



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 LÁZEŇSKÉHO
KOMPLEXU**

ANALYSIS OF INDOOR CLIMATE OF SPA RESORT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Tomáš Chadima

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. LUCIE HORKÁ

BRNO 2019



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3608T001 Pozemní stavby
Pracoviště	Ústav technických zařízení budov

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Tomáš Chadima
Název	Analýza vnitřního klimatu lázeňského komplexu
Vedoucí práce	Ing. Lucie Horká
Datum zadání	31. 3. 2018
Datum odevzdání	11. 1. 2019

V Brně dne 31. 3. 2018

prof. Ing. Jiří Hirš, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

- technické podklady k zadané budově
- aktuální právní předpisy ČR
- české i zahraniční technické normy
- odborná literatura
- internet

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Práce bude zpracována v souladu s platnými předpisy (zákony a vyhláškami, normami) pro energetické hodnocení budov a systémy TZB. Obsah a uspořádání práce dle směrnice FAST:

- titulní list,
- zadání VŠKP,
- licenční smlouva podepsaná autorem VŠKP,
- abstrakt v českém a anglickém jazyce, klíčová slova v českém a anglickém jazyce,
- bibliografická citace VŠKP dle ČSN ISO 690,
- prohlášení autora o původnosti práce, podpis autora,
- poděkování (nepovinné),
- obsah,
- úvod,
- vlastní text práce:

A. Analýza tématu, cíle a metody řešení

Analýza zadaného tématu, normové a legislativní podklady

Cíl práce, zvolené metody řešení

Aktuální technická řešení v praxi

Teoretické řešení (s využitím fyzikální podstaty dějů)

Experimentální řešení (popis metody a přístrojové techniky)

Řešení využívající výpočetní techniku a modelování

B. Aplikace tématu na zadané budově

Zhodnocení stávajícího stavu stavby a jejích systémů, zhodnocení stavu vnitřního prostředí, analýza vybraných opatření vedoucích k energetickým úsporám a zajištění kvality vnitřního prostředí budovy, analýza užití energie z vybraných obnovitelných zdrojů, zhodnocení energetické, ekonomické a ekologické.

C. Modelování a simulace

Modelové dílčí řešení s využitím softwaru postihující zadanou problematiku

k) závěr,

l) seznam použitých zdrojů,

m) seznam použitých zkratk a symbolů,

n) seznam příloh,

o) přílohy – výkresy

Vše bude svázáno pevnou vazbou. Volné dokumenty (metadata, posudky, výsledky obhajoby) budou vloženy do kapsy na předních deskách, výkresy budou poskládány a uloženy jako příloha v kapse na zadní straně desek.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

- 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).
- 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).

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá environmentálním hodnocením budov, konkrétně objektem Letních lázní v Karlově Studánce. První část práce popisuje tuto problematiku a legislativu. Také je zde popsán způsob experimentálního měření a způsoby měření vlhkosti. Druhá část se zabývá analýzou zadaného objektu, popisu vybraných obnovitelných zdrojů a popisu možných úprav objektu. Třetí část je věnována modelování a simulaci zadaného objektu v programu DesignBuilder. Pomocí modelu byly vytvořeny různé simulace s různými úpravami za účelem snížení energetické náročnosti objektu. Následně byly výsledky zhodnoceny a porovnány.

KLÍČOVÁ SLOVA

Energetické hodnocení budov, energetický model budovy, počítačová simulace, optimalizace spotřeb energie, měření vlhkosti, DesignBuilder, Karlova Studánka, Letní lázně

ABSTRACT

The thesis deals with the environmental assessment of buildings, concrete objects Letní lázně at Karlova Studánka. The first part describes the issue and legislation. There is also described a method of experimental measurement and methods of moisture measurement. The second part deals with the analysis of the specified object, description of selected renewable sources and description of possible modifications of the object. The third part is devoted to modeling and simulation of the specified object in DesignBuilder. Using the model were created various simulations with various modifications in order to reduce energy intensity of the object. Results were then evaluated and compared.

KEYWORDS

energy evaluation of buildings, building energy modeling, computer simulation, energy optimization, humidity measurement, DesignBuilder, Karlova Studánka, Letní lázně

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Tomáš Chadima *Analýza vnitřního klimatu lázeňského komplexu*. Brno, 2019. 95 s., 27 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technických zařízení budov. Vedoucí práce Ing. Lucie Horká

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Analýza vnitřního klimatu lázeňského komplexu* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 10. 1. 2019

Bc. Tomáš Chadima
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Analýza vnitřního klimatu lázeňského komplexu* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 10. 1. 2019

Bc. Tomáš Chadima
autor práce

PODĚKOVÁNÍ:

Mé poděkování patří Ing. Lucii Horké za odborné vedení, trpělivost a ochotu, kterou mi v průběhu zpracování diplomové práce věnovala.

Obsah

Úvod.....	10
A Analýza tématu, cíle a metody řešení.....	11
A.1 Cíle diplomové práce a zvolené metody řešení.....	12
A.2 Analýza zadaného tématu, normové a legislativní podklady.....	13
A.2.1 Analýza tématu.....	13
A.2.2 Normové a legislativní podklady	15
A.3 Aktuální technická řešení v praxi.....	19
A.3.1 Výpočetní metody energetického hodnocení budov	19
A.3.2 Energetické hodnocení budov	21
A.3.3 Řešení využívající výpočetní techniku a modelování.....	24
A.4 Přenos tepla	30
A.4.1 Základní přenos tepla	30
A.4.2 Přenos tepla stavebními konstrukcemi.....	31
A.5 Měření vlhkosti a teploty	32
A.5.1 Vlhkost – definice a způsob měření.....	32
A.5.2.1 Vlhkost - definice.....	32
A.5.2.2 Používané metody měření vlhkosti vzduchu.....	33
A.5.2 Způsoby měření teploty.....	38
A.6 Experimentální řešení.....	40
A.6.1 Experimentální řešení – popis metody.....	40
A.6.2 Experimentální řešení – popis přístrojové techniky.....	40
A.6.3 Experimentální řešení – klimatická data	55
B Aplikace tématu na zadané budově	56
B.1 Zhodnocení stávajícího stavu stavby a jejích systému.....	57
B.2 Zhodnocení stavu vnitřního prostředí.....	63
B.3 Analýza vybraných opatření vedoucích k energetickým úsporám a zajištění kvality vnitřního prostředí budovy	64

B.4 Analýza užití energie z vybraných obnovitelných zdrojů	66
C Modelování a simulace	67
C.1 Modelové dílčí řešení s využitím softwaru postihující zadanou problematiku	68
C.1.1 Softwarové řešení DesignBuilder	68
C.1.1.1 Postup řešení	68
C.1.1.2 Vytvoření modelu	69
C.1.1.3 Kalibrace modelu	69
C.1.1.2 Provozní schéma vytápění	70
C.1.2 Zhodnocení stávajícího stavu	73
C.1.3 Navržená opatření a úpravy	75
C.1.3.1 Nastavení teploty vytápění podle normových hodnot	75
C.1.3.2 Nastavení bez nočních útlumů	76
C.1.3.3 Částečné zateplení objektu	77
C.1.3.4 Výměna oken a dveří	78
C.1.3.6 Výměna oken a dveří + zateplení + vytápění dle normy	81
C.1.4 Srovnání navržených opatření a úprav	83
Závěr	86
Použité zdroje	87
Seznam obrázků	90
Seznam grafů	92
Seznam tabulek	93
Seznam použitých zkratk a symbolů	94
Seznam příloh	95

Úvod

Cílem diplomové práce je návrh úprav a opatření vedoucí ke snížení spotřeby tepelné energie na vytápění v budově Letních lázní v Karlově Studánce.

V první části práce jsou popsány důvody, proč se řeší energetické hodnocení budov a s tím spojená legislativa. Dále jsou zde ukázána aktuální technická řešení, která se v praxi používají, způsoby měření vlhkosti vzduchu a použité přístroje pro experimentální měření.

Ve druhé části je vypracována analýza objektu, která nás nejprve seznamuje s hodnoceným objektem, dále jsou zde popsány způsoby vytápění a jednotlivé konstrukce a také způsoby využívání jednotlivých částí. Tato kapitola dále zahrnuje jednotlivé způsoby opatření a stavebních úprav, které by vedly ke snížení energetické náročnosti. Závěr kapitoly je věnován jednotlivým druhům obnovitelných zdrojů.

Třetí část je zaměřena na modelování a simulace. Simulace jsou vytvořeny v programu DesignBuilder. Nejprve je ukázán aktuální stav a schéma vytápění objektu. Poté následují simulace s použitím jednotlivých úprav. V závěru jsou jednotlivé úpravy srovnávány.



A Analýza tématu, cíle a metody řešení

A.1 Cíle diplomové práce a zvolené metody řešení

Hlavním cílem diplomové práce je optimalizace spotřeb energií v budově Letních lázní v Karlově Studánce. Optimalizace by mělo být dosaženo úpravou režimů na vytápění a návrhem vhodných stavebních úprav.

Experimentální část diplomové práce se zabývá zjištěním skutečné spotřeby tepla v zimním období a tvorbou souboru klimatických dat pro teoretický simulační model. Spotřeba tepla potřebná pro vytápění je získána z předchozích let. Klimatická data jsou získána z meteorologické stanice Suchá Rudná, která je vzdálena od řešeného objektu cca 4 km.

Teoretická část řešení je věnována vytvoření kalibrovaného modelu na základě informací získaných experimentálními metodami a zabývá se optimalizací spotřeby energií. Pomocí softwaru DesignBuilder, který simuluje provoz budovy, je možné pozorovat vliv navržených opatření na úspory energií. Skutečná spotřeba energií je porovnána s výslednou spotřebou energií získanou simulací.

A.2 Analýza zadaného tématu, normové a legislativní podklady

A.2.1 Analýza tématu

Energetické hodnocení budov vychází ze směrnice Evropského společenství 2002/91/ES o energetické náročnosti budov. V roce 2010 došlo k přepracování této směrnice a byla vydána pod označením 2010/31/EU. Zákonem č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií a vyhláškou č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov, byly tyto vyhlášky implementovány do české národní legislativy. [1]

Kjótský protokol k Rámcové úmluvě OSN o změně klimatu byl dojednán v prosinci roku 1997. Kjótský protokol stanovil závazek snížit emise skleníkových plynů. V prvním kontrolním období (2008-2012) se země zavázaly snížit množství skleníkových plynů nejméně o 5,2 % oproti roku 1990. V prosinci 2012 byl schválen dodatek, ve kterém se země Evropské unie zavázaly snížit do roku 2020 emise skleníkových plynů o 20 % v porovnání s rokem 1990. Protokol není závazný pro rozvojové země a rozvíjející se ekonomiky (včetně Číny, Indie, Brazílie atd.). Nové závazky do roku 2020 budou pokrývat odhadem pouze 15 % celosvětových emisí skleníkových plynů. Tyto závazky byly zakomponovány do směrnice 2002/91/ES o energetické náročnosti budov. Zasedání Evropské rady v roce 2009 se usneslo, že spotřeba energie musí být v rámci Unie snížena o 20% do roku 2020 a z celkové spotřebované energie musí být 20% do roku 2020 vyráběno z obnovitelných zdrojů. Výsledkem je vydání přepracované směrnice 2010/31/EU. [2]

Environmentální hodnocení budov – je mladý, nepovinný nástroj k hodnocení budov. Hodnocení se zabývá především vlivem budovy na přírodu, kvalitou vnitřního prostředí a dalších. Hodnocení ukazuje environmentální stopu objektu a materiálů, ze kterých je postavena. Přes těžbu, zpracování, výstavbu, provoz budovy, vliv na vnitřní i venkovní prostředí až po likvidaci. EHB má mnohem více hodnocených kritérií, než jmenuje zákon. Hodnocením se například zabývá evropský model SBTool, který je pro Českou republiku lokalizovaný díky Stavební fakultě ČVUT jako SBToolCZ. Podle dosažených bodů se následně přiřadí certifikát kvality. [3]

Inteligentní regiony

Zadání mé diplomové práce vycházelo ze spolupráce na projektu TE02000077 „Smart Regions – Buildings and Settlements Information Modelling, Technology and Infrastructure for Sustainable Development“ v překladu „Inteligentní regiony – Informační modelování budov a sídel, technologie a infrastruktura pro udržitelný rozvoj“. Cílem projektu je vytvoření multidisciplinárního a interdisciplinárního systému spolupráce, který mezi sebou budou mít podniky a výzkumné organizace, které provádějí vývoj energeticky úsporných a k životnímu prostředí šetrných technologických systémů, zařízení a dalším pro inteligentní regiony. V České republice je projekt v souladu s energetickou strategií EU podle směrnice 2010/31/EU. Hlavním řešitelem tohoto projektu je prof. Ing. Jiří Hirš, CSc. Na tomto projektu se pracují Ústav technických zařízení budov VUT FAST a centrum AdMas. Projekt je financován Technologickou agenturou ČR – centrum kompetence. [4]

A.2.2 Normové a legislativní podklady

Světové – ASHRAE

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers neboli ASHRAE což v překladu znamená Americká společnost pro vytápění, chlazení a klimatizaci. Je profesní sdružení všech subjektů v USA činných v oboru výroby topných, chladicích, větracích a klimatizačních systémů. Hlavní pozornost se zaměřuje na podporu technologií pro řízení klimatu v budovách v topenářském, ventilačním a klimatizačním průmyslu. Sdružení sestavuje doporučení s mezinárodní platností. Norma ASHRAE 90.1 věnující se energetice ve Spojených státech platí již více než 35 let.

Nejnovější norma ASHRAE 90.1-2016 se věnuje stanovení minimálních požadavků na energeticky úsporný návrh většiny budov s výjimkou nízko podlažních budov. Toto vydání z roku 2016 prodělalo několik změn v oblastech jako je např. obálka budovy a osvětlení. [5]

Vnitrostátní - normové podklady

Základní normové podklady:

ČSN ISO 17743 Úspory energie - Vymezení metodického rámce použitelného pro výpočet a podávání zpráv o úsporách energie (vydána 1.12.2016)

ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky (vydána 1.10.2011)

ČSN EN 15459-1 Energetická náročnost budov - Postup pro ekonomické hodnocení energetických soustav v budovách - Část 1: Výpočtové postupy, Modul M1-14 (vydána 1.4.2018)

ČSN 73 0540-4 Tepelná ochrana budov - Část 4: Výpočtové metody (vydána 1.6.2005)

TNI 73 0327 Energetická náročnost budov - Energetické požadavky na osvětlení (vydána 1.12.2011)

ČSN 73 0542 Způsob stanovení energetické bilance zasklených ploch obvodového pláště budov (vydána 1.9.1995)

ČSN 73 0331-1 Energetická náročnost budov - Typické hodnoty pro výpočet - Část 1: Obecná část a měsíční výpočtová data (vydána 1.9.2018)

ČSN P CEN/TS 16628 Energetická náročnost budov - Základní zásady pro soubor norem ENB (vydána 1.11.2016)

ČSN P CEN/TS 16629 Energetická náročnost budov - Podrobná technická pravidla pro soubor norem ENB (vydána 1.11.2016) [6]

Legislativní podklady

Zákon č. 406/2000Sb. o hospodaření energií:

Schválen: 25. 10. 2000

Účinnost od: 1. 1. 2001

Změny zákona: 359/2003 Sb., 694/2004 Sb., 180/2005 Sb., 177/2006 Sb., 214/2006 Sb., 574/2006 Sb., 186/2006 Sb., 393/2007 Sb., 124/2008 Sb., 223/2009 Sb., 299/2011 Sb., 53/2012 Sb., 165/2012 Sb., 318/2012 Sb., 310/2013 Sb., 103/2015 Sb., 131/2015 Sb., 183/2017 Sb. a nově od 1. 1. 2018 225/2017 Sb.

