsahuje velké množství menších místností a rozhodně není žádoucí naprosto přesně vystihnout jejich tvar a počet. Naopak uměním je vytvořit takový model, který bude funkčně velmi podobný, ale bude snadné v něm dělat následné úpravy, vkládat informace o technologických zařízeních a v případě použití více uživateli bude snadné se v něm vyznat. Důvodem odstupů od přesné kopie reálného stavu je samozřejmě také časová náročnost, spojená s vyššími finančními náklady na tvorbu modelu, ale také třeba omezení ze strany výkonů počítačů, na kterých je s modely pracováno. Veškeré procesy v programu BSim 2002 jsou pro procesor a grafickou kartu velmi náročné.

Při návrhu modelu budovy na Václavském náměstí je zvolen přístup, při kterém bude vytvořen větší počet místností (Rooms). Již při návrhu geometrie je nutné se zamyslet nad budoucím dělením prostorů do zón, tedy celků, do kterých se následně rozdělí výkony vytápění, klimatizace a další zátěže. I přes vyšší počet místností u tohoto modelu bude skutečný počet 166 redukován na 68. Budou sjednocené především místnosti s obdobným využitím, hygienické místnosti a navazující komunikační prostory. Sloučit lze také místnosti oddělené nízkými a lehkými příčkami.

Důležité je při návrhu geometrického modelu respektovat celkové objemy skutečných místností, plochy podlah a plochy obálkových konstrukcí.

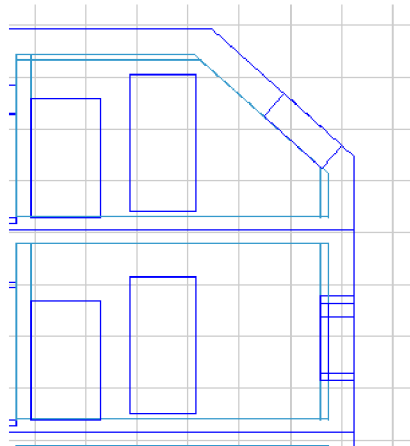
B. 3. 5. Tvorba geometrického modelu

Při tvorbě modelu části objektu na Václavském náměstí byl nejprve vždy načrtnut půdorys daného patra a byly přepočítány plochy a objemy budoucích místností v softwaru tak, aby reflektovaly skutečný stav. Byly navrženy vazby mezi prostory s přihlédnutím k navrženým konstrukcím. Celkový geometrický tvar podlaží je shodný se skutečným stavem. Poté je vytvořeno patro v programu BSim 2002, které tvoří místnostmi tvaru kvádrů. Stěnám (Constructions) jsou přiřazeny definované konstrukce, barvy (finals) a následně jsou do ni umístěny otvory (windoors). Příklad vytvořené místnosti na Obr. 22.



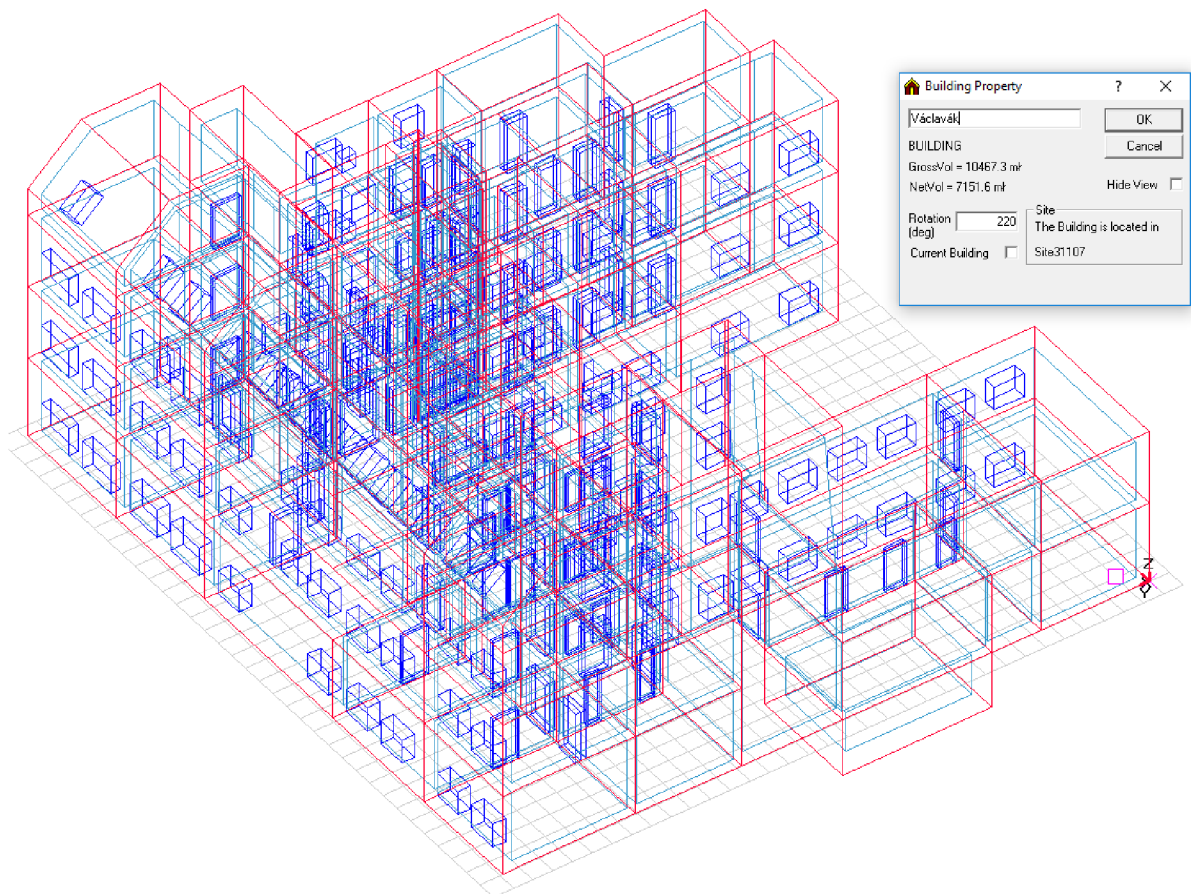
Obr. 22 Příklad vytvořené místnosti – sekretariát ve 2 NP (BSim 2002)

Následuje modelování dalších tří pater. Respektovány jsou světlé výšky místností a konstrukční výšky jednotlivých pater. Ve 4 NP je z hlediska geometrie důležité zkosení čelní stěny a vložení střešních oken, které jsou významným zdrojem tepelných zisků v letním období. Situace nastíněna v Obr. 23.



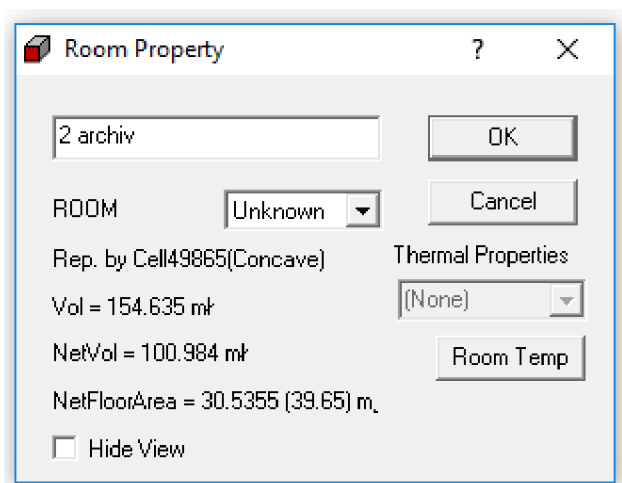
Obr. 23 Zkosení místností a střešní okna ve 4 NP – průčelí (BSim 2002)

Výsledkem této části práce je geometrický model, který obsahuje 68 místností (Cells).



Obr. 24 Geometrický model posuzované části budovy (BSim 2002)

Při otevření okna konkrétní místnosti (Room Property) je možné získat informace o geometrii této buňky. Na Obr. 25 je uveden příklad pro archiv umístěný ve 2 NP. Celkový objem této vytvořené místnosti je 154,6 m³, čistý volný objem poté 101 m³. Podlahová plocha je rovna 30,5 m².



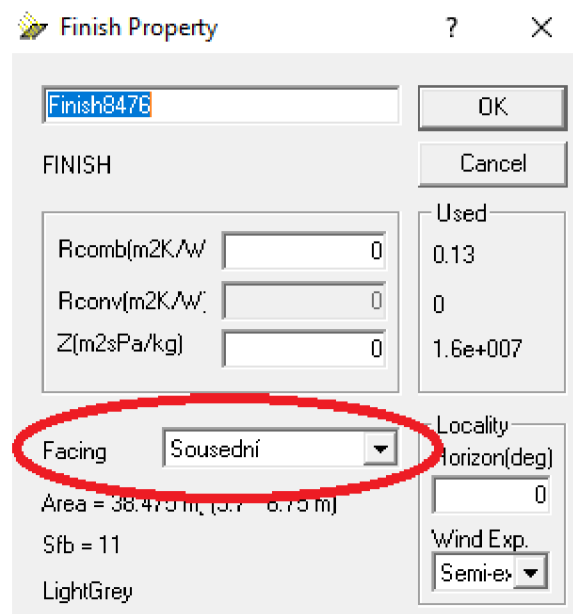
Obr. 25 Informace o modelu místnosti archivu ve 2 NP (BSim 2002)

B. 3. 6. Vazby na okolní budovy a zbylé části posuzované stavby

Po vytvoření geometrického modelu stavby je nutné definovat vazby místností na své okolí. Program automaticky přiřadí všem obvodovým stěnám modelu vazbu na zónu exteriér (Outdoor). V případě střechy, průčelí a stěn budovy orientovaných do dvora lze tento stav ponechat. Budova na Václavském náměstí je svými bočními stěnami přímo napojena na okolní zástavbu. Tyto konstrukce tedy nebudou vystaveny působení vlivů počasí z exteriéru, ale budou (většinou pozitivně) ovlivňovány vnitřním klimatem okolních staveb. Obdobně jsou řešeny také vazby podlaží 1 NP na prostory kavárny pod ním, ale také tepelně technické napojení posuzovaných částí budovy na zbylé prostory objektu, které spravuje jiný vlastník a nejsou proto součástí tohoto modelu.

Je vytvořena speciální zóna (Sousední), která reprezentuje všechny výše uvedené prostory (sousední budovy, prostory kavárny pod 1 NP, zbylé části objektu). V této zóně je nastavena teplota interiéru 21 °C a také nekonečně velký výkon chlazení a

vytápění, které zajistí jednostranné ovlivnění posuzované části stavby. Při analýze spotřeb energie je nutné zónu „Sousední“ z výpočtů odebrat.



Obr. 26 Nastavení sdílení vazeb jednotlivých zón

B. 3. 7. Rozdělení modelu na jednotlivé zóny

Tato část práce vyžaduje podrobnou analýzu funkce objektu. Takzvané zónování modelu slouží k lepšímu vyjádření rozložení tepelných zisků a ztrát v objektu, rozdělení technologií a jejich výkonů a podrobnější analýze chování budovy. Se zónami se pracuje při kalibraci modelu, predikci chování budovy v budoucnosti nebo po provedení určitých stavebních a technologických úprav a při tvorbě PENB.

Budova na Václavském náměstí je rozdělena do 5 zón. Dalo by se říci, že takový počet je pro rozsáhlou administrativní budovu standardní. Navyšování počtu již vede k nepřesnému dělení objektu, náročné kalibraci a tím v praxi také ke zvyšování ceny za tvorbu modelu. Kromě funkčního rozdělení objektu bylo při volbě zón také zohledněno umístění dataloggerů. Jinými slovy každá vytvořená zóna je sledována minimálně jedním přístrojem na analýzu vnitřního klimatu. Výjimku tvoří pouze hygienické zázemí. Rozdělení bylo konzultováno také se správcem objektu, obsluhou

strojovny a mimo jiné vychází z osobní prohlídky. Následuje popis jednotlivých zón a souhrnná tabulka Tab. 15

Kanceláře

V prostorách probíhá práce v sedě. Je zde vyšší hustota obsazení, velké množství výpočetního zařízení. Zóna zahrnuje také zasedací místnosti pro velký počet lidí. Jedná se o největší zónu v objektu. Prostupuje všemi patry.

Administrativa

Tato zóna zahrnuje prostory s menší hustotou obsazení než Kanceláře. Obsahuje menší množství výpočetního zařízení a slouží především k práci ve stoje a mírném pohybu (archiv, recepce) nebo pro relaxaci a občerstvení zaměstnanců (jídelsna, herna, čajovna). Prostupuje všemi patry.

Komunikační prostory

Chodby, schodišťové prostory, předsíň, vstup. Tyto prostory jsou vytížené zejména ráno a v odpoledních hodinách. Neobsahují téměř žádná zařízení, není zde instalován systém chlazení. Zóna prostupuje všemi patry.

Hygiena

Tuto zónu není potřeba nějak blíže specifikovat. Neprochází u ní kalibrace a složí pouze jako pomocná. Je také prostorově nejmenší a neobsahuje systém chlazení. Prostupuje všemi patry.

4. patro

Tato zóna je pro posuzovanou stavbu obzvlášť důležitá. Funkčně je velice podobná zóně Kanceláře. Jsou zde pouze administrativní prostory pro práci v sedě. Z hlediska tepelné techniky je však velice specifická díky velkému množství střešních oken orientovaných na jihozápad. Díky této skutečnosti tu dochází

k největším tepelným ziskům sluneční radiací a také velkým ziskům vlivem prostupu tepla konstrukcí. Zóna se nachází pouze ve 4 NP.

Zónování objektu					
Název	Počet místností	Celkový objem [m ³]	Čistý objem [m ³]	Celková podlahová plocha [m ²]	Čistá podlahová plocha [m ²]
Kanceláře	30	5705	4074	1270	1036
Administrativa	11	1309	913	315	253
Komunikační prostory	14	899	569	219	161
Hygiena	6	507	321	126	92
4. patro	7	1158	736	327	268

Tab. 15 Zónování objektu

B. 3. 8. Přiřazení výkonu pro chlazení a vytápění pro jednotlivé zóny

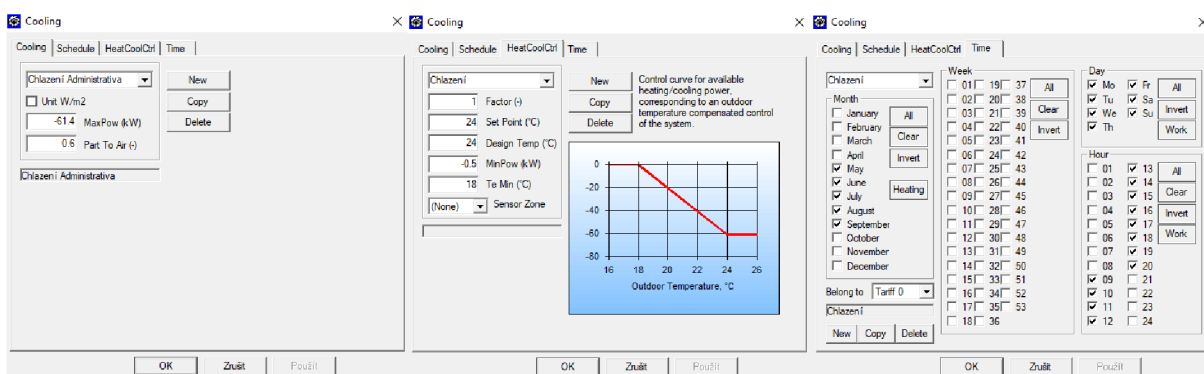
K vytvořeným zónám je nyní potřeba přiřadit poměrný výkon z celkového výkonu pro vytápění a chlazení posuzované části budovy. Z kapitoly B. 1. (Popis objektu) jsou již známé celkové výkony, tj. 120 kW pro potřeby vytápění a 87,7 kW pro potřeby chlazení. Poměrové dělení pro jednotlivé zóny probíhá na základě obhlídky objektu, konzultace s provozovatelem stavby a správcem strojovny. Stav musí ale do jisté míry také logicky korespondovat s poměrem velikostí zón v programu BSim 2002. Je vytvořen určitý předpoklad rozdělení, jehož přesnost se ověří při kalibraci modelu.

Rozdělení výkonů chlazení a vytápění				
Název	Vytápění [%]	Vytápění [kW]	Chlazení [%]	Chlazení [kW]
Celkem	100	120	100	87,7
Kanceláře	38	45,6	42	36,8
Administrativa	25	30	45	39,5
Komunikační prostory	8	9,6	0	0,0
Hygiena	4	4,8	0	0,0
4. patro	25	30	13	11,4

Tab. 16 Rozdělení výkonů chlazení a vytápění do jednotlivých zón

Kromě rozdělení výkonů je nutné u každé zóny daný systém úpravy teploty nastavit. Zadávaní údajů o systému v budově bylo opět konzultováno s provozovatelem objektu a údržbou strojovny.

Definice systému chlazení (Cooling) probíhá následovně. Je nutné nastavit především požadovanou teplotu v interiéru (Set point), návrhovou teplotu v interiéru (Design temperature), minimální výkon chladící soustavy (MinPow) a teplotu, při které tento minimální výkon bude využit (Te Min). V budově na Václavském náměstí se předpokládá provoz chladících systému od začátku května do konce září od 9:00 do 20:00 každý den včetně víkendů. Příklad nastavení pro zónu Administrativa viz Obr. 27. [29]



Obr. 27 Nastavení systému chlazení pro zónu administrativa (BSim 2002)

B. 3. 9. Vložení tepelné zátěže a ztráty od ostatních zdrojů

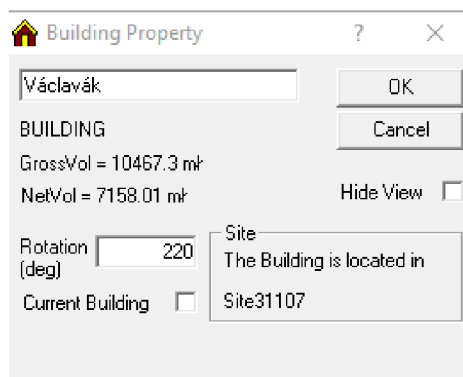
Nyní je nutné zohlednit tepelné zisky a ztráty budovy od ostatních zdrojů. Pro posuzovaný objekt se jedná především o tepelnou produkci lidí, zařízení (počítače, tiskárny, skenery). Dále pak infiltrace a větrání, které se započítávají do zisků, nebo ztrát podle aktuální venkovní teploty. Nejedná se však o pouhé vložení počtu zařízení a osob do jednotlivých zón. Veškeré zmiňované zdroje jsou proměnné v čase jak během týdne (rozdíl obsazení budovy během pracovních dnů a víkendů), tak v průběhu dne (v nočních hodinách dochází k nižší produkci tepla zařízeními a budova je obsazena minimálně). Příkladem lze uvést hodnoty produkce tepla pro jeden stolní počítač (100 W), tiskárnu (500 W) a člověka vykonávajícího nenáročný pohyb – chůzi (120 W).

Vliv těchto 4 systému nelze dopředu přesně určit. Je zde pouze určitý předpoklad, vycházející s počtu místností, jejich účelů a velikostí. Právě díky tomuto faktu bude probíhat kalibrace modelu na základě těchto neznámých. Z tohoto důvodu bude tato problematika rozebrána podrobně v kapitole B. 3. 11. (Kalibrace)

B. 3. 10. Vložení dat o počasí z TMY

Dalším krokem je vložení dat o počasí z typického meteorologického roku, obohaceného o zpracovaná data z meteorologických stanic z okolí budovy. Postup zpracování je popsán v kapitole B. 2. (Úprava dat o počasí pro kalibraci modelu)

Budovu je nutné také správně orientovat podle světových stran. Nastavení zobrazeno na Obr. 28, z výkresové dokumentace byla odečtena hodnota 220°.



Obr. 28 Nastavení orientace stavby

B. 3. 11. Kalibrace

Závěrečným bodem v postupu vytváření modelu budovy nebo její části je kalibrace. Jedná se o snahu dosáhnout co nejmenších rozdílů v chování skutečně stavby a vytvořeného modelu v závislosti na stavu a změnách počasí. Vytváří se takový souborů vlivů na model, který co nejlépe odráží skutečný stav. Kontrola správnosti tohoto nastavení spočívá v porovnání dat o teplotách odečtených z dataloggerů uvnitř jednotlivých zón budovy s daty, které získáme při simulaci průběhů teplot v programu BSim 2002.

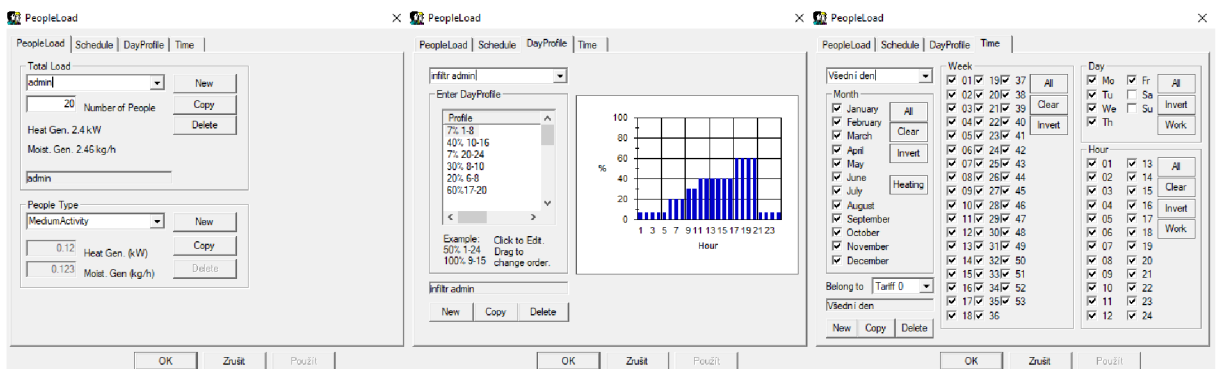
Kalibrace může probíhat různými způsoby, v různém období o rozdílné délce. Vždy je nutné určit, které období je pro danou stavbu a posuzovaný stav nejdůležitější, které veličiny jsou známy a které je možné v rámci kalibrace upravovat. V případě objektu na Václavském náměstí je pro kalibraci klíčové letní období, kdy může docházet k přehřívání stavby a vnitřní teplota se v jednotlivých zónách v průběhu dne mění. Z tohoto důvodu byly pro kalibraci vybrány 3 dny z měsíce srpna v roce 2017. Konkrétně jde o data 15. – 17. 8. 2017. Důvodem výběru je velmi vysoká venkovní teplota a také vysoká míra sluneční radiace v prvních dvou dnech. Dne 17. 8. 2017 pak dochází k výraznému ochlazení a snížení radiace, lze tedy posoudit, jakým způsobem model reaguje na tuto změnu. Správnost kalibrace lze ověřit v dalších letních dnech.