Zákon stanovuje opatření pro zvyšování hospodárnosti užití energie a povinnosti fyzických a právnických osob při nakládání s energií, dále pravidla pro tvorbu Státní energetické koncepce, Územní energetické koncepce a Státního programu na podporu úspor energie a využití obnovitelných zdrojů energie a požadavky na ekodesign energetických spotřebičů. [7]

Vyhláška 480/2012 Sb. vyhláška o energetickém auditu a energetickém posudku

Schválen: 20. 12. 2012

Účinnost od: 1. 1. 2013

Vyhláška se zabývá obsahem energetického posudku, který má tyto části:

- a) titulní list,
- b) účel zpracování podle § 9a zákona,
- c) identifikační údaje,
- d) zjištění energetického specialisty oprávněného zpracovat energetický posudek,
- e) doporučení energetického specialisty oprávněného zpracovat energetický posudek a jejich podmínky proveditelnosti,
- f) evidenční list energetického posudku, jehož vzor pro jednotlivé případy je uveden v příloze č. 7 k této vyhlášce,

g) kopii dokladu o vydání oprávnění podle § 10b zákona nebo kopii oprávnění osoby pro vykonávání této činnosti podle právního předpisu jiného členského státu Evropské unie. [8]

Vyhláška 118/2013 Sb. o energetických specialistech

Schválen: 16. 5. 2013

Účinnost od: 1. 6. 2013

Vyhláška stanovuje obsah a rozsah zkoušky, obsah a rozsah průběžného vzdělávání a dále také přezkušování energetických specialistů. [9]

Předpis č. 78/2013 Sb. vyhláška o energetické náročnosti budov

Schválen: 29. 3. 2013

Účinnost od: 1. 4. 2013

Vyhláška 78/2013 Sb. přináší změny oproti staré vyhlášce 148/2007 Sb.

Vyhláška 78/2013 Sb. přináší technickou normalizaci TNI 730331, kterou vytvořili na Katedře TZB Stavební fakulty ČVUT. Důvod k vytvoření této technické normalizační informace byla nedostupnost souhrnného materiálu parametrů technických systémů budov, typického užívání a klimatických dat pro hodnocení ENB.

TNI 730331 byla dne 1. 10. 2018 nahrazena normou ČSN 73 0331-1.

Tato norma obsahuje v přílohách informativní parametry pro:

- typické hodnoty a rozmezí zadávaných parametrů účinností technických systémů budov,
- typické profily užívání různých typů budov a provozů (provozní doba, požadavek na větrání, osvětlení a teplou vodu, vnitřní tepelné zátěže od vybavení),
- klimatická data pro výpočet energetické náročnosti budov v ČR měsíčním krokem výpočtu,
- vymezení pojmu energeticky vztažná plocha. [10] [11] [12]

Klasifikační třída	Hodnota pro horní hranici klasifikační třídy		Slovní vyjádření klasifikační třídy
	Energie	U_{em}	
A	$0,5 \times E_R$	$0,65 \times E_R$	Mimořádně úsporná
B	$0,75 \times E_R$	$0,8 \times E_R$	Velmi úsporná
C	E_R		Úsporná
D	$1,5 \times E_R$		Méně úsporná
E	$2 \times E_R$		Nehospodárná
F	$2,5 \times E_R$		Velmi nehospodárná
G			Mimořádně nehospodárná

Obrázek 1 Klasifikační třídy energetické náročnosti budovy [10]

PRŮKAZ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY

vydání podle zákona č. 408/2008 Sb., o hospodaření energií, a vyhlášky č. xxx/2012 Sb., o energetické náročnosti budov

Ulice, číslo: _____
 PSČ, místo: _____
 Typ budovy: _____
 Plocha obálky budovy: _____ m²
 Objemový faktor tvaru A/V: _____ m³/m²
 Celková energeticky vztažná plocha: _____ m²

FOTO

DOPORUČENÁ OPATŘENÍ

Opatření pro	Stanovena
Vnější stěny:	<input checked="" type="checkbox"/>
Okna a dveře:	<input checked="" type="checkbox"/>
Střechu:	<input checked="" type="checkbox"/>
Podlahu:	<input type="checkbox"/>
Vytápění:	<input checked="" type="checkbox"/>
Chlazení/klimatizaci:	<input type="checkbox"/>
Větrání:	<input checked="" type="checkbox"/>
Přípravu teplé vody:	<input type="checkbox"/>
Osvětlení:	<input checked="" type="checkbox"/>
Jiné:	<input type="checkbox"/>

Pro každé opatření lze přidat konkrétní opatření a vyhodnotit jejich dopad na energetickou náročnost je zakresleno alfab.

PODÍL ENERGOONOSITELŮ NA DODANÉ ENERGII

Hodnoty pro celou budovu MWh/rok

■ Elektrina ze sítě - XX,X
 ■ Plyn a en. prostředí - XX,X
 ■ Zemní plyn - XX,X

ENERGETICKÁ NÁROČNOST BUDOVY

Celková dodaná energie (Energie na vstupu do budovy)		Neobnovitelná primární energie (Vliv provozu budovy na životní prostředí)	
Měrné hodnoty kWh/(m ² ·rok)			
A Mírně úsporná	Dop. A	XXX	Dop. XXX
B Velmi úsporná	XXX B	XXX	XXX XXX
C Úsporná	C	XXX	C
D Méně úsporná	D	XXX	D
E Nehospodárná	E	XXX	E
F Velmi nehospodárná	F	XXX	F
G Mimořádně nehospodárná	G	XXX	G
Hodnoty pro celou budovu MWh/rok	XX,X		XX,X

UKAZATELE ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY

Obálka budovy	Vytápění	Chlazení	Větrání	Úprava vlhkosti	Teplá voda	Osvětlení
A Dop.						
B						
C XXX						
D						
E XX						
F						
G						
Hodnoty pro celou budovu MWh/rok	XX,X	XX,X	XX,X	XX,X	XX,X	XX,X

Zpracovatel: _____ Osvědčení č.: _____
 Kontakt: _____ Vyhотовeno dne: _____
 Podpis: _____

Obrázek 2 Grafické znázornění průkazu [10]

Podle novely zákona o hospodaření energií, která byla schválena Vládou ČR 29. února 2012, je nutno energeticky štítek zpracovat v těchto případech:

- Při nové výstavbě. PENB součástí dokumentace pro stavební povolení nebo ohlášení stavby.
- Od 1. července 2013 Budovy užívané orgány veřejné moci (například krajské, městské a obecní úřady, budovy Policie ČR, městské policie, hasičů, soudy) s celkovou energeticky vztažnou plochou větší než 500 m².
- Od 1. ledna 2015 Stávající bytové domy nebo administrativní budovy s celkovou energeticky vztažnou plochou větší než 1 500 m².
- Od 1. července 2015 Budovy užívané orgány veřejné moci s celkovou energeticky vztažnou plochou větší než 250 m².
- Od 1. ledna 2016 Při pronájmu ucelené části budovy (bytu, nebytového prostoru) včetně družstevních domů.
- Od 1. ledna 2017 Stávající bytové domy nebo administrativní budovy s celkovou energeticky vztažnou plochou větší než 1 000 m².
- Od 1. ledna 2019 Stávající bytové domy nebo administrativní budovy s celkovou energeticky vztažnou plochou menší než 1 000 m².

A.3 Aktuální technická řešení v praxi

A.3.1 Výpočetní metody energetického hodnocení budov

BREEAM

Jedná se o metodu z Velké Británie. Slovo BREEAM je zkratkou Building Research Establishment Environmental Assessment Method. Tento standard udává nejlepší postupy v oblasti navrhování budov s důrazem na trvalou udržitelnost. Hodnocení BREEAM používá uznávaná výkonnostní měřítka, která jsou stanovena podle zavedených kritérií.

Toto hodnocení zahrnuje specifikaci budovy, její design, konstrukci a užívání. Hodnotí se široká škála kritérií a kategorií od energie po ekologii. Jsou zahrnuty aspekty užívání energie a vody, vnitřního prostředí, znečištění, dopravy, materiálů, odpadu, ekologie a řídicích procesů.[13]

Assessment score (%)	Assessment rating	Star rating
< 10	Unclassified	-
≥ 10 to < 25	Acceptable	★
≥ 25 to < 40	Pass	★ ★
≥ 40 to < 55	Good	★ ★ ★
≥ 55 to < 70	Very Good	★ ★ ★ ★
≥ 70 to < 85	Excellent	★ ★ ★ ★ ★
≥ 85	Outstanding	★ ★ ★ ★ ★ ★

Obrázek 3 Hodnocení BREEAM [41]

DGNB

Jedná se o Německý certifikační systém. Tento systém lze použít jak pro nové budovy, tak i pro stávající budovy a městské části. Systém hodnotí budovu s jejími vlastnostmi jako celek. Je velmi flexibilní, díky čemuž je lehce aktualizován. Může být jednoduše přizpůsoben různým technickým, kulturním a klimatickým podmínkám. Zohledňuje se zde celý cyklus životnosti budovy od výstavby, přes provoz, až po demolici na konci životnosti. Budovy jsou hodnoceny stejným systematickým přístupem, ale s různými profily pro různé typy budov. [14]

Total-Performance Index	Minimum Performance Index	Awards	
from 35 %	— %	Bronze*	
from 50 %	35 %	Silver	
from 65 %	50 %	Gold	
from 80 %	65 %	Platinum	

*This award is valid only for existing buildings

Obrázek 4 Hodnocení DGNB [42]

LEED

Systém hodnocení LEED byl vyvinut Americkou radou pro šetrné budovy. Slovo LEED je zkratka Leadership in Energy and Environmental Design. Je to mezinárodně uznávaná značka kvality, která poskytuje vlastníkům a provozovatelům budov informace o tom, zda dům nebo soubor budov byl navržen a vybudován s ohledem na vysoké požadavky ochrany zdraví lidí a životního prostředí. Tento systém umožňuje hodnocení od jednotlivých budov až po celé čtvrtě a komunity.[15]



Obrázek 5 Hodnocení LEED [43]

SBToolCZ

Certifikační systém SBToolCZ vychází z mezinárodního schématu SBTool což vychází ze zkratky Sustainable Building Tool. Odborníci z Fakulty stavební ČVUT v Praze se zasloužili na implementaci českých norem a tuzemských podmínek ve stavebnictví. Tento systém je jako jediný lokalizovaný v češtině. Hodnocení udává celkovou kvalitu budovy v souladu s udržitelnou výstavbou. Certifikát zohledňuje dopad

na životní prostředí, technické provedení, sociální dopad, ekonomiku a kvalitu lokality. Certifikace lze použít pro rodinné domy, bytové domy a administrativní budovy.

Výsledné certifikáty kvality:

- budova certifikována (při obdržení 0 až 40 % bodů ze všech možných),
- bronzový certifikát kvality (40-60 %),
- stříbrný certifikát kvality (60-80 %),
- zlatý certifikát kvality (nad 80 %). [16]



Obrázek 6 Hodnocení SBTToolCZ [16]

A.3.2 Energetické hodnocení budov

Průkaz energetické náročnosti budov – PENB

Průkaz energetické náročnosti budovy je vysvědčením energetické hospodárnosti budovy. Zařazení budovy do příslušné energetické třídy napovídá budoucímu uživateli nemovitosti, kolik ho budou stát náklady za energie a zda bude muset do budoucna počítat s nutnou rekonstrukcí. Motivem zavedení energetických průkazů nebyla šikana občanů, ale ochrana spotřebitele, snaha snížit výdaje za energie a zvýšit počet úsporných budov v souladu s celkovou energetickou politikou České republiky.

Průkaz energetické náročnosti budovy je zapotřebí zejména při prodeji a pronájmu domu nebo bytu a v dalších zákonem stanovených případech. Je důležité zjistit, kdy je energetický průkaz potřeba a zajistit si jeho vyhotovení. [17]

Energetický štítek obálky budovy

PENB bývá někdy zaměňován s Energetickým štítkem obálky budovy nebo Energetickým auditem. Energetický štítek ovšem vyjadřuje energetickou náročnost budovy v podobě součinitele prostupu tepla obálkou budovy (U_{em}) a není zákonem vyžadován. Používá se hlavně pro dotační žádosti při zateplování budov a výměně oken. [18]

Energetický posudek

Energetický posudek (EP) je metoda energetického hodnocení, která slouží ke zhodnocení přínosu navrženého opatření v rámci energetického hospodářství. Účelem energetického posudku je zhodnocení konkrétního navrženého opatření na základě zpracované projektové dokumentace, nebo zhodnocení přínosu opatření po již provedené realizace.

Specifický příkladem Energetického posudku je jeho uplatnění v procesu územního a stavebního řízení podle Stavebního zákona. Jedná se o následující případy:

- odpojování odběratelů tepla od Systému centrálního zásobování,
- volba nového zdroje tepla v případě výstavby nové budovy, resp. větší změny dokončené budovy,
- povinnosti u nových staveb nebo změnách dokončených staveb podle zákona č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší.