Nyní je nutné určit, které veličiny jsou přesně známy a které budou předmětem kalibrace. U stavby na Václavském náměstí jsou známy především skladby konstrukcí, geometrie a velikosti místností a jednotlivých zón. Dále byly na základě konzultace s pracovníkem strojevný určeny výkony pro vytápění a chlazení jednotlivých zón, způsobu nastavení systému regulace a denní rozvrh systémů.

Neznámými parametry pro posuzovanou část objektu jsou tedy především tepelné zisky od produkce lidí a zařízení, infiltrace otvory, větrání stavby a výměna vzduchu mezi jednotlivými zónami (uplatněno především mezi zónou „Komunikační prostory“ a zbylými zónami). Při zadávání těchto systémů se vycházelo z několika zdrojů informací o provozu stavby. Navrhovaný předpoklad byl projednán z provozovatelem části budovy a pracovníkem strojevný vzduchotechniky.

Pomůckou je také spočítaná podlahová plocha jednotlivých místností a z ní vycházející předpoklad o obsazenosti budovy.

Jak již bylo zmíněno, u takto rozsáhlé stavby se specifickým způsobem využívání není možné popisované systémy nastavit se 100% přesností. Jako typický příklad pro toto tvrzení může být nepravidelnost konání jednání v zasedacích místnostech, během nichž dochází ke zvyšování tepelné zátěže lidmi, ale také větrání konkrétních zón vlivem migrace vyššího počtu lidí. Na druhu stranu zachytit tendence je návrhem denního profilu jednotlivých systémů možné. Jde především o rozdíly v procentuálním vlivu každé zátěže během dne a rozdílů hodnot mezi víkendem a pracovním dnem. Nastavení všech systému pro každou zónu je součástí přílohy této práce. Na Obr. 29 je uveden příklad pro tepelnou zátěž produkci od lidí v zóně „Administrativa“ během všedního dne.



Obr. 29 Nastavení denního profilu obsazenosti pro zónu „Administrativa“ během všedního dne

Jakmile jsou ve všech zónách nastaveny požadované podmínky, může proběhnout simulace. Software vrátí údaje o průběhu teploty v každé zóně každý den zvlášť. Následuje porovnání teplot, které vypočítal program BSim 2002 s hodnotami získanými měřeními teploty v objektu. V případě velkých rozdílů v jakékoliv zóně následuje úprava systému tak, aby došlo ke snížení těchto výkyvů. Čím menšího průměrného rozdílu je dosaženo, tím přesnější kalibrace je. Zároveň je nutné doplnit, že dosažení naprosto přesných hodnot v takto rozsáhlém objektu není možné. Předem byl stanoven požadavek kalibrovat model na průměrnou hodnotu rozdílů teplot maximálně 0,5 °C. Zároveň nesmí maximální rozdíl naměřených a

spočítaných teplot přesáhnout hodnotu 2 °C v jakékoli zóně během jakéhokoliv ze tří dnů, ve kterých kalibrace probíhá.

Po opětovných úpravách systému bylo dosaženo následujících výsledků:

- Celková průměrná odchylka změřených a vypočítaných hodnot činní 0,425 °C
- Maximální odchylka činní 1,8 °C
- Odchylka větší nebo rovna 1,0 °C byla zjištěna v méně než 10 % případů

Odchyky naměřených teplot od simulace v softwaru t=[°C]	
Zóna	Průměrná odchylka
Kanceláře	0,5011
Kom. Prostory	0,3250
Administrativa	0,3972
4. patro	0,4778
Průměr	0,4253

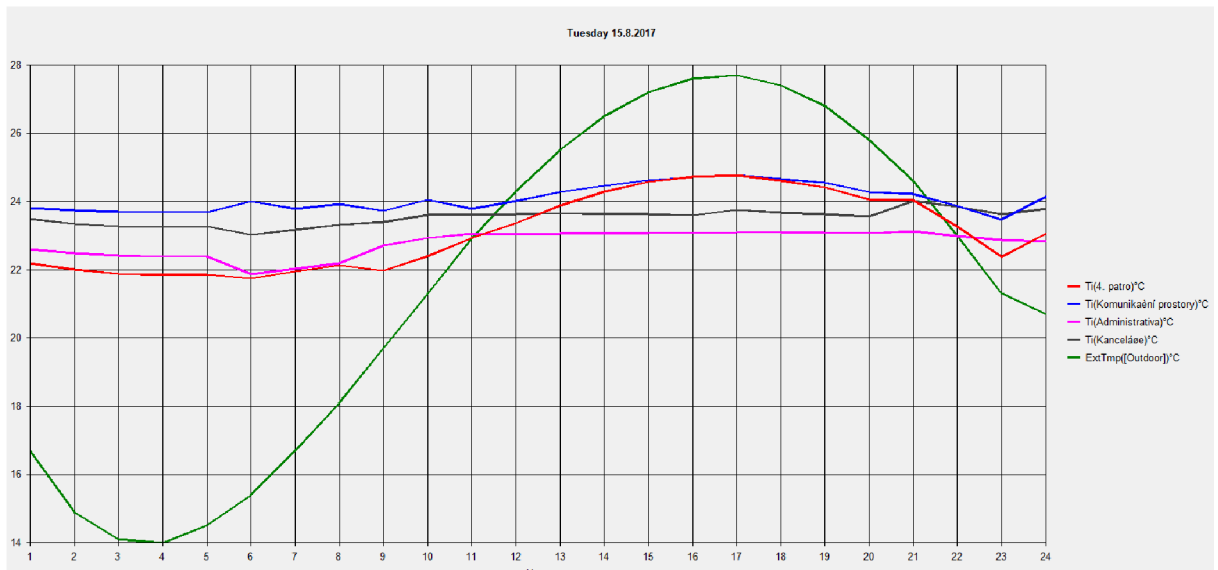
Tab. 17 Odchyky naměřených a vypočítaných hodnot vnitřní teploty pro jednotlivé zóny

Na základě této analýzy dat lze prohlásit, že budova byla nakalibrována úspěšně. Lokální výkyvy rozdílů mohou být způsobené především nárazovými změnami u jednotlivých systému, jejichž vliv na stavbu již nelze reflektovat. V Tab. 18 je možné vidět analýzu uvedené problematiky pro zónu „4. patro“, která je z hlediska tepelných zisků pro budovu velmi důležitá. Podrobná analýza všech zón je opět součástí příloh této práce.

Odchyly naměřených teplot od simulace v softwaru t=[°C] pro zónu „4. patro“									
Hodina	15. 8.			16. 8.			17. 8.		
	Naměřená	Model	Rozdíl	Naměřená	Model	Rozdíl	Naměřená	Model	Rozdíl
1:00	22,8	22,6	0,2	23,6	23,4	0,2	22,2	22,9	0,7
2:00	22,5	22,4	0,1	23,6	23,3	0,3	22,2	22,8	0,6
3:00	22,5	22,2	0,3	23,3	23,2	0,1	21,9	22,7	0,8
4:00	22,2	22,2	0	23,3	23,2	0,1	21,8	22,6	0,8
5:00	21,9	22,2	0,3	23,3	23,2	0,1	21,7	22,6	0,9
6:00	22,2	22,1	0,1	23	23,1	0,1	22,3	22,4	0,1
7:00	22,1	22,3	0,2	23,3	23,2	0,1	21,6	22,5	0,9
8:00	21,8	22,5	0,7	23	23,3	0,3	21,3	22,6	1,3
9:00	22	22,4	0,4	23	22,9	0,1	21,5	22	0,5
10:00	22,8	22,9	0,1	23,4	23,1	0,3	22,8	22,4	0,4
11:00	23,3	23,2	0,1	23,9	22,8	1,1	23,1	23,1	0
12:00	23,8	24	0,2	23,8	22,9	0,9	23,5	23,6	0,1
13:00	24,7	24,6	0,1	23,9	23	0,9	24,1	23,8	0,3
14:00	25	25	0	24,1	23,2	0,9	24,3	23,8	0,5
15:00	25,3	25,2	0,1	24,4	23,5	0,9	24,7	23,9	0,8
16:00	25,6	25,2	0,4	24,4	23,2	1,2	24,9	23,9	1
17:00	25,3	25,1	0,2	24,7	22,9	1,8	24,9	23,9	1
18:00	25,3	24,9	0,4	24,3	22,6	1,7	24,2	23,9	0,3
19:00	25,3	24,7	0,6	23,9	23	0,9	23,2	23,8	0,6
20:00	25	24,3	0,7	23,3	23,1	0,2	23,6	23,6	0
21:00	24,7	24,3	0,4	22,9	23,1	0,2	23,1	23,5	0,4
22:00	24,3	23,5	0,8	22,8	23	0,2	23,1	22,9	0,2
23:00	24,1	22,6	1,5	22,8	23	0,2	23	23,3	0,3
0:00	23,9	23,4	0,5	22,7	23	0,3	22,9	23,3	0,4
Denní průměr			0,35			0,5458			0,5375
Celkový průměr									0,4778

Tab. 18 Analýza rozdílů naměřených a vypočítaných teplot pro zónu „4. patro“

Kromě souboru analytických dat o průběhu teplot lze v programu BSim 2002 získat také grafickou podobu průběhů teplot a dalších veličin. Z nich může být lépe patrné, jak jednotlivé zóny reagují na změny venkovní teploty, míru sluneční radiace nebo rychlost a směr větru. Podrobné grafické znázornění je součástí příloh této práce, ukázka průběhů vnitřních a venkovní teploty pro datum 15. 8. 2017 viz Obr. 30



Obr. 30 Průběhy teplot ve všech zónách pro datum 15. 8. 2017

Pozn.: Vzhledem k problémům se zadáváním systému větrání v programu BSim 2002 byl tento softwarový nedostatek řešen alternativně. Veškeré předpokládané zisky a ztráty vlivem přirozeného větrání byly importovány do systému infiltrace. Jinými slovy systém infiltrace a jeho denní profil se skládá ze sumy výměny vzduchu realizované přirozeným větráním a infiltrací spár stavebních otvorů.

B. 4. Měření a zpracování dat o teplotě a vlhkosti uvnitř budovy

Dalším bodem praktické části této práce je měření, analýza a hodnocení vnitřního prostředí zkoumané části budovy během letního období. Jedná se především o zpracování dat o vnitřní teplotě, doplňkovou veličinou je potom vlhkost v místnosti. Naměřená data dále slouží ke kalibraci modelu budovy v programu BSim 2002, analýze vnitřního klimatu a posouzení získaných hodnot s normativními požadavky. Na základě těchto údajů bude možné vyhodnotit stávající situace a učinit závěry, týkající se případných úprav.

B. 4. 1. Použité měřiče

Pro získání dat o teplotě a vlhkosti v interiéru bylo použito celkem 9 dataloggerů typu Comet S3120. Tento přístroj je schopný měřit teplotu v rozsahu $-30\text{ °C} - 70\text{ °C}$ s deklarovanou přesností $\pm 0,2\text{ °C}$. Dále pak vlhkosti s deklarovanou přesností $\pm 2,5\text{ % RH}$ od 5 do 95 % při 23 °C . Jako vypočtenou hodnoty je přístroj schopný vrátit údaj o rosném bodu. Interval záznamu lze nastavit od 10 vteřin po 24 hodin. Pro měření v budově na Václavském náměstí byl zvolen interval 15 minut. [30]

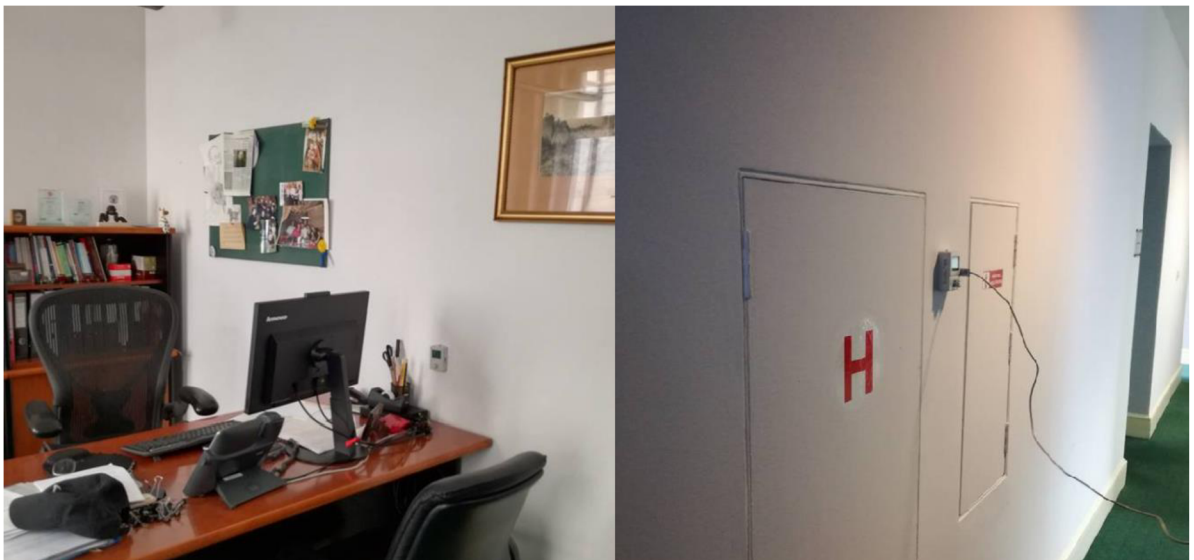


Obr. 31 Datalogger Comet S3120 [30]

B. 4. 2. Umístění dataloggerů v budově

V posuzované části budovy na Václavském náměstí bylo umístěno celkem 9 dataloggerů. 8 z nich se nachází ve vnitřních prostorách budovy, poslední byl umístěn do venkovního prostředí nad vstupní dveře na terasu ve 2 NP. Důvodem umístění tohoto přístroje byl původní záměr sběru dat o venkovní teplotě a použití těchto hodnot pro import do dat z TMY. I přes dostatečné stínění tohoto měřáku jsou data vzhledem k umístění blízko fasády velmi zkreslená a nepřesná, nelze je proto k tomuto účelu využít.

Zbylé dataloggery, sloužící pro měření vnitřní teploty, byly rozmístěné do všech pater posuzované části budovy tak, aby ke každé budoucí zóně, naprogramované v softwaru BSim 2002 náležel minimálně jeden přístroj. Přesné umístění přístrojů je volené tak, aby byla data co nejméně zkreslená náhlými výkyvy teplot (otevřená okna, topení, fan-coily). Výškově se přístroje nachází v rozmezí od 1,1 m do 1,4 m od podlahy. Příklady umístění dataloggerů v interiéru budovy na Obr. 32



Obr. 32 Umístění dataloggerů v interiéru budovy (vlevo – kancelář 2 NP, vpravo – chodba 3 NP)

Vzhledem k nepřesnému pojmenování jednotlivých dataloggerů při instalaci byla vytvořena tabulka (Tab. 19), která přiřazuje původní názvy přístrojů k zónám, vytvořeným v programu BSim 2002. Dále je zde uvedena informace, který z měřáků byl použit pro kalibraci modelu. Přesné umístění všech čidel je uvedeno v příloze „Zpracování dat o vnitřním klimatu“.

Umístění dataloggerů		
Zóna	Dataloggery (původní názvy)	Kalibrace
Kanceláře	Praha, Londýn	Praha
Administrativa	Gameroom, Chodba sever	Gameroom
Komunikační prostory	Chodba 2 NP, Chodba 3 NP, Chodba 4 NP	Chodba 3 NP
4. patro	Levá	Levá
Outdoor	Terasa	-

Tab. 19 Umístění dataloggerů

B. 4. 3. Způsob analýzy dat

Měření vnitřní teploty a vlhkosti v budově na Václavském náměstí probíhalo v letním období od 12. května do 22. srpna 2017. Toto roční období bylo vyhodnoceno jako kritické pro přehřívání budovy. Původní záměr byl měřit požadované veličiny až do konce srpna roku 2017, z technických důvodů byl sběr dat ukončen o několik dní dříve.

Existuje velké množství způsobů analýzy naměřených dat, ze kterých lze učinit rozdílné závěry. Je proto důležité vybrat metodu, která bude vystihovat zkoumanou problematiku. Jedním z cílů této práce je vyhodnotit, jestli se zkoumaná část budovy přehřívá v letním období. Pro porovnání a vyhodnocení bude použito nařízení vlády č. 93/2012 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci. Toto nařízení v příloze č. 1 části A rozděluje pracovní aktivity na tzv „třídy práce podle celkového průměrného energetického výdeje $M=[W.m^{-2}]$.“ Dále vládní nařízení těmto třídám práce přidělí maximální a minimální možné operativní teploty v místnosti (resp. teploty kulového teploměru, v našem případě lze vzhledem k přesnosti měření dataloggerů uvažovat teplotu interiéru $t_i=[^{\circ}C]$), maximální a minimální přípustnou relativní vlhkost vzduchu v interiéru $R_h=[\%]$ a maximální rychlost proudění vzduchu v interiéru. Hodnoty jsou uvedeny v tabulkách Tab 20. a Tab. 21 [31]

Třídy práce podle celkového průměrného energetického výdeje		
Třída práce	Druh práce	M (W.m ⁻²)
I	Práce vsedě s minimální celotělovou pohybovou aktivitou, kancelářské administrativní práce, kontrolní činnost v dozornách a velínech, psaní na stroji, práce s PC, laboratorní práce.	≤ 80
IIa	Práce převážně vsedě spojená s lehkou manuální prací rukou a paží, řízení osobního vozidla, a některých drážních vozidel, přesouvání lehkých břemen nebo překonávání malých odporů, automatizované strojní opracovávání a montáž malých lehkých dílců, kusová práce nástrojářů a mechaniků, pokladní.	81 až 105
IIb	Práce spojená s řízením nákladního vozidla, traktoru, autobusu, trolejbusu, tramvaje a některých drážních vozidel a práce řidičů spojená s vykládkou a nakládkou. Převažující práce vstoje s trvalým zapojením obou rukou, paží a nohou - dělnice v potravinářské výrobě, mechanici, strojní opracování a montáž středně těžkých dílců, práce na ručním lisu. Práce s trvalým zapojením obou rukou, paží a nohou spojená s přenášením břemen do 10 kg prodavači, lakýrníci, svařování, soustružení, strojové vrtání, dělník v ocelárně, valcír hutních materiálů, tažení nebo tlačení lehkých vozíků. Práce spojená s ruční manipulací s živým břemenem, práce zdravotní sestry nebo ošetřovatelky u lůžka.	106 až 130
IIIa	Práce vstoje s trvalým zapojením obou horních končetin občas v předklonu nebo vkleče, chůze -údržba strojů, mechanici, obsluha koksové baterie, práce ve stavebnictví - ukládání panelů na stavbách pomocí mechanizace, skladníci s občasným přenášením břemen do 15 kg, řezníci na jatkách, zpracování masa, pekaři, malíři pokojů, operátoři poloautomatických strojů, montážní práce na montážních linkách v automobilovém průmyslu, výroba kabeláže pro automobily, obsluha válcovacích tratí v kovoprůmyslu, hutní údržba, průmyslové žehlení prádla, čištění oken, ruční úklid velkých ploch, strojní výroba v dřevozpracujícím průmyslu.	131 až 160
IIIb	Práce vstoje s trvalým zapojením obou horních končetin, trupu, chůze, práce ve stavebnictví při tradiční výstavbě, čištění menších odlitků sbíječkou a broušením, příprava forem na 15 až 50 kg odlitky, foukači skla při výrobě velkých kusů, obsluha gumárenských lisů, práce na lisu v kovárnách, chůze po zvlněném terénu bez zátěže, zahradnické práce a práce v zemědělství.	161 až 200
IVa	Práce spojená s rozsáhlou činností svalstva trupu, horních i dolních končetin - práce ve stavebnictví, práce s lopatou ve vzpřímené poloze, přenášení břemen o váze 25 kg, práce se sbíječkou, práce v lesnictví sjednomužnou motorovou pilou, svoz dřeva, práce v dole - chůze po rovině a v úklonu do 15°, práce ve slévárnách, čištění a broušení velkých odlitků, příprava forem pro velké odlitky, strojní kování menších kusů, plnění tlakových nádob plyny.	201 až 250
IVb	Práce spojené s rozsáhlou a intenzivní činností svalstva trupu, horních i dolních končetin - práce na pracovištích hlubinných dolů - ražba, těžba, doprava, práce v lomech, práce v zemědělství s vysokým podílem ruční práce, strojní kování větších kusů.	251 až 300
V	Práce spojené s rozsáhlou a velmi intenzivní činností svalstva trupu, horních i dolních končetin- transport těžkých břemen např. pytlů s cementem, výkopové práce, práce sekerou při těžbě dřeva, chůze v úklonu 15 až 30°, ruční kování velkých kusů, práce na pracovištích hlubinných dolů s ruční ražbou v nízkých profilech důlních děl.	301 a více

Tab. 20 Třídy práce podle celkového průměrného energetického výdeje [31]

Požadavky na vnitřní klima					
Třída práce	M[W.m ⁻²] (brutto)	t _{omin} nebo t _{gmin} [°C]	t _{omax} nebo t _{gmax} [°C]	V _a [m.s ⁻¹]	Rh[%]
I	≤80	20	27	0,01 až 0,2	30 až 70
IIa	81 až 105	18	26		
IIb	106 až 130	14	32	0,05 až 0,3	
IIIa	131 až 160	10	30		
IIIb	161 až 200	10	26		
IVa	201 až 250	10	24	0,1 až 0,5	
IVb	251 až 300	10	20		
V	301 a více	10	20		

Tab. 21 Požadavky na vnitřní klima [31]

V posuzovaném objektu na Václavském náměstí vykonávají osoby především práci kategorie I a IIa. Tyto kategorie platí také pro komunikační prostory, jejichž součástí jsou vstupní prostory s recepcí.