Hlavním nástrojem pro rozhodování je energetický posudek zpracovaný oprávněnou osobou - energetickým specialistou - podle zákona č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií v platném znění. [19]

Energetický audit

Energetický audit zase na rozdíl od energetického průkazu pracuje s reálnými hodnotami, získanými během užívání a provozu budovy. Součástí auditu je také návrh úsporných opatření. A nesmíme též zaměňovat hodnoty v PENB, který počítá veškerou spotřebu energie dodané do domu, s klasifikací domů na pasivní, nízkoenergetické, energeticky úsporné atd., která je založena pouze na měrné roční potřebě tepla na vytápění. [19]

Vztahy pro výpočet energetického hodnocení budov:

$$EP = Q_{fuel,tot} = EP_H + EP_C + EP_F + EP_W + EP_L - EP_{PV} - EP_{CHP}$$

$Q_{fuel,tot}$ celková roční dodaná energie obsažená v energonositelích zásobujících budovu, [GJ]

EP_H roční dodaná energie na vytápění včetně pomocné energie na provoz vytápěcího zařízení [GJ]

EP_C roční dodaná energie na chlazení včetně pomocné energie na provoz chladicího zařízení [GJ]

EP_F roční dodaná energie na mechanické větrání a úpravu vlhkosti větracího vzduchu včetně pomocné energie na mechanické větrání a úpravu vlhkosti větracího vzduchu [GJ]

EP_W roční dodaná energie na přípravu teplé vody včetně pomocné energie na provoz zařízení na přípravu teplé vody [GJ]

EP_L roční dodaná energie na osvětlení [GJ]

EP_{PV} roční produkce energie fotovoltaickým systémem [GJ]

EP_{CH} je roční produkce energie systémem kombinované výroby elektřiny a tepla [GJ]

Energetické systémy budovy – vytápění

$$EP_H = Q_{fuel,H} + Q_{aux,H}$$

$Q_{fuel,H}$ roční dodaná energie na vytápění [GJ]

$Q_{aux,H}$ roční dodaná pomocná energie systému vytápění [GJ]

Energetické systémy budovy – chlazení

$$EP_C = Q_{fuel,C} + Q_{aux,C}$$

$Q_{fuel,C}$ roční dodaná energie na chlazení [GJ]

$Q_{aux,C}$ roční dodaná pomocná energie systému chlazení [GJ]

Příprava teplé vody

$$EP_W = Q_{fuel,W} + Q_{W,aux}$$

$Q_{fuel,W}$ roční dodaná energie na přípravu teplé vody [GJ]

$Q_{W,aux}$ roční dodaná pomocná energie systému přípravy teplé vody [GJ] [20]

A.3.3 Řešení využívající výpočetní techniku a modelování

Pomocí simulačních softwarů můžeme vytvářet virtuální modely jak reálných, tak hypotetických budov. Díky těmto modelům můžeme studovat jejich energetickou náročnost a také předpovídat jejich chování v různých klimatických podmínkách.

Okrajové podmínky pro simulaci modelů mohou být z reálných naměřených dat, např. klimatické datové soubory. Nevýhodou těchto řešení je větší časová náročnost a dobrá uživatelská znalost fyzikální podstaty této problematiky. Další nevýhodou je složitější uživatelské prostředí, které není úplně intuitivní. Základ je vytvoření funkčního modelu (geometrického, matematického, matematicko-fyzikálního, ...) a formulování jeho vlastností a chování.

BSim

BSim je integrovaný počítačový nástroj pro analýzu budov a instalací. BSim obsahuje sadu pokročilých nástrojů pro simulaci a výpočet např. termálního vnitřního klima, spotřeby energie, podmínky denního světla, synchronní simulace vlhkosti a dopravy energie ve stavebních a prostorech, výpočet přirozeného větrání a elektrického výnosu ze stavebních integrovaných fotovoltaických systémů.

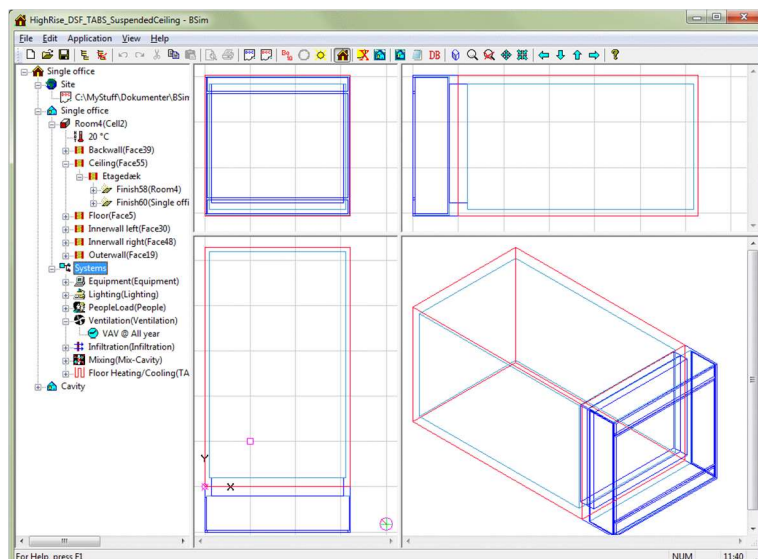
Uživatelé musí mít určité obecné znalosti o konstrukci budovy a o tom, jak se budovy chovají tepelně za účelem vytvoření modelu budovy.

Model je zobrazen současně jako 3D kresba, půdorys a dvě části. Kromě toho je na levé straně displeje zobrazena struktura hierarchického stromu, která umožňuje uživateli přístup a úpravy jednotlivých částí modelu budovy. Data mohou být přenášena do dalších programů pro další zpracování, např. DirectX nebo Radiance.

Uživatel může definovat libovolný z vypočtených parametrů (více než 67 pro každou zónu plus data z okolního prostředí, jako výstup na hodinové bázi v tabulkové nebo grafické podobě.) Proměnné mohou být také prezentovány v "součtových" grafech nebo tabulkách. Mohou být zobrazeny energetické váhy pro každou zónu nebo celou budovu.

Všechny výsledky lze snadno exportovat do aplikace Excel nebo podobného nástroje pro další zpracování.

Silnou stránkou programu je analýza vnitřního tepelného klimatu ve složitých budovách nebo budovách se zvláštními požadavky na vnitřní klima. [21]



Obrázek 7 Ukázka programu BSim

DesignBuilder

DesignBuilder poskytuje pokročilé nástroje pro modelování a kvantifikaci výkonu budovy v jednoduchém rozhraní. To umožňuje použít stejný software pro rychlé vyvíjení komfortních a energeticky úsporných návrhů budov od konceptu až po dokončení a do provozu budovy.

DesignBuilder poskytuje plně integrovanou sadu nástrojů s vysokou produktivitou, které pomáhají s trvale udržitelným návrhem budov a analýzou výkonu. Již ze základního modelu lze provést mnoho typů analýz, což umožňuje velkou úsporu času při vypracování různých požadavků od klientů. Projektanti a energetičtí specialisté na celém světě používají DesignBuilder k vyčíslení dopadu svých návrhových strategií na budování environmentálního výkonu. Nebo pro prokázání souladu s regulačními kódy budov a certifikačními systémy, jako jsou LEED, Energy Star a BREEAM.

Díky kvalitním výstupům mohou klienti snadno pochopit výsledky. Klíčové ukazatele výkonnosti, jako je spotřeba energie, zatížení vytápění a chlazení, emise uhlíku, tepelná pohoda, denní světlo a náklady, mohou být poskytnuty v celém procesu návrhu v přírodně větraných i klimatizovaných budovách.

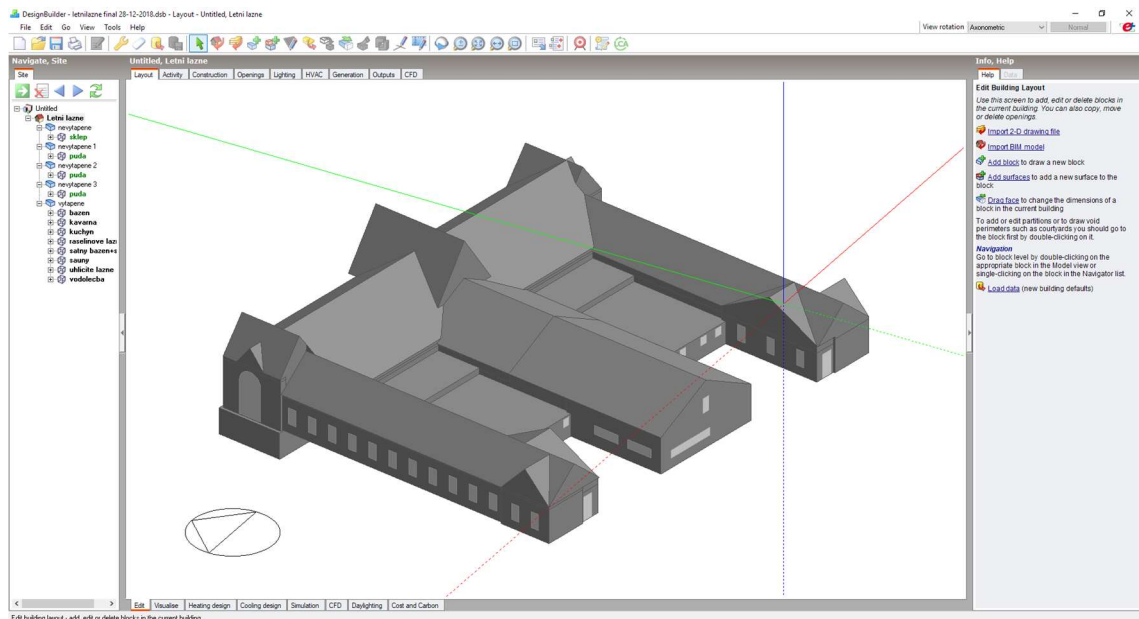
DesignBuilder je nejjednodušší běžný software pro analýzu výkonnosti budov.

Realistické 3-D prvky poskytují vizuální zpětnou vazbu o skutečné tloušťce prvku a prostorových plochách a objemech. Geometrii budov lze importovat z 3D modelů BIM, kreslených ručně nebo z importovaných 2D půdorysů.

Výstup:

- Vnitřní vzduch, střední sálavé a provozní teploty a vlhkost.
- Komfortní výstup včetně křivky rozložení teploty, kritéria komfortu ASHRAE 55, CIBSE TM52 a TM59, Fanger PMV, Pierce PMV ET, Pierce PMV SET, Pierce Discomfort Index (DISC), Pierce tepelný sensorický index (TSENS), Kansas Uni TSV, vytápění a přehřátí.
- Přenos tepla přes stavební materiál včetně stěn, střech, infiltraci, větrání apod.
- Vytápění a chlazení.
- Emise CO₂ a dalších znečišťujících látek.
- Velikost topných a chladicích zařízení lze vypočítat pomocí návrhových údajů o počasí.
- Data mohou být zobrazena graficky nebo v tabulkové podobě a lze je exportovat v různých formátech do tabulek a vlastních sestav. Je také možné vizualizovat data povrchu a zóny vykreslená na modelu pomocí falešných barev.
- Optimalizační výstupy umožňují optimalizovat možnosti s nejlepšími kombinacemi nákladů, energie a komfortu a procházet složitým vztahem mezi cíli návrhu, omezeními a možnými možnostmi návrhu.
- ASHRAE 90.1 Příloha G Zprávy o hodnocení výkonnosti za rok 2007 a 2010 pro zprávy LEED EAp2 a EAcl.

DesignBuilder je dobrou volbou pro modelování v raném stádiu pro testování konstrukčních koncepcí budov. V programu DesignBuilder může být vytvořen model v raném stádiu až po detailní design a certifikaci. [22]



Obrázek 8 Ukázka programu DesignBuilder

ESP-r

ESP-r je program pro simulaci energie celé budovy pro integrované modelování energetické náročnosti budov. Primárním uplatněním programu je podpora výzkumných pracovníků, kteří provádějí podrobné studie, ale také se používá ve výuce a při navrhování. Tok tepla, vzduchu, vlhkosti, světla a elektrického proudu lze simulovat podle uživatelského prostorového a časového rozlišení.

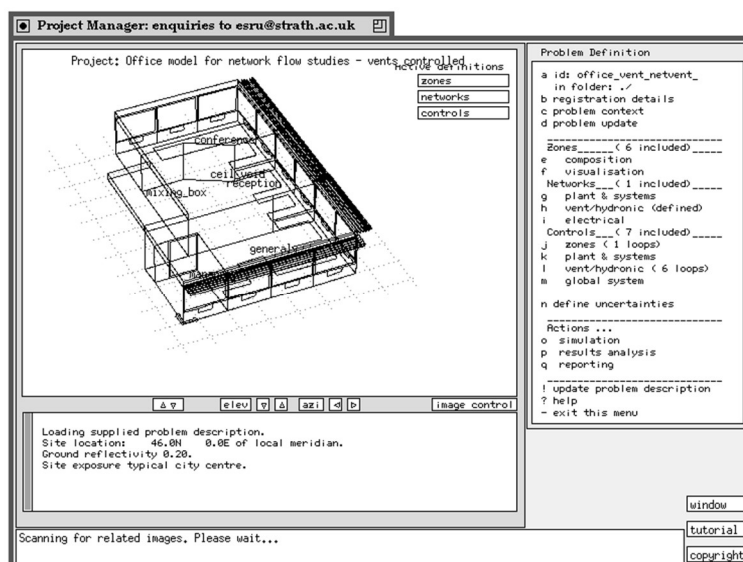
ESP-r má vývojáře po celém světě a jeho distribuce je spravována pod kontrolou zdrojového kódu GitHub. Systém je bezplatně dostupný pod licencí Open Source.

Některé příklady funkcí ESP-r s vysokým rozlišením jsou:

- zobrazení všech částí zařízení a řídicího systému jako objektů umístěných přímo v budově za účelem podpory termodynamických interakcí staveb a zařízení a současného řešení kombinovaného modelu;
- zahrnutí vnitřních prvků (nábytek a schody), které zvyšují významnou tepelnou hmotu a ovlivňují výměnu radiačních vln a krátkodobé záření;
- vícenásobné zobrazení komponentů zařízení, jako je kondenzační kotel, solární tepelný kolektor a fotovoltaické panely, které nevyžadují vstupní faktory;
- zavedení modelů výpočetní dynamiky tekutin (CFD) v tepelné zóně pro podporu studií o pohodlí a kvalitě ovzduší;
- vícenásobné zobrazení zásoby teplé vody za účelem vyhodnocení přístupu k dvojímu řízení zdroje tepla a vyhýbání se neúmyslnému úniku tepla;

- zahrnutí modelu fotovoltaických součástí s přípojkou k místní nízkonapěťové síti k podpoře vyhodnocení interakcí sítě pomocí simulace toku energie;
- řídicí akce zahrnující vícezónové snímání teploty a solární ohřev vody s jasným umístěním řídicích termostatů topného systému;
- proudění vzduchu, vody a elektřiny s úpravami parametrů, které reagují na dynamické hraniční podmínky a signály řídicího systému;
- vyjádření chování osob v souvislosti s používáním IT a úpravou regulace topení;
- podrobná analýza řízení osvětlení pomocí simulace s Radiance;
- uložení naměřených dat (počasí, proudění vzduchu, vnitřní zisk atd.) na simulaci.

ESP-r je primárně zaměřen pro vědecké pracovníky a projektanty, kteří chtějí provést podrobné studie a kteří dobře chápou fyziku budov. [23]



Obrázek 9 Ukázka programu ESP-r

TRNSYS

Program simulace energie, jehož modulární systémový přístup z něj činí jeden z nejvíce dostupných nástrojů. Program TRNSYS (Simulační program TRAnsient SYstem) obsahuje grafické rozhraní, simulační stroj a knihovnu komponentů, které se jsou od různých stavebních modelů až po standardní zařízení HVAC k obnovitelné energii a nově vznikajícím technologiím. TRNSYS také obsahuje metodu pro vytváření nových komponentů, které ve standardním balíčku neexistují. Tento simulační balíček byl používán více než 30 let pro HVAC analýzu a dimenzování, vícezónové analýzy

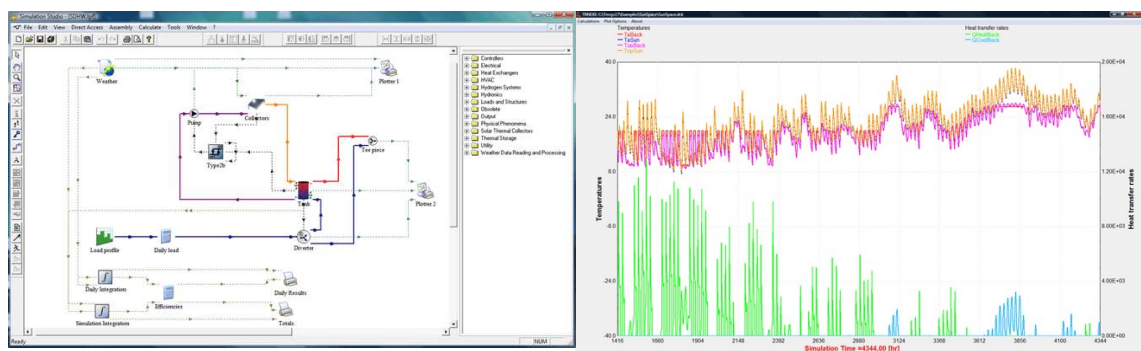
proudění vzduchu, simulace elektrického výkonu, solární návrh, tepelná výkonnost budov, analýza kontrolních schémat apod.

Všechny vstupní soubory lze generovat pomocí grafického uživatelského rozhraní známé jako Simulační studio. Obálka budovy TRNSYS může být trojrozměrně vytvořena v modulu TRNSYS3D pro SketchUp™ a upravena v rozhraní TRNBuild.

Základní výstupní formát je ASCII. Údaje obsažené v těchto souborech mohou být náklady na životní cyklus, měsíční shrnutí, roční výsledky, histogramy, vykreslení požadovaných proměnných (podle času). Je také možné přepínat proměnné v průběhu simulace.

Silné stránky:

Díky modulárnímu přístupu je TRNSYS velmi flexibilní pro modelování různých energetických systémů při různé složitosti. Dodávaný zdrojový kód a dokumentace umožňují uživateli snadnou úpravy nebo přidávání komponentů, které nejsou ve standardní knihovně, dodávaný časový krok, časy startu a zastavení, které umožňují volbu modelovacích období. Program TRNSYS obsahuje grafické rozhraní pro vytváření vstupních souborů (simulační studio), nástroj pro snadné vytváření vstupního souboru pro budovy (TRNBuild) a program pro vytváření aplikací založených na TRNSYS, (TRNEdit). Dále je uživatelům k dispozici webová knihovna dalších komponentů a časté aktualizace. Rozsáhlé knihovny nestandardních komponentů pro TRNSYS jsou komerčně dostupné od distributorů společnosti TRNSYS. TRNSYS také spolupracuje s různými simulačními balíčky, jako jsou COMIS, CONTA [24]



Obrázek 10 Ukázka programu TRNSYS

A.4 Přenos tepla

A.4.1 Základní přenos tepla

V této kapitole si ukážeme pár základních fyzikálních rovnic pro řešení dané problematiky.

Vedení (kondukce) tepla

Částice látky si předávají část své pohybové energie v rámci jedné látky nebo v přímém kontaktu mezi dvěma různými látkami.

Průchod tepla jednoduchou rovinnou stěnou

$$Q = \frac{\lambda}{d}(t_1 - t_2)S$$

Q velikost tepelného toku [W]

λ součinitel tepelné vodivosti [$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$]

d tloušťka stěny [m]

t teplota na okraji stěny $t_1 > t_2$

S plocha povrchu stěny [m^2] [25]

Sálání (radiace)

Šíření energie ve formě elektromagnetického vlnění (podobného světelnému vlnění), přičemž k přenosu energie z jednoho tělesa do jiného není potřeba žádné zprostředkující médium.

$$P = \sigma \varepsilon S T^4$$

P výkon vyzařovacího předmětu [W]

σ Stefanova-Boltzmannova konstanta $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$

ε emisivita předmětu $0 \leq \varepsilon \leq 1$

S obsah plochy povrchu vyzařovacího předmětu [m^2]

T teplota předmětu v kelvinech [25]

Proudění (konvekce)

Šíření tepla prostřednictvím kapaliny nebo vzduchu.

$$Q = \alpha S \Delta t$$

- Q tepelný tok [W]
- A součinitel přestupu tepla [$\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$]
- S plocha stěny [m^2]
- Δt rozdíl teplot [K] [25]

A.4.2 Přenos tepla stavebními konstrukcemi

Tepelný odpor

Tepelný odpor vyjadřuje, jakou plochou konstrukce a při jakém rozdílu teplot na jejích površích dojde k přenosu 1 Wattu, čili k přenosu energie o velikosti 1 J za 1 sekundu.

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

- R tepelný odpor [m^2KW^{-1}]
- d tloušťka konstrukce [m]
- λ součinitel tepelné vodivosti [$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$] [26]

Odpor konstrukce při prostupu tepla

R_T úhrnný tepelný odpor bránící výměně tepla mezi prostředím oddělenými od sebe stavební konstrukcí o tepelném odporu R s přilehlými mezními vzduchovými vrstvami,

$$R_T = R_{si} + R + R_{se}$$

- R_T odpor konstrukce při prostupu tepla [m^2KW^{-1}]
- R_{si} odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce [m^2KW^{-1}]
- R odpor konstrukce [m^2KW^{-1}]
- R_{se} odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce [m^2KW^{-1}] [26]

Součinitel prostupu tepla

Součinitel prostupu tepla vyjadřuje, kolik tepla unikne konstrukcí o ploše 1 m^2 při rozdílu teplot jejích povrchů 1 K.

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

- U součinitel prostupu tepla [$\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$]
- R tepelný odpor konstrukce [m^2KW^{-1}] [27]

A.5 Měření vlhkosti a teploty

A.5.1 Vlhkost – definice a způsob měření

A.5.2.1 Vlhkost - definice

Definice vlhkosti

Vlhkost je základní vlastností vzduchu. Vlhkost vzduchu nám udává, jaké množství vodní páry obsahuje dané množství vzduchu. Pro měření vlhkosti vzduchu se obvykle používá absolutní nebo relativní vlhkost. [28]

Absolutní vlhkost

Absolutní vlhkost Φ vyjadřuje hmotnost vodní páry obsažené v jednotce objemu vzduchu. Jednotkou je gram na metr krychlový $[g \cdot m^{-3}]$. Vzduch není schopen pojmout neomezené množství vodní páry. Při určitém množství se vzduch vodní parou nasatí a již není schopen pojmout více vlhkosti.

$$\Phi = \frac{m}{V} [g \cdot m^{-3}]$$

kde:

m hmotnost vodní páry

V objem vzduchu [28]

Relativní vlhkost

Relativní vlhkost vzduchu ϕ udává poměr mezi aktuálním množstvím vodních par ve vzduchu a množstvím par, které by měl vzduch o stejném tlaku a teplotě při plném nasycení. Relativní vlhkost je tedy procentuální zastoupení vodní páry v suchém vzduchu za daných klimatických podmínek. Zjednodušeně lze říci, že je to poměr absolutní vlhkosti vzduchu a maximální absolutní vlhkosti plynu, které je možné dosáhnout při stejné teplotě. Relativní vlhkost je bezrozměrná veličina, ale běžně se vynásobí stem a udává se v procentech.

$$\phi = \frac{\Phi}{\Phi''} \cdot 100 [\%]$$

kde:

ϕ absolutní vlhkost vzduchu

ϕ'' absolutní vlhkost nasyceného vzduchu [28]

Měrná vlhkost

Měrná vlhkost se vyjadřuje jako poměr mezi hmotností vodní páry a hmotností suchého vzduchu. Udává se v jednotkách kg.kg-1 anebo g.kg-1. [28]

Rosný bod

Rosný bod nám udává teplotu, při které je vzduch maximálně nasycen vodními parami. Dojde-li k poklesu teploty pod tento bod, dojde ke kondenzaci vodních par na povrchu a tvoří se mlha. Čím větší množství vodní páry ve vzduchu, tím vyšší teplota rosného bodu je. Jednotkou rosného bodu je stupeň Celsia nebo Kelvin. [28]

A.5.2.2 Používané metody měření vlhkosti vzduchu

Vlhkost vzduchu a plynů se měří v různých odvětvích, proto jsou na vlhkoměry kladeny různé požadavky jako jsou například rozměr, přesnost, rychlost odezvy, odolnost proti vodě, odolnost proti chemikáliím, pořizovací náklady a náklady na samotný provoz. V této kapitole se podíváme na to, jaké jsou metody na měření vlhkosti vzduchu a na jakém principu fungují, jejich použití a jaké mají výhody či nevýhody. [29]

Hygrometrická metoda

Metody, které patří do této skupiny mají společné to, že využívají sorpční vlhkost, která změní fyzikální nebo chemické vlastnosti daného materiálu. Vlhkost způsobuje především změny objemu, hmotnosti, elektrického odporu a permitivity. Na tyto senzory jsou kladeny požadavky jako např. rychlá odezva ve směru sorpce i desorpce, dostatečně velká lineárně závislá změna na relativní vlhkosti nebo na rosném bodu, možnost měřit v širokém teplotním rozmezí a zanedbatelný vliv teploty na měření. Mezi výhody patří jednoduchá konstrukce senzorů, rychlost měření a velký rozsah měřitelných vlhkostí. Tato metoda se dále dělí na gravimetrickou, dilatační, odporovou, kapacitní, rezonanční a pomocí tepelné vodivosti. [28]

Metoda gravimetrická

Gravimetrická metoda představuje z metrologického hlediska absolutní standard. Princip, jak tato metoda funguje je jednoduchý. Vhodný absorpční materiál neboli sušidlo, pohlcuje vodní páru ze známého objemu vzduchu. Poté se odečte přírůstek hmotnosti látky, která vzdušnou vlhkost pohltila. Měření je ovšem zdlouhavé, zejména při malé vlhkosti, přístroj značně nákladný a použitelný pouze v laboratorních podmínkách. Slouží především k ověřování a kalibraci dalších standardů. [29]

Metoda dilatační

Jedná se o jednu z historicky nejstarších metod měření vlhkosti vzduchu. Dilatační vlhkoměry měří změnu délky lidského vlasu nebo různých vláken, např. ze syntetického hedvábí, celofánu, acetatového filmu, celulosového pásku, strun z živočišného materiálu apod. Nejrozšířenější jsou vlasové hygrometry. Vlastním měřicím elementem je lidský vlas nebo svazek vlasů. Používané vlasy se musí nejprve odtučnit, například v benzínu nebo etanolu. Délka vlasu se při změně relativní vlhkosti vzduchu z 0 na 100 % prodlouží asi o 2,5 %. Prodloužení je velmi nelineární, proto musí být buď pomocí mechanismu kladky linearizováno anebo se použije ciferník s nelineárním rozložením viz obrázek 7. Závislost délky vlasu l na relativní vlhkosti j se řídí přibližně vztahem:

$$l = k \times T \times \log \varphi$$

Kde k je konstanta, T -termodynamická teplota okolí.

Mezi hlavní výhody tohoto vlhkoměru patří spolehlivost, jak při teplotách pod bodem mrazu, tak při teplotách do 80 °C. Další výhodou toho zařízení je jeho velká jednoduchost. Mezi nevýhody patří potřeba časté regenerace, v suchém prostředí alespoň jednou týdně ve vlhkém vzduchu, což může být problém vnitřních zařízení. U přístrojů pro meteorologii, umístěných pod širým nebem tento problém nenastává, což se vysvětluje tím, že v noci dochází k ochlazení a tím zároveň k výraznému zvýšení relativní vlhkosti, která často dosahuje hodnot rosného bodu. Další nevýhodou je choulostivost na náhlé otřesy. [28]



Obrázek 11 Dilatační hygroskop [44]

Metoda odporová

Tato metoda je založená na změně elektrolytické vodivosti. Elektrolyt může být buď v pevné nebo kapalně formě.

Zástupcem odporového vlhkoměru s kapalným elektrolytem je Lithiumchloridový hygrometr. Na nevodivé trubičce je nasazena tkanina obsahující dvojici drátkových elektrod, které jsou rovnoběžně navinuty a napojeny na zdroj střídavého proudu. Tkanina je napuštěna vodným roztokem LiCl. Zapnutím zdroje dojde k zahřívání elektrolytu a tím následně k odpařování vody. Z tohoto důvodu dojde k poklesu vodivosti a následně ke snížení procházejícího proudu a tím i teploty. Naopak pokud poklesne teplota dochází k absorpci vodní páry, zvýšení vodivosti a proudu, který způsobí zvýšení teploty. Rovnovážný stav obsahu vody v elektrolytu závisí na teplotě elektrolytu, která je pak funkcí parciálního tlaku vodních par v okolním vzduchu. Teplota se měří čidlem zasunutým v trubičce, přístroj z ní vyhodnotí vlhkost.

Zástupcem odporového vlhkoměru s tuhým elektrolytem je Al_2O_3 . Tento vlhkoměr je tvořen dvěma elektrodami. První elektroda je hliníková s vrstvičkou Al_2O_3 a druhá elektroda je z napařené tenké vrstvičky zlata propustné pro vodní páry. Absorpcí vody do elektrolytu se mění elektrický odpor, z něhož je pak vyhodnocena vlhkost. Odporové čidlo je znázorněno na obrázku 8.

Výhodou těchto vlhkoměrů je velká přesnost až na desetiny % RH a dobrá stabilita. Nevýhodou je citlivost senzoru na kondenzaci a nemožnost použití při vyšších teplotách. [29] [30]



Obrázek 12 Odporové čidlo vlhkosti [45]

Metoda Kapacitní

Kapacitní vlhkoměry mají podobnou konstrukci jako odporové vlhkoměry. Jedná se v podstatě o kondenzátor, jehož dielektrikum tvoří polymer s hygroskopickými vlastnostmi. Polymer je tenká vrstva materiálu, který má schopnost sorpce a desorpce

vlhkosti z okolního prostředí. Jedna z elektrod kondenzátoru je perforovaná a umožňuje kontakt okolního vzduchu s dielektrikem. Druhá elektroda perforovaná být nemusí anebo není. Stačí malé množství absorbované vody, aby byla kapacita dobře měřitelná. Výstup je možný jako elektrické napětí nebo přímo digitální rozhraní což je uživatelsky přívětivější. Kapacitní polymerové čidlo je znázorněno na obrázku 9.