Vzhledem ke způsobu využívání budovy, složitosti a rozsáhlosti jednotlivých zón bude k posouzení nasbíraných dat z dataloggerů přistupováno z několika pohledu. Bude vyhodnocena procentuální četnost teplot nad 26 °C a 27 °C a pod 20 °C v jednotlivých zónách během zkoumaného období. Tato hodnota bude podrobena diskuzi, zdali se jedná o lokální výkyvy, které může způsobovat například nárazové větrání v konkrétní zóně poblíž dataloggeru. Dále byly vytvořeny grafy průměrných teplot pro měsíce červen, červenec a srpen pro každý datalogger. Z globálního hlediska poskytují lepší přehled o průběhu teplot během dne. Je také vytvořen graf, vypovídající o rozptylu hodnot během jednotlivých dnů z měřeného období. Poslední grafickým výstupem je přehled průběhu teploty pro každý datalogger a určitou kritickou hodinu. Pro tuto analýzu byly zvoleny časy (0:00, 8:00, 12:00, 16:00 a 20:00). Součástí je také výpočet rozptylu hodnot a směrodatné odchylky pro hodinový krok. U absolutní vlhkosti vzduchu je obdobně stanoveno procentuální

četnost hodnot nižších než 30 % a vyšších než 70 %. K dispozici jsou opět grafy zobrazující průběhy vlhkostí během 24 hodin pro daný měsíc a datalogger.

B. 4. 4. Závěry plynoucí z analýzy dat

Z naměřených hodnot lze vyhodnotit několik závěrů o vnitřním klimatu budovy. Nejdůležitějším je bezpochyby posudek, zda vnitřní prostory vyhoví nařízení vlády č. 93/2012 Sb. Byla vytvořena tabulka Tab. 22, která zobrazuje procentuální množství odečtů hodnot teplot, které neodpovídají zákonnému požadavku. U vnitřní teploty jsou to hodnoty pod 20 °C. V posuzované části budovy je vykonávána především práce třídy IIa, minimálně pak také práce třídy I. Z tohoto důvodu je v tabulce zvlášť uvedeno procento měření, kdy teplota přesáhla 26 °C a 27 °C. U relativní vlhkosti nařízení vlády stanovuje povolené a doporučené hodnoty mezi 30 – 70 %. Opět je vytvořena tabulka Tab. 23, která zobrazuje procentuální množství odečtených hodnot, které toto kritérium nesplňují.

Množství naměřených hodnot teploty neodpovídajících nařízení vlády 93/2012 Sb.					
Datalogger	Zóna	Pod 20 °C (%)	Požadovaná teplota (%)	Nad 26 °C (%)	Nad 27 °C (%)
PRAHA	Kanceláře	0,21	98,5	1,29	0,07
LONDÝN	Kanceláře	5,82	94,18	0	0
CHODBA SEVER	Administrativa	0	80,24	19,76	1,44
GAMEROOM	Administrativa	0,32	93,57	6,21	0,5
CHODBA 2 NP	Kom. prostory	0	99,63	0,27	0
CHODBA 3 NP	Kom. prostory	0	99,44	0,56	0
CHODBA 4 NP	Kom. prostory	0	97,33	2,67	0
LEVÁ	4. patro	0	98,79	1,21	0,01

Tab. 22 Množství naměřených hodnot teploty neodpovídajících nařízení vlády 93/2012 Sb.

Z těchto výsledků vyplývá, že většina naměřených hodnot nařízení vlády odpovídá. Množství odečtených teplot, přesahujících hodnotu 27 °C u žádného dataloggeru nepřekračuje 2 %. Dá se tedy říci, že tyto výkyvy jsou lokální a s velkou pravděpodobností je způsobuje například nárazové větrání místnosti během dne. Tyto tepelné zisky není možné technologicky eliminovat, proto je daná odchylka akceptovatelná. Nejvyšší procentuální množství hodnot teploty nad 26 °C vykazuje

datalogger CHODBA SEVER, tj. 19,76 °C. Lze ovšem předpokládat, že v zóně „Administrativa“ bude probíhat především práce kategorie IIa pro kterou je limitující teplota 27 °C. Naopak pro zónu „Kanceláře“ lze uvažovat třídu práce I a tedy požadovanou maximální teplotu v interiéru 26 °C.

Minimální teplota v interiéru je nařízením vlády pro třídu práce I stanovena na 20 °C, pro třídu IIa pak 18 °C. Z tabulky naměřených hodnot vyplývá, že u většiny dataloggerů nebyly takto nízké teploty vůbec zaznamenány. Výjimku tvoří datalogger LONDÝN s 5,82 % hodnot pod 20 °C. Jedná se o náhlý pokles odečítaných teplot o 3 – 4 °C v období od 30. 6. 2017 do 12. 7. 2017. Tento pokles byl zaznamenán pouze u dataloggeru LONDÝN. Jev pravděpodobně způsobilo chvilkové chybné nastavení technologie chlazení pro tuto místnost. Vzhledem k tomu, že se datalogger nachází v zóně „Administrativa“, kde se předpokládá především třída práce IIa a tedy minimální požadovaná teplota 18 °C, nejedná se o závažný problém.

Množství naměřených hodnot relativní vlhkosti neodpovídajících nařízení vlády 93/2012 Sb.				
Datalogger	Zóna	Pod 30 % (%)	Požadovaná rel. vlhkost (%)	Nad 70 % (%)
PRAHA	Kanceláře	0,97	98,79	0,24
LONDÝN	Kanceláře	0,77	98,96	0,27
CHODBA SEVER	Administrativa	0,44	99,56	0
GAMEROOM	Administrativa	0,35	99,65	0
CHODBA 2 NP	Kom. prostory	0,43	99,57	0
CHODBA 3 NP	Kom. prostory	0,35	99,63	0,02
CHODBA 4 NP	Kom. prostory	0,35	99,65	0
LEVÁ	4. patro	0,53	99,47	0

Tab. 23 Množství naměřených hodnot relativní vlhkosti neodpovídajících nařízení vlády 93/2012 Sb.

Obdobným způsobem byla vypracována tabulka hodnot pro relativní vlhkosti. Výsledky měření prokázaly, že více jak 99 % naměřených hodnot odpovídá nařízení vlády 93/2012 Sb. Žádný datalogger nezaznamenal více jak 1 % hodnot relativních vlhkostí pod 30 % nebo nad 70 %.

Lze tedy konstatovat, že vnitřní klima budovy odpovídá nařízení vlády 93/2012 Sb. Lokální výkyvy nejsou způsobeny chybným návrhem technologie chlazení. Tento systém je v budově na Václavském náměstí nastaven také s přihlédnutím k ekonomické stránce věci. V kapitole B. 5. je následně vypracována analýza spotřeby energie na chlazení v případě požadavku dosáhnout maximálních hodnot teploty v interiéru 25 °C. Tato teplota se dle provozovatele posuzované části budovy jeví jako optimální.

Další závěry plynoucí z analýzy dat naměřených v interiéru budovy

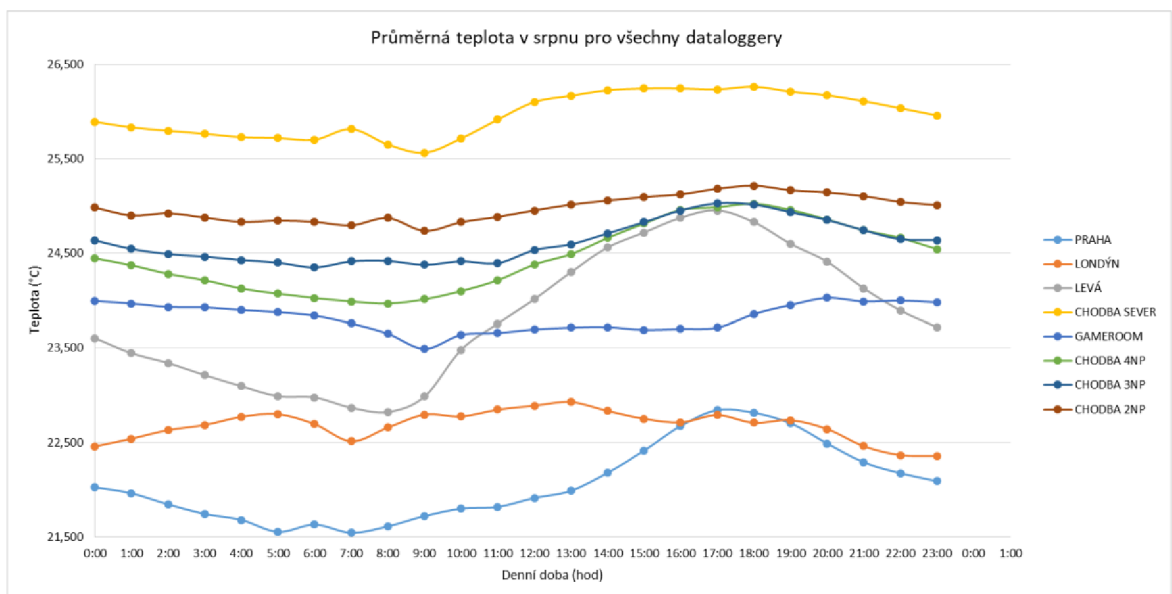
Kromě porovnání naměřených hodnot s normativními požadavky lze z analýzy dat vyvodit velké množství dalších závěrů a předpokladů. V následujících řádcích budou popsány možné příčiny těchto jevů. Výchozím dokumentem pro tuto analýzu je příloha P3 této práce.