Mezi výhody této metody patří velká citlivost, nízká závislost na teplotě, odolnost vůči kondenzaci, nízká cena, možnost měření vlhkosti plynů i kapalin. Nevýhodou je delší odezva senzorů v řádu desítek sekund. [29] [30]



Obrázek 13 Kapacitní čidlo vlhkosti [46]

Metoda Rezonanční

Tato metoda je založena na principu, že absorbované množství vody ovlivní vlhkost materiálu. Aby metoda byla funkční, musí být množství sorbentu malé, aby nebyla ovlivněna koncentrace vodních par v měřeném plynu.

Princip této metody je založen na oscilacích, proto je i měřicí obvod sestaven z oscilátoru, který má do obvodu zapojeny elektrody křemíkového výbrusu. Frekvence výstupního vysokofrekvenčního napětí je závislá na mechanických vlastnostech (rozměry, hmotnost, úhel) křemíkového výbrusu. Při zjednodušených podmínkách platí:

$$\Delta f = K - \Delta m$$

$$K = \frac{f^2}{N \cdot \rho \cdot S}$$

Kde:

Δf je změna frekvence způsobená změnou hmotnosti o Δm [Hz]

- f vlastní frekvence oscilátoru [Hz]
- N frekvenční konstanta závislá na úhlu řezu
- ρ hustota křemene [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]
- S plocha výbrusu [m^2]
- K konstanta úměrnosti [30]

Metoda Tepelné vodivosti

Jde o metodu využívající závislost tepelné vodivosti vzduchu na jeho vlhkosti. Senzor obsahuje dva stejné termistory, z nichž jeden je hermeticky uzavřen v suchém dusíku a druhý je přístupný okolnímu prostředí. Termistory jsou zapojeny do série a tvoří jednu větev můstku. Druhá větev obsahuje pevné rezistory a trimr, který slouží k nulování. Průchodem proudu se termistory zahřívají a dosažená teplota závisí na stupni jejich ochlazování, tj. na tepelné vodivosti okolního plynu. Můstek se vynuluje při umístění senzoru v suchém vzduchu a přítomnost vodní páry způsobí jeho rozvážení. Senzor poskytuje signál úměrný absolutní vlhkosti. Jeho přednostmi jsou schopnost pracovat při vysokých teplotách (až 200 °C) a chemická odolnost. [29]

Psychrometrická metoda

Tato metoda je založena na použití dvou, pokud možno stejných, teploměrů, které jsou umístěny vedle sebe cca 3 – 5 cm. Jeden teploměr je suchý, což znamená, že je obklopen pouze okolním prostředím a uživatel na něj nemá žádný vliv. Druhý teploměr se nazývá mokrý. Mokrý teploměr je obalen punčoškou z textilie, která je neustále navlhčována destilovanou vodou. Měření se tedy provádí pomocí suchého a vlhkého teploměru. Vlhkost vzduchu se zjistí z rozdílu teplot těchto dvou teploměrů. Na vlhkém teploměru je nižší teplota z důvodu odparu vody z textilie, který odebírá teplo z čidla teploměru. Čím menší vlhkost vzduchu je, tím snadněji se odpařuje voda punčošky a tím větší bude rozdíl naměřených teplot. Pokud bude mít vzduch 100% vlhkost, tak by měly být teploty na obou teploměrech stejné, jelikož se nemá voda z punčošky kam odpařovat.

V praxi se používají dva druhy psychrometrů, Augustův psychometr, který funguje na stejném principu, jako byl popsán výše, můžeme vidět na obrázku 15. Assmannův psychometr neboli aspirační psychometr, který je ještě doplněn ventilátorem a zaručí proudění vzduchu okolo teploměrů, můžeme vidět na obrázku 14.

Výhodou této metody je jednoduchost. Nevýhodou je, že profesionální přístroje mají vysoké pořizovací náklady. [28] [31]



Obrázek 15 Assmannův psychrometr [47]



Obrázek 14 Augustův psychrometr [48]

A.5.2 Způsoby měření teploty

Kapalinový teploměr

Kapalinový teploměr je běžný typ teploměru, který využívá teplotní roztažnost teploměrné kapaliny v tenké skleněné trubičce. Nejčastější teploměrné kapaliny jsou například rtuť nebo líh. Jejich využití je pro měření teploty vzduchu v dané místnosti, měření teploty lidského těla a další možnosti. [32]

Bimetalový teploměr

Bimetalový teploměr funguje na principu délkové roztažnosti pevně spojených pásků dvou různých kovů, které se při změně teploty deformují, prohýbají a stláčejí. Používají se především pro měření teploty tekutin v trubicích a potrubích. [32]

Odporový teploměr

Odporový teploměr využívá známou závislost elektrického odporu vodiče nebo polovodiče na teplotě. Hlavní výhodou těchto teploměrů je vysoká přesnost a stabilita, proto se používají především v průmyslu. [32]

Termoelektrický teploměr

Termoelektrický teploměr neboli termočlánek je teploměr, ve kterém využívá termoelektrický jev, což znamená, že mezi volnými konci vodivě spojených vodičů z různých materiálů vzniká napětí, jehož velikost se mění v závislosti na teplotě spoje. Teploměry se používají v průmyslu. [32]

Radiační teploměr

Radiační teploměr neboli pyrometr využívá zákonů platících pro tepelné záření vysílané z povrchu měřeného tělesa, jedná se tedy o bezkontaktní a bezdotykové měření teploty. Tento druh teploměrů se využívá pro měření vysokých teplot až do 10 000 °C. [32]

A.6 Experimentální řešení

A.6.1 Experimentální řešení – popis metody

V mém případě experimentální řešení spočívalo v tom, že v objektu Letních lázní byla na vhodná místa umístěna čidla na měření teploty a vlhkosti. Tato čidla zaznamenávají naměřené hodnoty v daných intervalech podle nastavení. V našem případě byla čidla nastavena s třiceti minutovým intervalem ukládání hodnot. Poté bylo překontrolováno, zda celý systém správně funguje a zaznamenává reálné hodnoty. Následně jsem naměřené hodnoty stáhl z programu a sestavil z nich grafy, které jsou vybrány podle požadovaných kritérií. Posléze je zkontrolováno, jestli změřené hodnoty nevykazují nějaké obvyklé jevy nebo odchylky a zda jsou čidla v pořádku. Nato vybraná data porovnáme s daty získanými ze simulačního programu, což je v našem případě DesignBuilder. Potom proběhne kalibrace modelu, abychom se dostali na reálné hodnoty. Nakonec můžeme se zkalibrovaným modelem provést simulace s úpravami vnitřního prostředí nebo konstrukcí. Výsledky následně porovnáme s naměřenými daty a zhodnotíme energetickou a ekonomickou stránku těchto úprav.

A.6.2 Experimentální řešení – popis přístrojové techniky

Měření bylo prováděno v období únor 2017 až prosinec 2017. Pro naše měření byl použit software a souprava přístrojů společnosti Hanwell, přesněji software Hanwell RadioLog8 a souprava přístrojů pro monitorování relativní vlhkosti vzduchu a teploty. Naměřené hodnoty byly ukládány na počítač v Karlově Studánce v objektu Libuše. Stahování dat probíhalo pomocí přístupu na vzdálenou plochu přes aplikaci TeamViewer.

Řídící jednotka sr-2 a radiový přijímač (1)

Základem telemetrického systému Hanwell je řídicí jednotka sr-2 s radiovým přijímačem, která je připojena k počítači s nainstalovaným softwarem RadioLog8. Tato jednotka zabezpečuje správný příjem, kontrolu a ukládání dat zasílaných telemetrickými snímači systému do své interní paměti. Jednotka automaticky přeposílá data k připojenému počítači, pokud není počítač zapnutý, tak se data uchovávají ve vnitřní paměti a čeká, dokud se neobnoví automatický přenos dat. Jednotka sr-2 je vybavena dvouřádkovým alfanumerickým LCD displejem, který zobrazuje stav systému.

Specifikace přístrojů

Jednotka sr-2:

Rozměry: 300 x 200 x 85 mm

Hmotnost: 1,2 kg

Napájení: 110Vac nebo 240Vac, 12V záložní akumulátor 2.3 Ah

Rádiová frekvence: 434.075MHz, 433.920MHz, 433.875 - 434.650MHz in 25KHz increments

Radiový dosah: 3 km na otevřeném terénu

Displej: LCD displej

LED indikace: Napájení, LAN spojení, přijímač, vysílač

Indikace síly přijímaného signálu

Kapacita paměti: 512kb

Provozní vlhkost: 0-100% nekondenzující

Provozní teplota: 5 až 40 °C

Přijímač:

Rádiové snímače: Úzkopásmové rádio FM

PC rozhraní: USB

Rozměry: 100 x 100 x 50 mm

Hmotnost: 250 gramů [33]



Obrázek 16 Jednotka sr-2 [33]

Repeater REP01PU (2)

Je použit z důvodu větší vzdálenosti objektů Letních lázní a Libuše, ve které je umístěna jednotka sr-2.

Specifikace přístroje:

Rozměry: 197 x 100 x 60 mm

Hmotnost: 300 gramů

Napájecí zdroj: Uživatelsky vyměnitelná 2 x alkalická baterie "D"

Rozsah provozních teplot: -20 ° C až + 60 ° C

Provozní vlhkost: 0 ... 95% relativní vlhkosti, nekondenzující

Spotřeba energie: 0,6 W

Rádio: 3 km nad otevřenou půdou

Reakční doba v přijímači: <5 sekund [34]



Obrázek 17 Repeater REP01PU [34]

RL4109 transmitter s J140 EE07-02 RH/T probe (3)

Jedná se o externí vysílač na měření teploty a vlhkosti s připojeným snímačem měřícím teplotu a vlhkost exteriéru.

Technické specifikace:

Rozměry: 150 x 88 x 50 mm

Hmotnost: 485 gramů

Napájení: 3,6 V AA lithiová baterie

Kapacita paměti: 50 000 čtení

IP Hodnocení: IP30

Rozsah: -20 °C až +65 °C

Provozní teplota: -40 °C až +60 °C

Umístění v nekondenzujícím prostředí

Rozlišení: 0,1 °C (teplota), 0,1 % RH (vlhkost)

Rádiové frekvence: 433 až 458 HKz

Rádiový dosah: 3 km nad otevřenou půdou [35]



Obrázek 18 Trasmmitter RL4109 [35]

Technické specifikace snímače EE07-02:

Rozměry: 11,8 mm x 83 mm

Konektor: 4-pin Lemo zásuvka

Vnější rozsah teplot: -40 °C až + 80 °C

Přesnost: $\pm 0,1$ °C při 20 °C (viz tabulka přesnosti teploty níže)

Rozlišení: 0,1 °C

Vlhkostní sonda: Kapacitní polymer

Doporučený rozsah: 0-100 % RH bez kondenzace

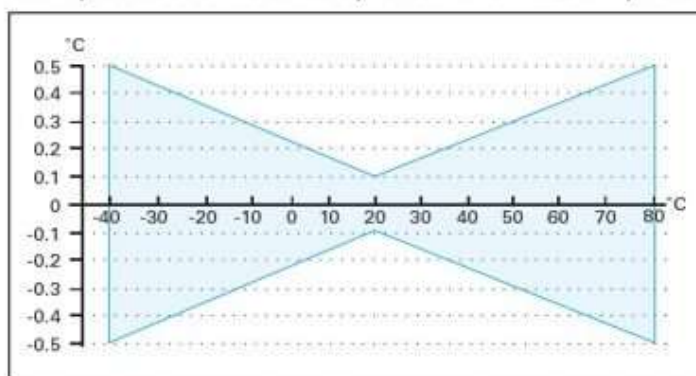
Přesnost: ± 2 % (0-90 %) ± 3 % (90-100 %)

Teplotní závislost: $<(0,025 + 0,0003 \times RH)$ [35]



Obrázek 19 Snímač EE07-02 [35]

Temperature accuracy chart for EE07 probe



Obrázek 20 Přesnost snímače EE07 [35]

Rádio-telemetrické snímače RL4106-434.600 (4) a RL4114-434.600 (5)

Zajišťují periodická měření (uživatelsky se dá nastavit v rozsahu 30s až 300s) teploty a relativní vlhkosti. Přenos měření je pomocí zabezpečeného rádiového signálu do přijímače a řídicí jednotky systému. Čidla si sama formou alarmu vyžádají výměnu baterie.

Technické specifikace:

Rozměry: 110 x 80 x 35 mm

Hmotnost: 200 gramů

Napájení: 3,6 V AA lithiová baterie

Kapacita paměti: 100 000 čtení

IP Hodnocení: IP50

Teplotní sonda: Přesný termistor / Sonda EE07 (11,8 mm x 83 mm) PT1000

Rozsah: -20 °C až +60 °C / -40 °C až +80 °C

Přesnost: $\pm 0,3$ °C / $\pm 0,1$ °C při 20 °C (viz tabulka přesnosti teploty níže)

Rozlišení displeje: 0,1 °C

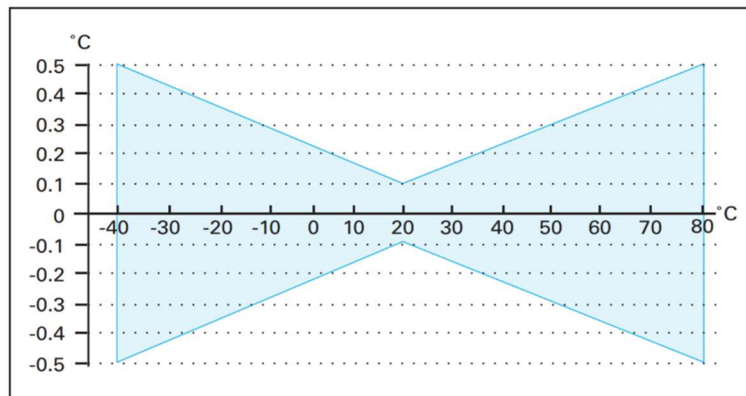
Vlhkostní sondy: Kapacitní polymer

Doporučený rozsah: 10-90 % bez kondenzace / 0-100 % bez kondenzace

Přesnost: ± 3 % / ± 2 % (0-90 %), ± 3 % (90-100 %)

Teplotní závislost: $<(0,025 + 0,0003 \times RH)$ [%]

Rozlišení displeje: 0,1 % RH [36] [37]



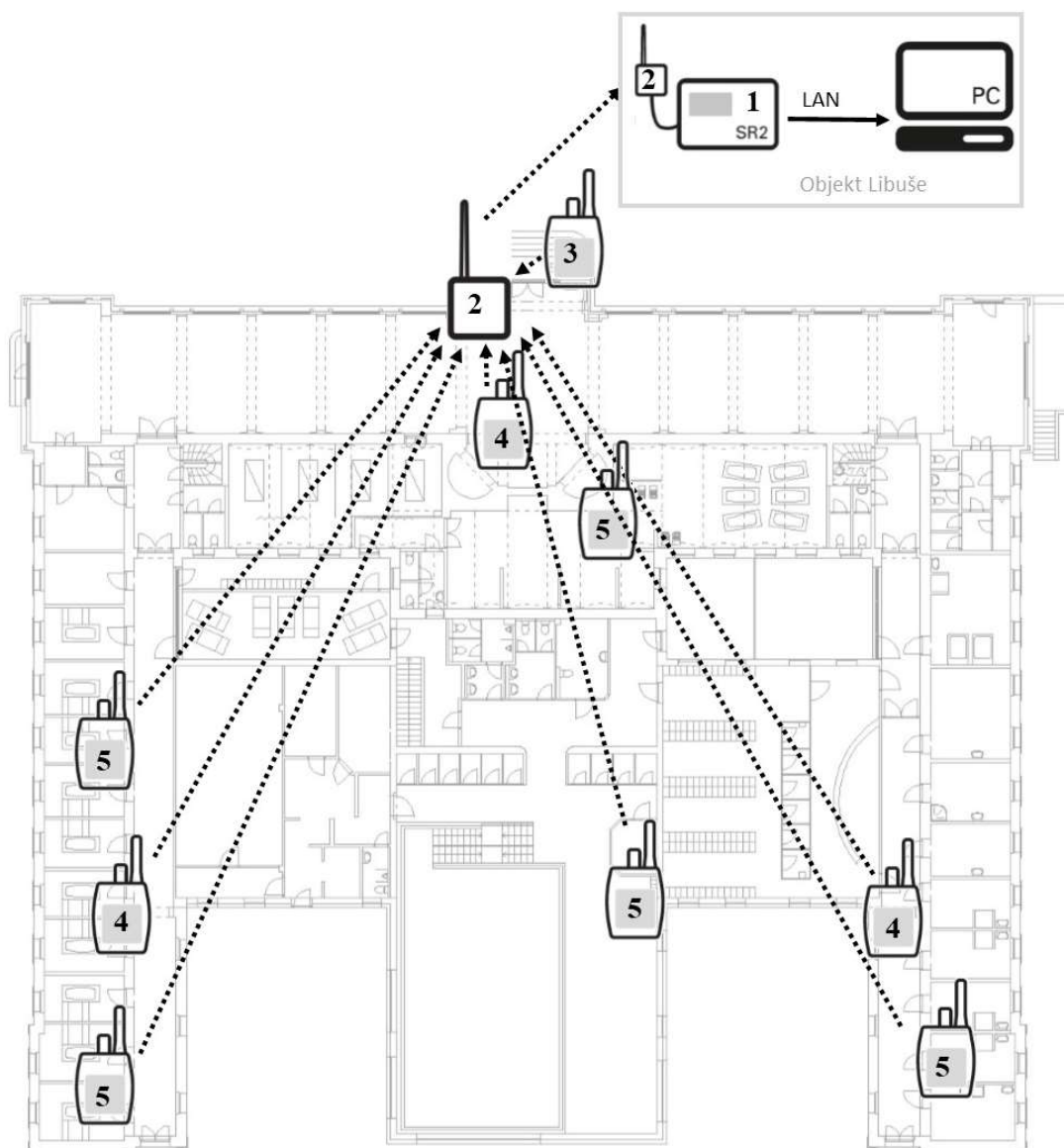
Obrázek 21 Diagram přesnosti teploty pro sondu EE07



Obrázek 23 Rádio-telemetrický snímač RL4106-434.600 [36]



Obrázek 22 Rádio-telemetrický snímač RL4116-434.600 [37]



Obrázek 24 Schématické umístění a zapojení čidel

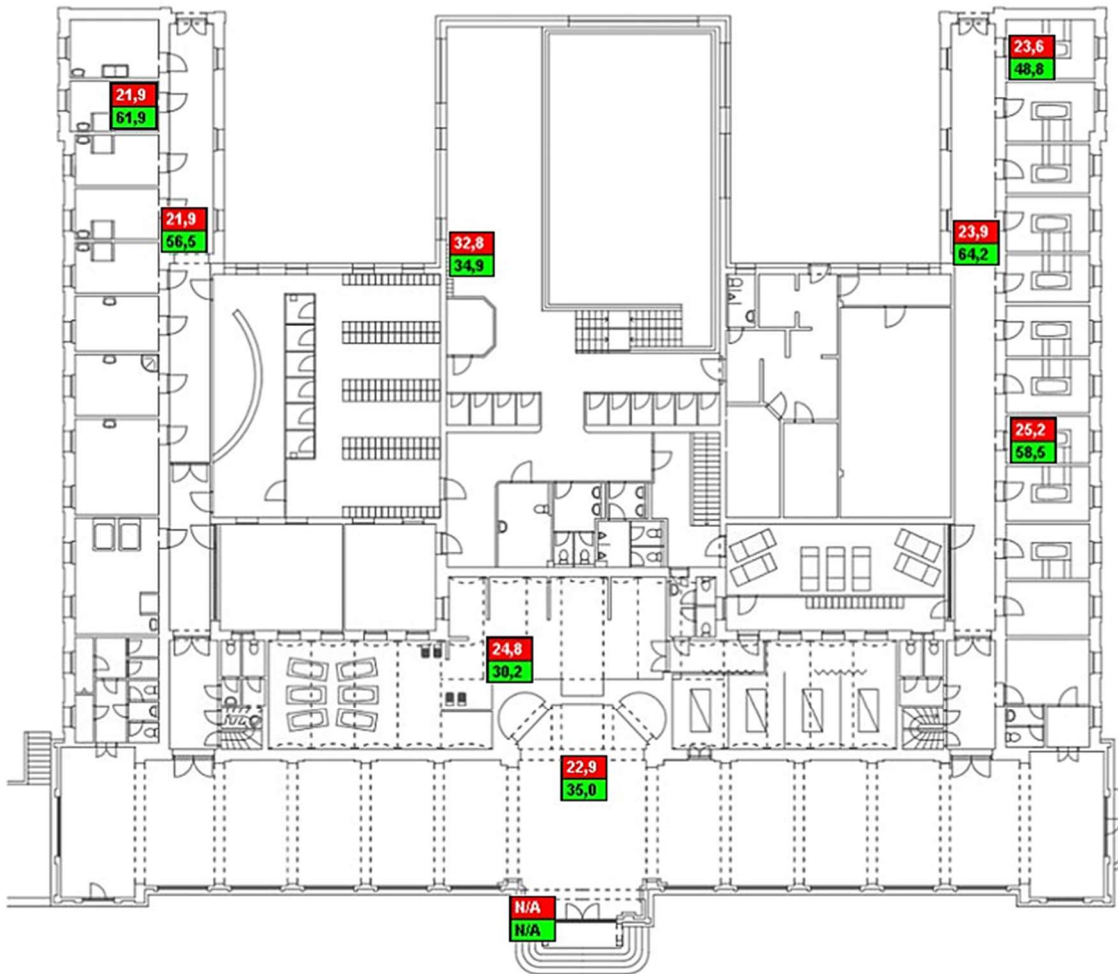
Experimentální řešení

Díky projektu financovaného TAČR – technologickou agenturou České republiky – Centrum kompetence byly v objektu umístěny měřicí přístroje.

Toto měření probíhalo pomocí osmi vnitřních a jednoho venkovního čidla, jejichž umístění je patrné z obrázku níže. Čidla v objektu měřila relativní vlhkost a teplotu vzduchu.

Bohužel během měření došlo k několika výpadkům elektrické energie, což zapříčinilo přerušení ukládání dat v období od 8. 5. 2017 do 29. 8. 2017, z tohoto důvodu nemohu v daném období vyhodnotit žádné výsledky.

Horské lázně Karlova Studánka Letní lázně



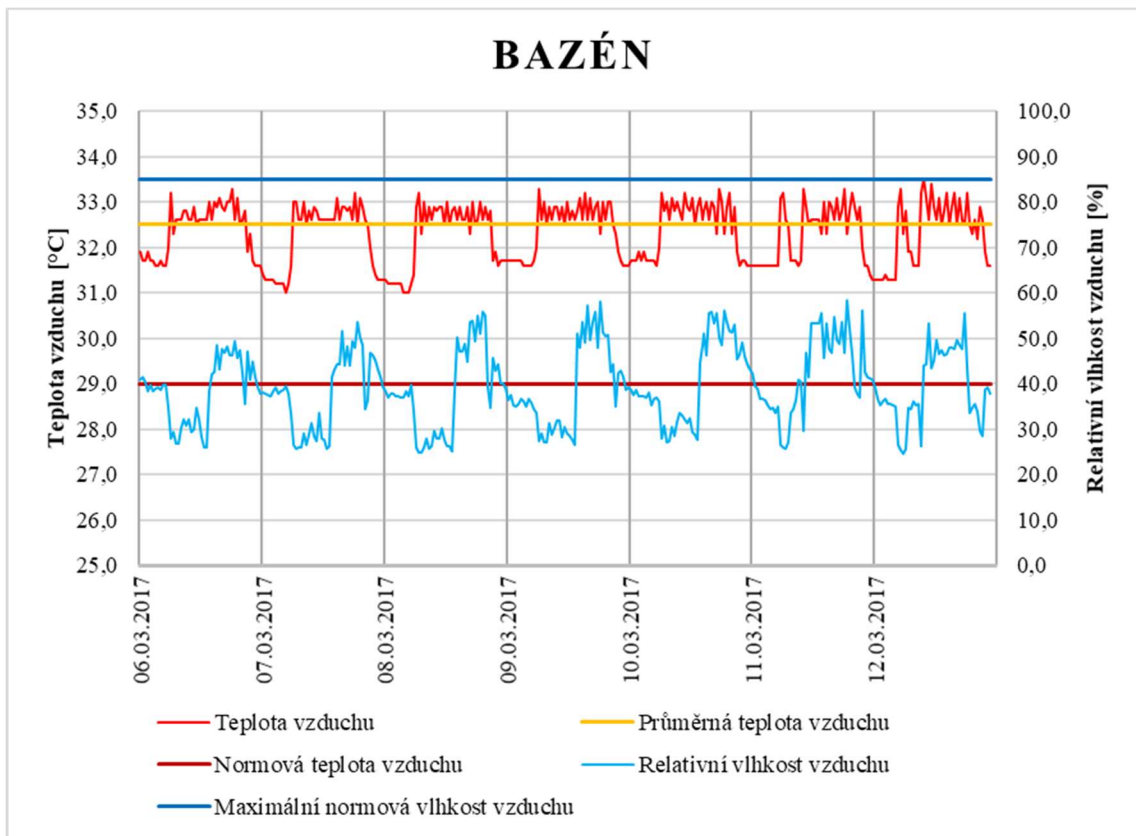
Obrázek 25 Ukázka umístění čidel a zobrazení hodnot v programu RadioLog

Ukázka dat z čidel umístěných v objektu

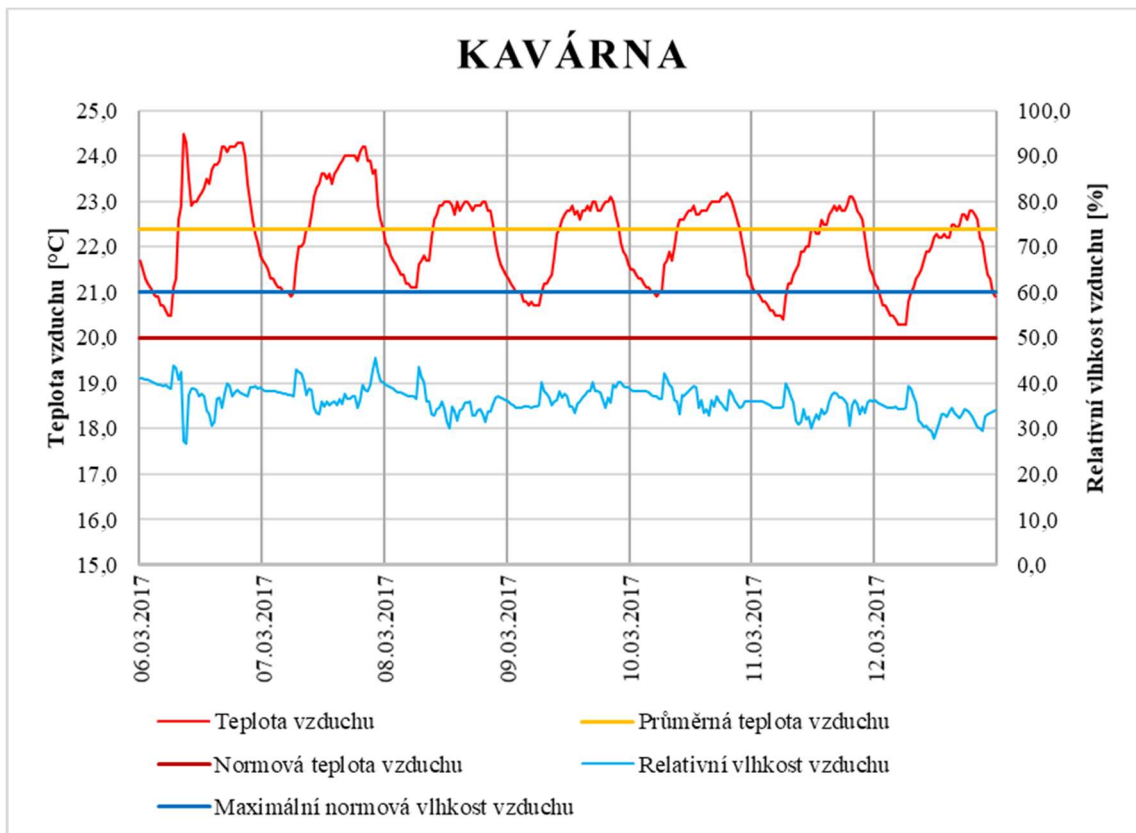
Na následujících grafech jsou ukázány výsledky měření z jednotlivých čidel, průměrná teplota, normová teplota a maximální povolená vlhkost podle normy. Všechny grafy jsou v období 6. 3. 2017 až 12. 3. 2017. Grafické vyhodnocení celého období je v příloze P3.