- Nejvyšší průměrné hodnoty teplot v celém zkoumaném období vykazuje datalogger CHODBA SEVER. Tento jev způsobuje pravděpodobně velká vzdálenost chladicí jednotky (fan-coil) od umístění dataloggeru.
- Nejnižší průměrné hodnoty teplot v celém zkoumaném období vykazují datalogger PRAHA a LONDÝN. Tato čidla se nachází v reprezentativních prostorách objektu. Při návrhu systému chlazení se vycházelo z předpokladu, že se během dne bude v zasedacích místnostech pohybovat větší množství lidí. S přihlédnutím k reprezentativním účelům místnosti bylo dbáno na vyšší teplotní komfort. Dalším důvodem je umístění prostor v 1 NP, kde nedochází k tak výrazným tepelným ziskům jako například ve 4 NP
- Nejstabilnější hodnoty teplot vykazují datalogger umístěné v komunikačních prostorách. Tento bod se týká především čidel CHODBA 2 NP, CHODBA 3 NP a CHODBA 4 NP. Z tabulek hodnot přílohy P3 této práce vyplývá, že se teploty u těchto čidel v průběhu dne mění nejméně z celého objektu. Hodinové průměry také disponují nejnižšími hodnotami směrodatných odchylek a tím také rozptylů hodnot. Důvodem je fakt, že

konstrukce ohraničující komunikační prostory obsahují nejmenší podíl obálkových konstrukcí a otvorů z jejich plochy. Tím pádem jsou také nejméně závislé na přímých vlivech venkovního prostředí. Nezatěžuje je tolik například střídání teplot během dne nebo tepelné zisky radiací.

- Naopak k největšímu střídání teplot v průběhu dne dochází u dataloggeru LEVÁ. Ten je umístěný v zóně „4. patro“. Tyto výkyvy způsobuje umístění prostor ve 4 NP a velké množství střešních oken, které jsou zdrojem nejvyšších zisků od slunečního záření v celém objektu. Díky velkému podílu obálkových konstrukcí z ploch místností v této zóně také dochází k intenzivnějšímu ochlazování interiéru během noci.
- Akumulace tepla a chladu. Z grafů zobrazujících průběhy teplot v jednotlivých částech budovy lze také vyčíst chování posuzované části budovy s přihlédnutím k akumulacím schopnostem konstrukcí. Teplota v exteriéru nabývá nejnižších hodnot mezi 5:00 – 7:00. Naopak v interiéru jsou nejnižší teploty zaznamenány u většiny čidel mezi 7:00 – 9:00. Tento časový posun je způsobený právě akumulacími vlastnostmi materiálů konstrukcí. Jev lze pozorovat také v odpoledních hodinách, zde ovšem hrají významnou roli i tepelné zisky radiací. Viz následující bod.
- Nejvyšší denní teploty vzduchu jsou v exteriéru zaznamenávány okolo 13:00 – 15:00. Naopak nejvyšší hodnoty teploty v interiéru až v 17:00 – 19:00. Tento posun způsobuje jednak akumulace tepla v konstrukcích (viz předchozí bod), ale také tepelné zisky radiací, které jsou v odpoledních hodinách především u západně orientovaných fasád zásadní.
- Hodnota průměrné relativní vlhkosti se v průběhu dne u všech čidel zvyšuje a nabývá denního maxima okolo 10:00 – 12:00. Důvodem může být například nejvyšší koncentrace osob v posuzované části budovy v tomto období a tím také nejvyšší vodní zisky od lidí.

Byly vyjmenovány zásadní závěry z analýzy dat o vnitřním prostředí z budovy na Václavském náměstí. Rozsáhlá příloha, která k tomuto účelu sloužila, může být zdrojem dalších poznatků a vyvozených závěrů. Nachází se v ní jak grafické zpracování průběhů teplot, tak analytické údaje o aritmetických průměrech hodnot, směrodatných odchylkách a rozptylech hodnot. Příklad je uveden na Obr. 33, který zaznamenává průměrné hodnoty teploty v měsíci srpnu pro všechny datalogery umístěné v interiéru budovy.



Obr. 33 Průměrná teplota v měsíci srpnu pro všechny datalogery

B. 5. Možnosti snížení nákladů na chlazení

Cílem praktické části této práce je také vyhodnocení případných finančních úspor za elektrickou energii, potřebnou k chlazení budovy na Václavském náměstí. Po konzultaci s provozovatelem posuzované části budovy byla vyhodnocena jako reálná varianta redukce tepelných zisků sluneční radiací za pomoci snížení koeficientu propustnosti $s=[-]$. Vliv tohoto součinitele na míru tepelných zisků je detailně popsán v kapitole A. 3. 4. této práce. Snížení propustnosti slunečního záření lze dosáhnout například zvyšováním počtu skel. Efektivnější a levnější variantou je však instalace stínících prvků, jako je reflexní folie, meziokenní žaluzie nebo vnější markýza. [32]

Pro výpočet spotřeby elektrické energie na chlazení zkoumané části budovy bude použit zkalibrovaný model stavby z programu BSim 2002. Budou dále použity dvě různá nastavení systému chlazení:

1. Aktuální stav. Jedná se o nastavení a rozdělení výkonů chlazení odpovídající skutečnému stavu z roku 2017. Konkrétní schémata jsou k dispozici v příloze P2 této práce. Pro výpočet tepelných zisků z vnějšího prostředí jsou použita data o počasí z typického meteorologického roku.
2. Fiktivní (požadovaný) stav. V tomto případě je použito nastavení, které odpovídá požadavku ze strany provozovatele budovy. Konkrétně jde o dosažení takového stavu vnitřního prostředí, aby teplota interiéru nepřekročila hodnotu 25 °C. Řešení této úlohy v programu BSim 2002 spočívá v nastavení velmi vysokých (až nekonečných) výkonů pro všechny chlazené zóny a návrhovou teplotu interiéru 25 °C. Tím je vyčíslena fiktivní spotřeba energie pro zajištění tohoto stavu. Pro výpočet tepelných zisků z vnějšího prostředí jsou použita data o počasí z typického meteorologického roku.

Co se týká samotného součinitele propustnosti slunečního záření, budou pro výpočet a analýzu použity následující případy a návrhy:

1. Hodnota $s=0,89$. Tato hodnota odpovídá koeficientu pro zasklení, které vykazují okna budovy na Václavském náměstí nyní. Skládají se z dřevěného rámu a dvojitého zasklení. [32]
2. Hodnota $s=0,5$ pro všechna okna. Této hodnoty by bylo možné dosáhnout například instalací meziokenních žaluzií, vnitřních žaluzií s lamelami pod úhlem 45° (světlá barva) nebo reflexní fólie světlé barvy. [32]
3. Hodnota $s=0,2$ pro střešní okna ve 4 NP a $s=0,5$ pro ostatní okna ve vyšetřované části budovy. Důvod volby dané kombinace součinitelů je fakt, že pro dosažení nízkých hodnot je ve většině případů potřeba narušit vnější fasádu stínícím prvkem (vnější žaluzie nebo vnější markýza). Tohoto stavu by bylo velmi obtížné dosáhnout (zvláště u průčelí budovy), jelikož se jedná o památkově chráněnou stavbu v centru města. Jelikož nejsou střešní okna ve 4 NP z Václavského náměstí vidět a tepelné zisky slunečním zářením jsou zde nejvyšší, byla zvolena právě tato kombinace. [32]
4. Hodnota $s=0,2$ pro všechna okna. Jak již bylo vysvětleno u předchozího bodu, tato varianta je spíše fiktivní možností vzhledem k památkové ochraně budovy. Cílem této práce však není posoudit přesný vliv konkrétních stínících prvků na historický ráz budovy, proto je s danou variantou také kalkulováno. [32]

Pro výpočet nákladů na chlazení budovy pro jednotlivé případy a jejich kombinace byla použita cena elektrické energie 3,82 Kč/kWh. Tato cena byla dostupná ze serveru <https://www.energie123.cz/elektrina/ceny-elektricke-energie/cena-1-kwh/> ze dne 27. 3. 2018. Ceny jednotlivých poskytovatelů se mohou lišit, poptávka konkrétní cenové nabídky pro tento účel není předmětem této práce. [33]

Na základě všech výše zmíněných kritérií byla vytvořena tabulka Tab. 24, která zobrazuje spotřeby elektrické energie v kilowatthodinách a jejich ceny pro jednotlivé kombinace návrhů během jednoho typického meteorologického roku. Dále je zde uvedena možná finanční úspora během kalendářního roku v případě použití stínících prvků s rozdílnou propustností slunečního záření.

Spotřeba a cena energie na chlazení během TMY						
Součinitel s	Skutečný výkon			Fiktivní (nekonečný) výkon		
	kWh	Kč	Úspora (Kč)	kWh	Kč	Úspora (Kč)
0,89 (aktuální)	13 777	52 628	0	21 443	81 912	0
0,5	12 106	46 245	6 383	17 408	66 499	15 414
0,2 pro „4. patro“	11 890	45 420	7 208	16 694	63 771	18 141
0,2 pro celou budovu	10 540	40 263	12 365	14 310	54 664	27 248

Tab. 24 Spotřeba a cena elektrické energie na chlazení během TMY [33]

Z tabulky vyplývá, že rozdíl ve variantě instalace stínících prvků se součinitelem $s=0,5$ pro celou budovu a $s=0,2$ pro střešní okna ve 4 NP a $s=0,5$ pro ostatní okna není příliš velký. Vzhledem z památkové ochraně budovy se varianta instalace stínících prvků se součinitelem 0,2 na vnější fasádu budovy nejeví jako reálná. Z těchto důvodů vychází tedy velmi výhodně první možnost, tedy instalace stínících prvků se součinitelem $s=0,5$ do všech oken. Zároveň je také pro provozovatele budovy zajímavé zjištění, že spotřeba elektrické energie na chlazení při současném nastavení systému a součiniteli propustnosti $s=0,89$ je velmi podobná spotřebě energie při nastavení systému chlazení na hodnotu 25 °C a za použití stínících prvků s koeficientem $s=0,2$ do všech oken.

Výsledek této analýzy bude s komentářem předán provozovateli vyšetřované části budovy. Případné další návrhy budou dále konzultovány.

B. 6. Průkaz energetické náročnosti posuzované části budovy

Dalším cílem praktické části této práce bylo vytvoření průkazu energetické náročnosti posuzované části budovy. Kompletní protokol PENB a jeho grafické znázornění je přílohou P4 této práce.

Průkaz byl vypracován na základě znalostí konstrukčních systému a skladeb konstrukcí, staré výkresové dokumentace a konzultace s provozovatelem objektu. Budova byla rozdělena do jednotlivých zón, dělení je totožné s rozdělením v programu BSim 2002. Jedná se tedy o zóny: Kanceláře, Administrativa, 4. patro, Komunikační prostory a Hygiena. Těm jsou přiřazeny plochy, objemy, konstrukce a technologické systémy podle skutečného stavu.

Pro výpočet byla použita studentská verze programu Energetika od společnosti DEKSOFT. Z výpočtu lze vyvodit několik závěrů o posuzované části budovy.

Celková dodaná energie (energie na vstupu) pro posuzovaný objekt činí 507,7 MWh/rok. Neobnovitelná primární energie, která reflektuje vliv provozu budovy na životní prostředí je 926,7 MWh/rok. Pokud budeme posuzovat měrné hodnoty těchto veličin (kWh/m²rok), řadí se zkoumaný objekt do třídy D – méně úsporná.

Dalšími výstupy PENB je posouzení jednotlivých systémů a obálky budovy. Vzhledem k tomu, že se jedná o historickou budovu, u které docházelo za poslední roky pouze k částečným rekonstrukcím obálkových konstrukcí a zateplení, je také obálka budovy řazena do třídy G – Mimořádně nevhodná. Z technologických systémů program vyhodnotil nejlépe systém chlazení a osvětlení. Oba spadají do třídy C – úsporné. V posuzované části objektu nedochází k úpravám vlhkosti.

V neposlední řadě umožňuje PENB reciprokou kontrolu tohoto dokumentu s modelem budovy vytvořeným v programu BSim 2002. Především systém chlazení, který nachází uplatnění v letním období, tedy čase, kdy probíhá také kalibrace modelu. Z PENB vyplývá roční spotřeba energie na chlazení 21,6 MWh. V případě modelu v programu BSim a situace při tzv. nekonečném výkonu, tedy stavu, kdy je

systém nastavený tak, že zvládne pokrýt veškeré tepelné zisky a tím zajistit požadovanou teplotu v interiéru, dosahuje vypočtená hodnota spotřeby energie 21,4 MWh. Shoda těchto výsledků je tedy dalším kontrolním mechanismem pro ověření správnosti postupu tvorby modelu a vypracování PENB.

UKAZATELE ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY							
	Obálka budovy	Vytápění	Chlazení	Větrání	Úprava vlhkosti	Teplá voda	Osvětlení
	U_{em} W/(m ² ·K)	Dílí dodané energie			Měrné hodnoty kWh/(m ² ·rok)		
Mimořádně úsporná							
A							
B							
C			9.6				59.7
D						17.3	
E		122		16.0			
F							
G	1.16						
Mimořádně neekonomická							
Hodnoty pro celou budovu MWh/rok		276.0	21.6	36.2		39.0	135.0

Obr. 34 Ukazatele energetické náročnosti budovy

B. 7. Citace autora

„V textu celé této práce nebyla použita žádná přímá citace, proto bych na závěr chtěl připojit pár slov jakožto autor. Rád bych vsuvkou objasnil, proč jsem si vybral tuto, pro bakalářské studium, nestandardní práci.

Když mi během 3. ročníku studia Ing. Jan Weyr nabídl možnost absolvovat diplomovou práci na toto téma, téměř okamžitě jsem nabídku přijal, i když rozhodnutí znamenalo také změnu celého oboru studia. Zásadní pro mě byl diametrálně odlišný přístup k problému, jeho řešení a vyvozování závěrů, než na jaký jsem byl na mé alma mater zvyklý. Dosud jsem byl vždy postaven před akademický zjednodušený příklad, který jsem měl za předpokladu znalosti základních principů, vzorců a metod vyřešit. Má práce, alespoň doufám, skýtá možnost vyzkoušet si opačný, z mého pohledu praktičtější, přístup k řešení problému v technické praxi. Zadaný objekt je z konstrukčního, dispozičního a funkčního hlediska velmi rozsáhlý a složitý, tento stav je dále umocněn malým souborem informací, výkresů a popisů stávajícího stavu. Je proto potřeba ve všech částech mé práce hledat nutná zjednodušení, vytvářet co nejpřesnější předpoklady a ty následně ověřovat. Balancování mezi tím, čeho je s mými vstupy možné a čeho žádoucí dosáhnout byla nejčastěji si pokládaná otázka.

V každé fázi vytváření modelu, práce s daty o počasí a vnitřním prostředí bylo možné zvolit několik přístupů a metod. Pevně věřím, že jsem vždy zvolil technicky, matematicky ale také filosoficky optimální řešení. Přesto je nutné doplnit myšlenku, že v případě práce na podobném zadání bych nyní zřejmě postupoval v určitých případech odlišně, efektivněji.

Veškeré tyto závěry mě přesvědčili o tom, že se podobné problematice chci věnovat i nadále. Práci bude možné v navazujícím studiu zdokonalit. Mým cílem je problematiku vnitřního klimatu zpracovat pro celý kalendářní rok, navrhnout více konkrétních řešení pro optimalizaci provozu a projednat možnosti využití práce s provozovatelem stavby a následně je také aplikovat.“

C. Závěr

Tato práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Teoretická část představuje ucelený souhrn informací o vnitřním klimatu budov a místností, jeho návrhu, normativních požadavcích a způsobu hodnocení. Obsahuje výčet nejčastěji používaných veličin, které prostředí popisují a také způsob jejich výpočtu a analýzy. Dále obsahuje informace o veličinách popisujících tepelně technické vlastnosti materiálů a konstrukcí a jejich vliv na návrh vnitřního prostředí budov. V následující kapitole je podrobně popsán výpočet tepelných zisků a ztrát budovy. S tímto tématem úzce souvisí také problematika hodnocení energetické náročnosti budov.

Teoretická část práce také vysvětluje metodiku získávání a zpracování dat o počasí a měření vybraných veličin popisujících vnitřní prostředí místností a budov. Představuje program BSim 2002, jakožto software pro simulaci chování budov. Tyto kapitoly jsou podkladem pro porozumění praktické části této práce.

Praktická část se plně věnuje problematice chování historické budovy na Václavském náměstí. Je vytvořen její model v programu BSim 2002 a probíhá jeho kalibrace na základě znalosti konstrukcí, systému chlazení a vytápění a využívání budovy. Za účelem kalibrace bylo do vnitřních prostor budovy umístěno začátkem léta 2017 osm dataloggerů Comet S3120. Naměřená data následně slouží k porovnání vnitřního klimatu ucelené části budovy s normativními požadavky. Pro kalibraci byla dále použita data o počasí z typického meteorologického roku, doplněná o zpracovaná data z meteorologických stanic poblíž zkoumané budovy.

Teplota interiéru a relativní vlhkost ve všech zónách splnily požadavky nařízení vlády 93/2012 Sb. V žádné zóně vyšetřované části budovy nedochází v letním období k výraznému a nepřijatelnému přehřívání vzduchu v interiéru. I přes tento fakt byl zpracován návrh na redukci tepelných zisků vlivem sluneční radiace a tím snížení potřeby elektrické energie na chlazení, které sebou přináší finanční úsporu. Jako optimální řešení se jeví instalace stínících prvku o součiniteli propustnosti $s=0,5$. Vypočítaná roční úspora energie činí 1671 kWh, finanční úspora pak 6 383 Kč během sezóny. Byl vytvořen průkaz energetické náročnosti vyšetřované části

budovy, ze kterého vyplývá zařazení celého objektu, obálky budovy a technologických systémů do energetických tříd.

Veškeré vypracované analýzy dat a grafické výstupy mohou provozovateli budovy sloužit z dalšímu zefektivnění provozu, vytvoření optimálního vnitřního klimatu nebo úspoře finančních nákladů.

Seznam použité literatury

- [1] Projekční podklady a pomůcky - Výpočet tepelných ztrát budov dle ČSN 06 0210:1994. *Katedra technických zařízení budov K11125* [online]. Praha: ČVUT, 2011 [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <http://tzb.fsv.cvut.cz/?mod=podklady&id=2>
- [2] RUBINA, Aleš. *Interní mikroklima prostorů a jeho tvorba systémy vzduchotechniky...* [online]. Brno, 2013 [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: https://lms.fce.vutbr.cz/pluginfile.php/8445/mod_resource/content/6/VZT%2001_15.pdf. Podklad pro výuku předmětu. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební.
- [3] *Energetická náročnost budov - Výpočet tepelného výkonu - Část 1: Tepelný výkon pro vytápěný prostor, Modul M3-3*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- [4] GEBAUER, G. Tepelné zisky od vnitřních zdrojů. *Vzduchotechnika* [online]. 2006(2), 2 [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitрни-prostredi/3065-tepelne-zisky-od-vnitrnich-zdroju>
- [5] AULICKÝ, Tomáš. *Využití solární energie pro vytápění budov*. Plzeň, 2014. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická.
- [6] Mollierův diagram. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2006 [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Mollier%C5%AFv_diagram
- [7] VOJKŮVKOVÁ, Petra. *Vybrané jevy při přenosu tepla ve vzduchotechnice*. Brno, 2014. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební.

- [8] HEJHÁLEK, Jiří. Součinitel prostupu tepla a jak se počítá. *Stavebnictví3000* [online]. Hradec Králové: Vega, 2014 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/soucinitel-prostupu-tepla-a-jak-se-pocita/>
- [9] ČSN 73 0540-3. Praha: ČNI, 1995.
- [10] Normové hodnoty součinitele prostupu tepla UN,20 jednotlivých konstrukcí dle ČSN 73 0540-2:2011... *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/136-normove-hodnoty-soucinitele-prostupu-tepla-un-20-jednotlivych-konstrukci-dle-csn-73-0540-2-2011-tepelna-ochrana-budov-cast-2-pozadavky>
- [11] Rosný bod. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Rosn%C3%BD_bod
- [12] *Tepelné ztráty objektu* [online]. 5 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://fast10.vsb.cz/studijni-materialy/tzb-fbi/6.html>
- [13] ČSN 06 0210 *Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění*. 5. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1995.
- [14] RUBINA, Aleš. *Tepelně vlhkostní zátěž budov* [online]. Brno, 2011 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: https://lms.fce.vutbr.cz/pluginfile.php/8457/mod_resource/content/2/VZT%2002_13.pdf. Podklad pro výuku. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební.

- [15] POČÍNKOVÁ, Marcela. *Přesný výpočet tepelných ztrát budov* [online]. Brno, 2012 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: https://www.fce.vutbr.cz/TZB/pocinkova.m/vytapeni_soubory/BT01_P2.pdf. Podklad pro výuku. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební.
- [16] RUBINA, Aleš. *Vzduchotechnika BT02 – TZB III - cvičení* [online]. Brno, 2011 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: https://lms.fce.vutbr.cz/pluginfile.php/8457/mod_resource/content/2/VZT%2002_13.pdf. Podklad pro výuku. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební.
- [17] Produkce tepla a vodní páry od lidí. *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo, 2001 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/61-produkce-tepla-a-vodni-pary-od-lidi>
- [18] Tepelné zisky od vnitřních zdrojů. *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo, 2006 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/3065-tepelne-zisky-od-vnitrnich-zdroju>
- [19] POČÍNKOVÁ, Marcela. *Energetický štítek obálky budovy...* [online]. Brno, 2011 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: http://www.stavskola.cz/projektyagranty/opvk-1/opvk-environmental/vystupy-aktivity?view=download&link=granty%2Fvzdelavani-a-konkurenceschopnost%2Fenvironmentalni+vzdelavani%2FPrezentace%2FP%C5%99edn%C3%A1%C5%A1ka+01++VUT+BRNO++%C5%A0ed%C3%A1+energie+a+udr%C5%BEitel%C3%BD+rozvoj+spole%C4%8Dnosti%2FEnerg_certifikace_Pocinkova_HB.pdf&listid=3. Podklady pro výuku. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební.