Pro všechny grafy platí tato legenda:

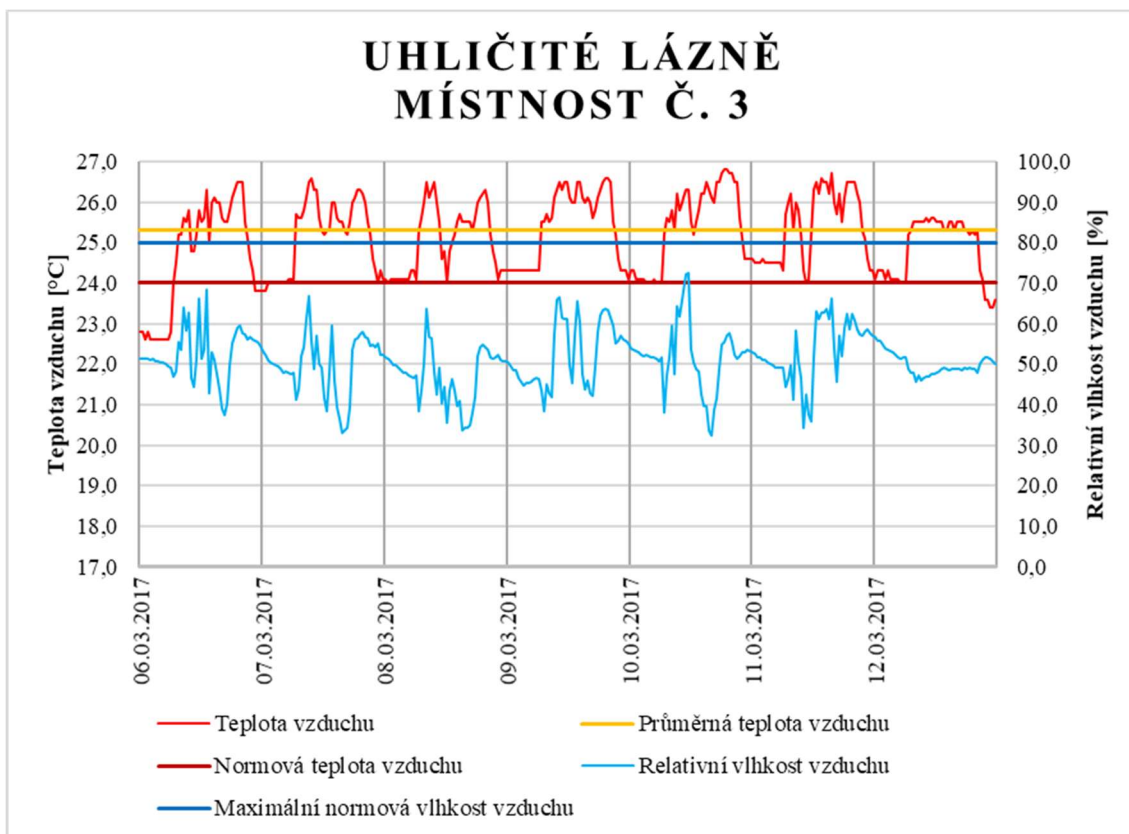
- Červená: teplota vnitřního vzduchu [°C]
- Oranžová: průměrná teplota vzduchu [°C]
- Tmavě červená: normová teplota vzduchu [°C]
- Modrá: relativní vlhkost vzduchu [%]
- Tmavě modrá: maximální normová vlhkost vzduchu [%]



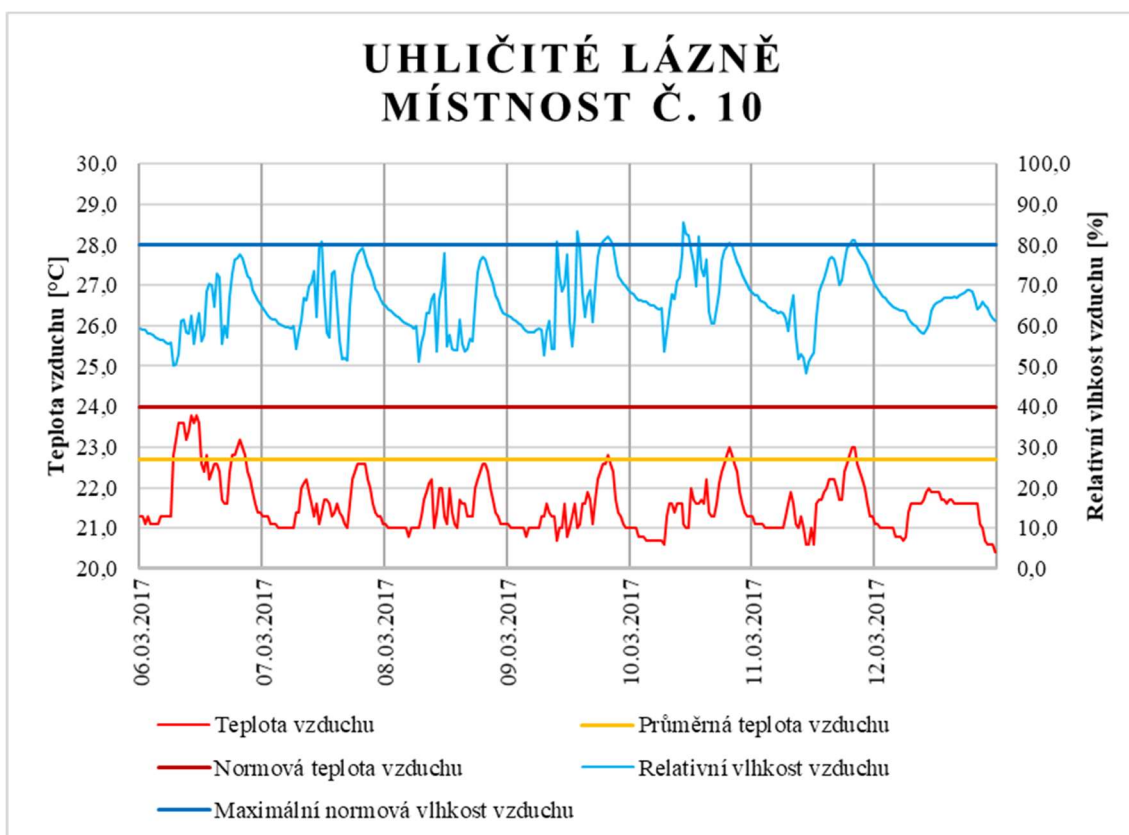
Graf 1 Zobrazení teploty a vlhkosti - Bazén



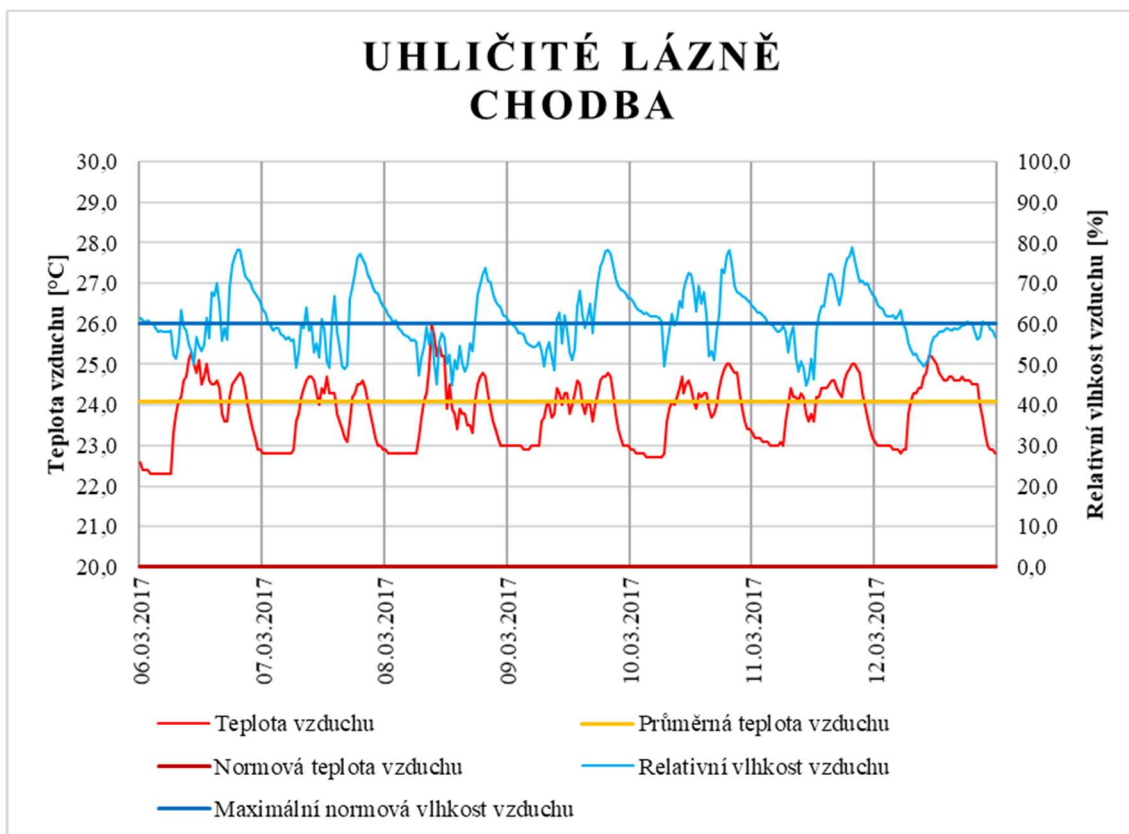
Graf 2 Zobrazení teploty a vlhkosti - Kavárna



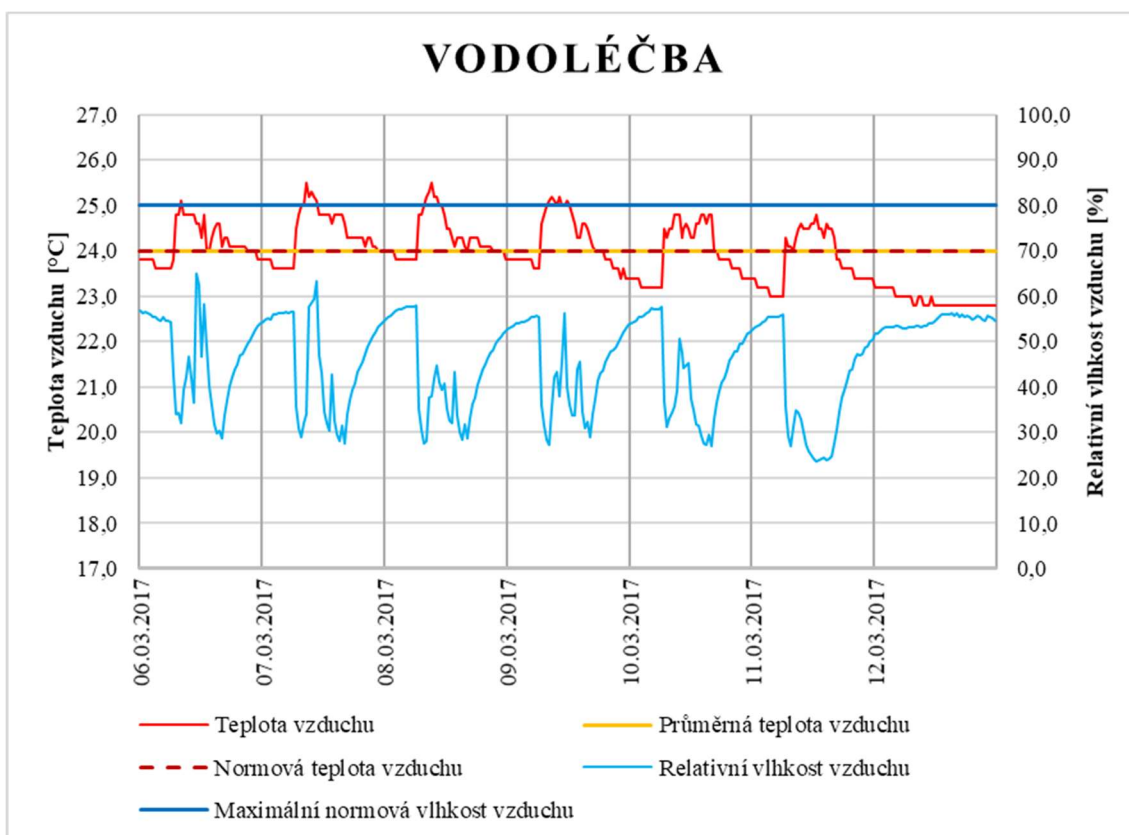
Graf 3 Zobrazení teploty a vlhkosti - Uhličité lázně - místnost č. 3



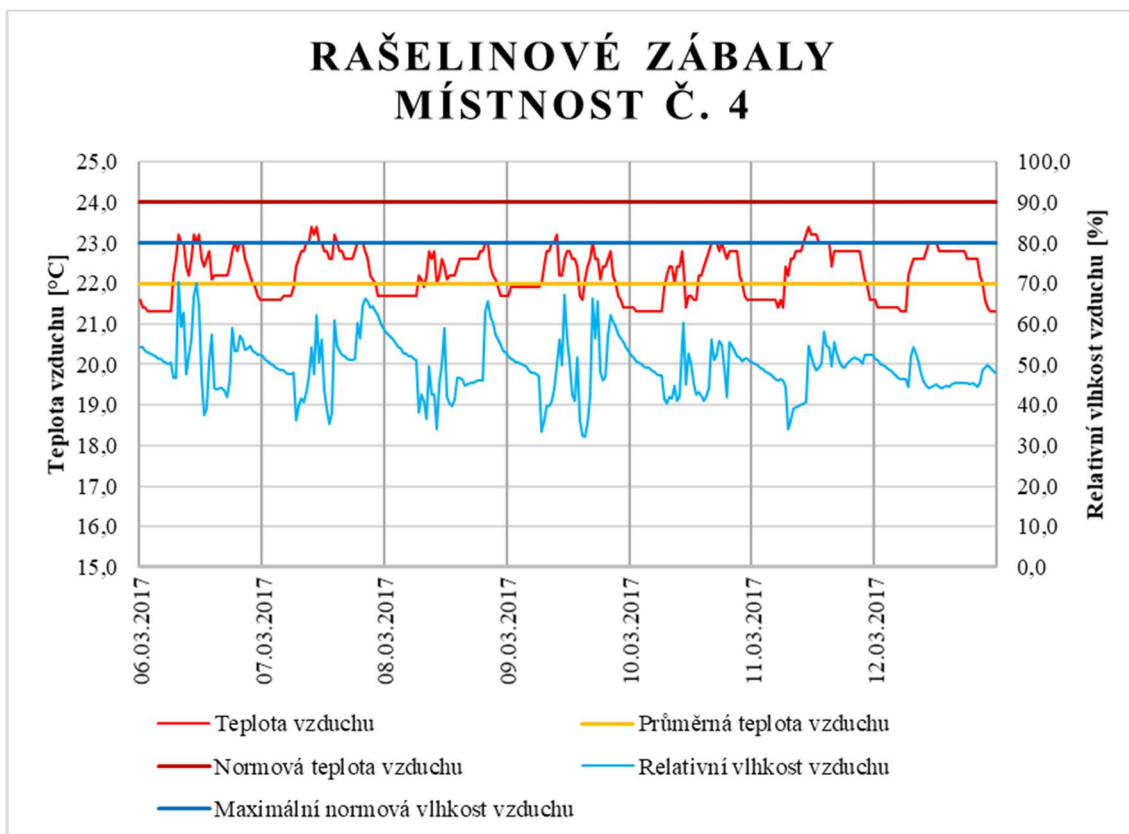
Graf 4 Zobrazení teploty a vlhkosti - Uhličité lázně - místnost č. 10