- [20] *Časopis stavebnictví: Technologie* [online]. 2008, 2008(09) [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: https://www.casopisstavebnictvi.cz/energeticke-stitky-obalky-budovy_N1513
- [21] Energetický štítek obálky budovy. In: *Energo - steel* [online]. Ostrava: Energo - steel, 1991 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://www.energo.cz/nabidka-sluzeb/energetika/energeticky-stitek-obalky-budovy/>
- [22] ODBOR 32100. Průkaz energetické náročnosti budov. In: *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online]. Praha: MPO, 2014 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/energeticka-ucinnost/prukaz-energeticke-narocnosti-budov/prukaz-energeticke-narocnosti-budov--119528/>
- [23] Průkaz energetické náročnosti budovy - PENB. *TZB-energ* [online]. Praha: TZB-energ [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://www.tzb-energ.cz/penb.html>
- [24] Průkaz energetické náročnosti budovy a energetický audit. *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo, 2013 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/10584-prukaz-energeticke-narocnosti-budovy-a-energeticky-audit>
- [25] Weather Radar Maps. *Weather underground* [online]. San Francisco: TWC Product and Technology, 2013 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://www.wunderground.com/weather-radar/>
- [26] HOBO 4-Channel Analog Data Logger. In: *ONSET* [online]. Boston: Onset Computer Corporation, 1995 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/ux120-006m>

- [27] *Danish Building Research Institute* [online]. Kodaň: Aalborg university [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: [http://vbn.aau.dk/en/organisations/statens-byggeforskningsinstitut-sbi\(ba04b035-b938-4d5c-8989-f75eb5e7c86c\).html](http://vbn.aau.dk/en/organisations/statens-byggeforskningsinstitut-sbi(ba04b035-b938-4d5c-8989-f75eb5e7c86c).html)
- [28] Weather history graph. In: *Weather underground* [online]. San Francisco: TWC Product and Technology, 2013 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://www.wunderground.com/personal-weather-station/dashboard?ID=ICZECHRE6#history>
- [29] *BSim User's Guide*. Kodaň, 2002.
- [30] Teploměr-vlhkoměr. *Comet system* [online]. Rožnov pod Radhoštěm: Comet system, 0158n. I. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://www.cometsystem.cz/produkty/reg-s3120>
- [31] Nařízení vlády č. 93/2012 Sb. *Zákony pro lidi* [online]. Zlín: AION CS, 2010 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-93>
- [32] Stanovení tepelných zisků zasklení ze slunečního záření v energetickém hodnocení budov. *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo, 2008 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/8972-stanoveni-tepelnych-zisku-zaskleni-ze-slunecniho-zareni-v-energetickem-hodnoceni-budov>
- [33] Aktuální (průměrná) cena 1 kWh elektřiny. *Energie123* [online]. Praha: Energie123, 2011 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://www.energie123.cz/elektrina/ceny-elektricke-energie/cena-1-kwh/>

Seznam tabulek

Tab. 1 Venkovní výpočtová teplota pro zimní období	12
Tab. 2 Výpočtové teploty interiéru pro administrativní budovu	13
Tab. 3 Doporučené hodnoty relativních vlhkostí.....	15
Tab. 4 Stavební materiály a jejich tepelně technické vlastnosti.....	20
Tab. 5 Požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla dle	21
Tab. 6 Výpočtové teploty zeminy dle ČSN 06 0210	23
Tab. 7 Rovnocenné sluneční teploty vzduchu pro měsíc červenec	25
Tab. 8 Hygienické minimum n_{min} dle ČSN EN 12 831.....	26
Tab. 9 Azimut stěny γ	28
Tab. 10 Intenzita sluneční radiace pro 21. srpna.....	30
Tab. 11 Poloha slunce v závislosti na slunečním čase a roční době	31
Tab. 12 Produkce tepla a vodní páry od lidí.....	32
Tab. 13 Klasifikační třídy prostupu tepla obálkou hodnocené budovy dle ČSN	36
Tab. 14 Definované konstrukce v programu BSim 2002	59
Tab. 15 Zónování objektu	66
Tab. 16 Rozdělení výkonů chlazení a vytápění do jednotlivých zón	67
Tab. 17 Odchytky naměřených a vypočítaných hodnot vnitřní teploty pro jednotlivé zóny	71
Tab. 18 Analýza rozdílů naměřených a vypočítaných teplot pro zónu „4. patro“	72
Tab. 19 Umístění dataloggerů.....	76
Tab. 20 Třídy práce podle celkového průměrného energetického výdeje [20].....	77
Tab. 21 Požadavky na vnitřní klima [20]	78
Tab. 22 Množství naměřených hodnot teploty neodpovídajících NV 93/2012 Sb....	79
Tab. 23 Množství naměřených hodnot relativní vlhkosti neodpovídajících nařízení vlády 93/2012 Sb.....	80
Tab. 24 Spotřeba a cena elektrické energie na chlazení během TMY.....	86

Seznam obrázků

Obr. 1 Přibližná závislost přímého a difúzního záření na ročním období.....	17
Obr. 2 Mollierův h-x diagram pro p=98,1 kPa.....	18
Obr. 3 Intenzita sluneční radiace pro vybraný druh okenní konstrukce	28
Obr. 4 Geometrický model pro výpočet osluněné části okna S_{os}	29
Obr. 5 Osvětlovaná plocha.....	33
Obr. 6 Energetický štítek budovy dle ČSN 73 0540-2/2011	37
Obr. 7 Grafická část Průkazu energetické náročnosti budovy.....	39
Obr. 8 Grafické znázornění meteorologických stanic v Praze	
(www.wunderground.com).....	40
Obr. 9 Zpracovaná data z meteorologické stanice, připravená k importu do programu BSim 2002.....	41
Obr. 10 HOBO UX120 4-Channel Analogue Data Logger	42
Obr. 11 Uživatelské prostředí programu BSim 2002.....	44
Obr. 12 Fotografie průčelí posuzované stavby.....	45
Obr. 13 Výřez půdorysu 1 NP – ukázka výkresové dokumentace z roku 1995.....	48
Obr. 14 Umístění stanice s ID ICZECHRE6	51
Obr. 15 Příklad zobrazení dat ze stanice ID ICZECHRE6 pro 17. 3. 2018.....	52
Obr. 16 Příklad zobrazení dat z meteorologické stanice před úpravou.....	53
Obr. 17 Graf a rovnice pro teplotu okolního vzduchu ze dne 14. 8. 2017.....	54
Obr. 18 Práce s daty o počasí v BSimu 2002.....	55
Obr. 19 Část tabulky místností z 1 NP.....	57
Obr. 20 Skladba již definované střešní konstrukce a její parametry.....	58
Obr. 21 Možnost definice materiálu – beton	59
Obr. 22 Příklad vytvořené místnosti – sekretariát ve 2 NP.....	61
Obr. 23 Zkosení místností a střešní okna ve 4 NP – průčelí.....	62
Obr. 24 Geometrický model posuzované části budovy	62
Obr. 25 Informace o modelu místnosti archivu ve 2 NP.....	63
Obr. 26 Nastavení sdílení vazeb jednotlivých zón.....	64
Obr. 27 Nastavení systému chlazení pro zónu administrativa.....	67
Obr. 28 Nastavení orientace stavby.....	68

Obr. 29 Nastavení denního profilu obsazenosti pro zónu „Administrativa“ během všedního dne.....	70
Obr. 30 Průběhy teplot ve všech zónách pro datum 15. 8. 2017.....	73
Obr. 31 Datalogger Comet S3120.....	74
Obr. 32 Umístění dataloggerů v interiéru budovy (vlevo – kancelář 2 NP, vpravo – chodba 3 NP	75
Obr. 33 Průměrná teplota v měsíci srpnu pro všechny dataloggery	83

Seznam použitých zkratek a symbolů

Zkratky

ČSN Česká technická norma

EN Evropská norma

ISO Mezinárodní organizace pro normalizaci

TZB technická zařízení budov

D den v měsíci

M číslo měsíce

Rh relativní vlhkost

CO₂ oxid uhličitý

s. š. severní šířka

v. d. východní délka

PENB průkaz energetické náročnosti budovy

NP nadzemní patro

PP podzemní patro

m. n. m. metrů nad mořem

Matematicko - fyzikální veličiny

A	koeficient závislý na rychlosti proudění vzduchu [-]
t_i	teplota interiéru [°C]
t_r	radiační teplota [°C]
p_v	parciální tlak vodních par [Pa]
p	celkový tlak vzduchu [Pa]
x	měrná vlhkost [g/kg]
t_{rb}	teplota rosného bodu [°C]
t_w	teplota mokrého teploměru [°C]
t_a	teplota vzduchu [°C]
t_g	výsledná teplota kulového teploměru [°C]
t_o	operativní teplota [°C]
p_v''	parciální tlak syté vodní páry [Pa]
l_0	solární konstanta [$W \cdot m^{-2}$]
h	entalie [J/kg]
h_A	entalpie suchého vzduchu [J/kg]
h_v	entalpie vodní páry [J/kg]
c_v	měrná tepelná kapacita vody [J/kgK]
c_A	měrná tepelná kapacita suchého vzduchu [J/kgK]
v	rychlost větru [m/s]
h	výška slunce nad obzorem [m]
a	azimut slunce [°]
δ	sluneční deklinace [°]
ϕ	zeměpisná šířka [°]
	relativní vlhkost [%]
τ	časový úhel [°]
a_s	azimut osluněné plochy [°]
α	sklon plochy od vodorovné roviny [°]
γ	úhel dopadu slunečních paprsků [°] 110
U	součinitel prostupu tepla [$W/(m^2K)$]

A	plocha konstrukce po odečtení otvorů [m ²]
\mathcal{R}_j	součet odporů jednotlivých vrstev konstrukce [m ² K/W]
R _{si}	odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce [m ² K/W]
R _{se}	odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce [m ² K/W]
m	součinitel zmenšení teplotního kolísání [-]
δ	tloušťka stěny [m]
V _m	objem místnosti [m ³]
n _{min}	hygienické minimum dle ČSN EN 12 831 [h ⁻¹]
n ₅₀	hodnota intenzity výměny vzduchu při rozdílu tlaku 50 Pa [h ⁻¹]
e _i	stínící součinitel [-]
ε	korekční součinitel výšky od úrovně terénu (vliv větru ve vyšších podlažích)
ρ	hustota vzduchu [kg/m ³]
c	měrná tepelná kapacita vzduchu
l _a	výška zasklení [m]
l _b	šířka zasklení [m]
f	odstup od svislé stínící překážky (běžně šířka rámu) [m]
g	odstup od vodorovné stínící překážky (běžně šířka rámu) [m]
c	hloubka okna (venkovní nadpraží, balkón) [m]
d	hloubka okna (venkovní ostění či hloubka vodorovného slunolamu) [m]
c ₀	korekce na čistotu atmosféry [-]
I ₀	celková intenzita radiace (globální záření) [W/m ²]
I _{0 dif}	intenzita difúzní radiace (nahradí se hodnotou pro severní směr) [W/m ²]
s	stínící součinitel [-]
S _s	podlahová plocha zmenšená o přirozeně osvětlenou plochu u oken [m ²]
P _s	výkon osvětlení [W/m ²]
c ₁	součinitel současnosti používání svítidel [-]

Seznam příloh

- P1 Analýza naměřených teplot a vlhkostí v interiéru
- P2 Kalibrace modelu
- P3 Potřeba energie pro chlazení během typického meteorolog. roku
- P4 Průkaz energetické náročnosti budovy
- P5 Výkresový dokumentace (půdorys 1 NP, 2 NP, 3 NP a 4 NP)