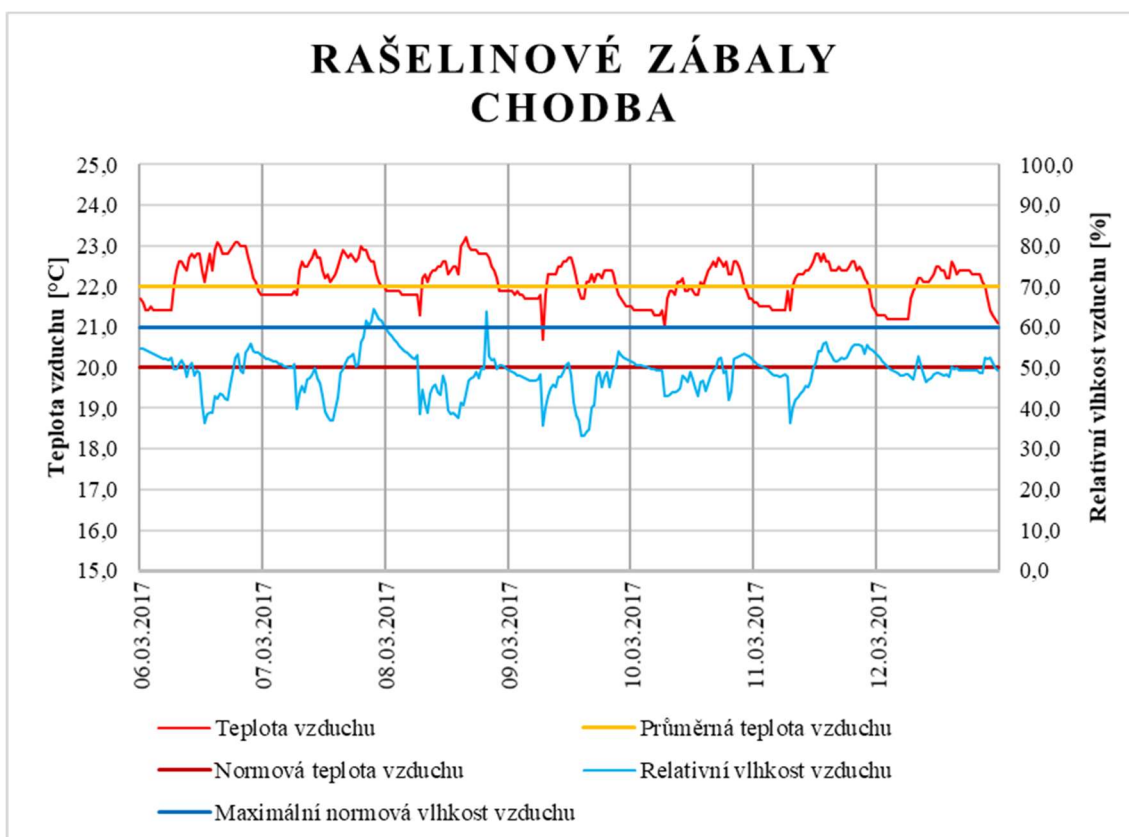
Graf 5 Zobrazení teploty a vlhkosti - Uhličité lázně - chodba



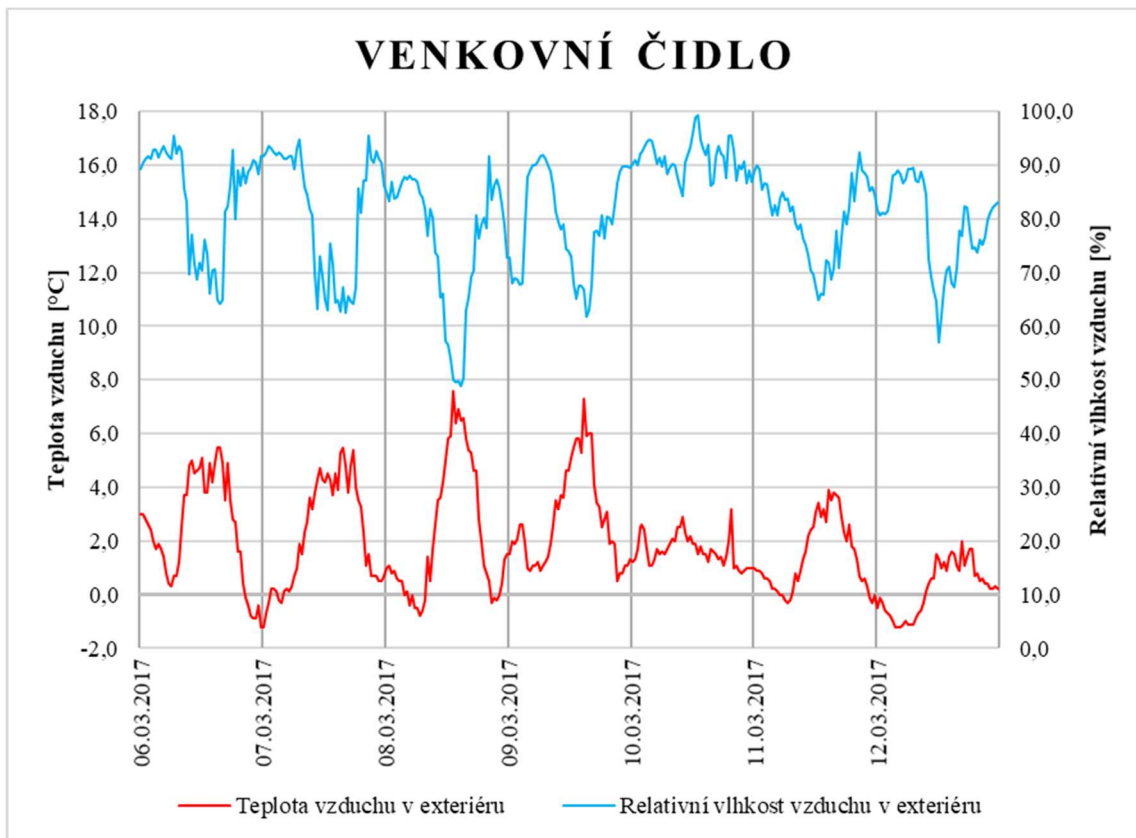
Graf 6 Zobrazení teploty a vlhkosti - Vodoléčba



Graf 7 Zobrazení teploty a vlhkosti - Rašelínové zábaly - místnost č. 4



Graf 8 Zobrazení teploty a vlhkosti - Rašelínové zábaly - chodba



Graf 9 Zobrazení teploty a vlhkosti - Venkovní čidlo

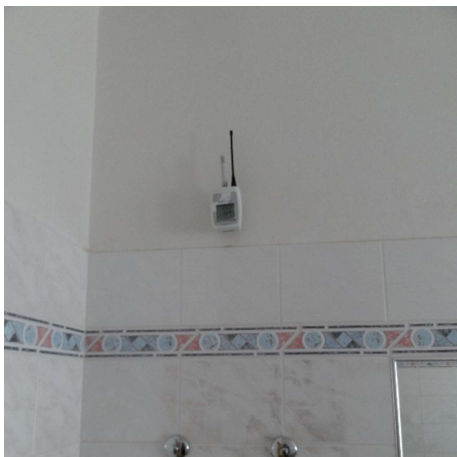
Reálné fotografie umístěných čidel



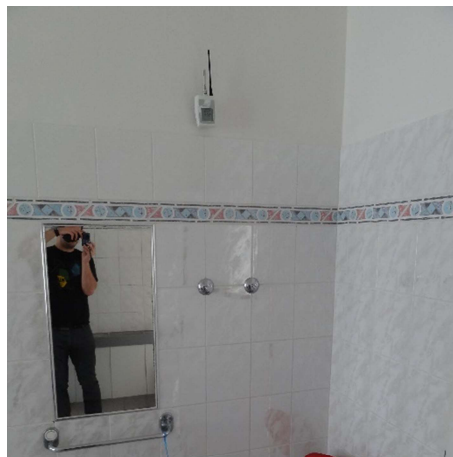
Obrázek 26 Umístění čidla - Kavárna



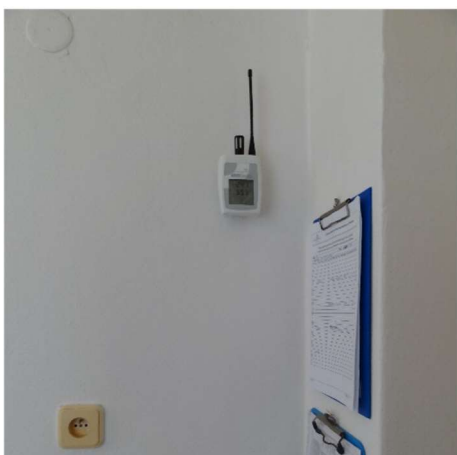
Obrázek 27 Umístění čidla - Bazén



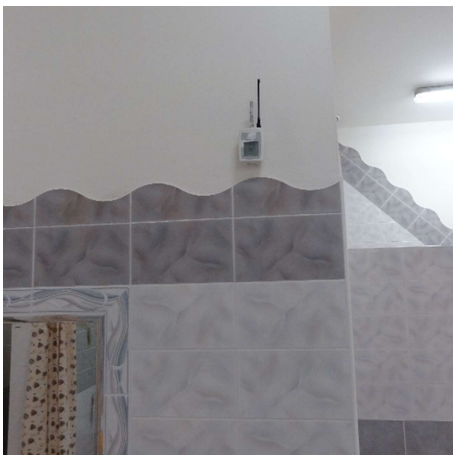
Obrázek 32 Umístění čidla -
Uhličité lázně - místnost č. 3



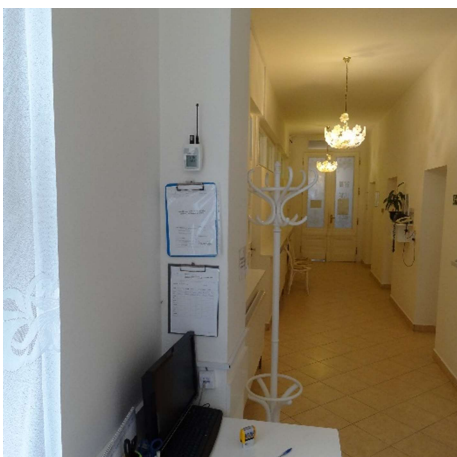
Obrázek 33 Umístění čidla -
Uhličité lázně - místnost č. 10



Obrázek 31 Umístění čidla -
Uhličité lázně - chodba



Obrázek 30 Umístění čidla -
Vodolécba



Obrázek 29 Umístění čidla -
Rašelinové zábaly - chodba



Obrázek 28 Umístění čidla -
Rašelinové zábaly - místnost č. 4



Obrázek 34 Umístění čidla -
Exteriér

A.6.3 Experimentální řešení – klimatická data

Klimatická data pro simulační řešení byla stažena z nedaleké meteorologické stanice v Suché Rudné. Obec Suchá Rudná se nachází zhruba 4 km východním směrem od obce Karlova Studánka. Data byla následně zpracována a v programu Elements, byl vytvořen soubor .epw, který byl použit pro simulační řešení v programu DesignBuilder.

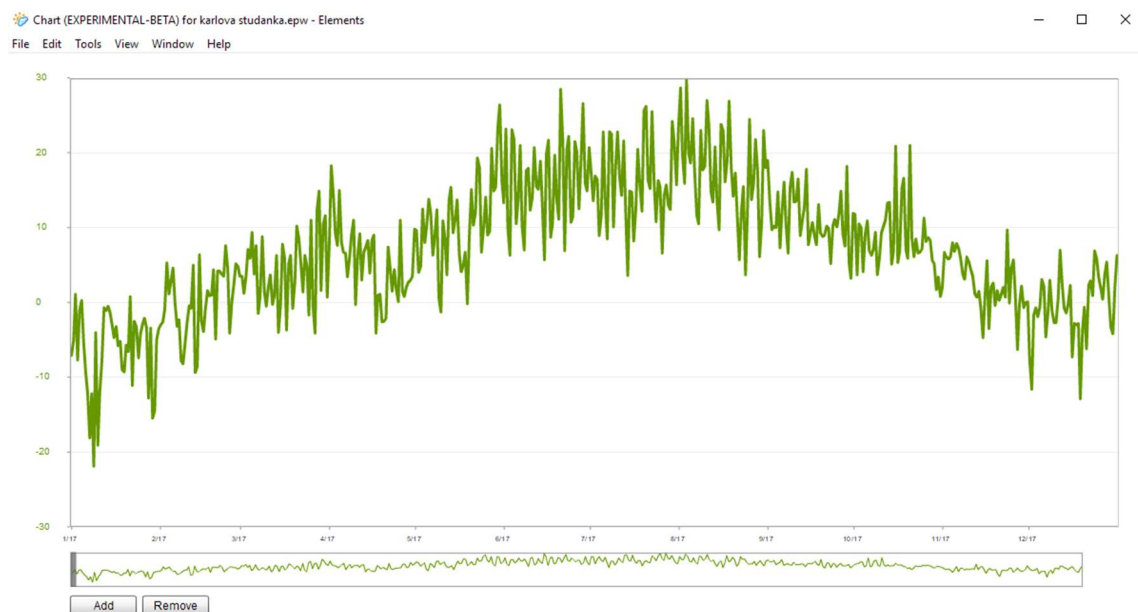
Meteorologická stanice Suchá Rudná

Pro měření je použit přístroj TFA 35.1075 Nexus. Meteorologická stanice měří data v pětiminutovém intervalu. Konkrétně zaznamenává teplotu, teplotu rosného bodu, vlhkost, směr větru, rychlost větru, tlak, množství srážek, UV a sluneční záření.

Elements

Elements je bezplatný, otevřený, multiplatformní softwarový nástroj pro vytváření a úpravu vlastních souborů počasí pro energetické modelování budov. Cílem projektu je vyvinout komplexní, integrovanou aplikaci vhodnou pro zpracování všech běžných úloh spojených s meteorologickými soubory. [38]

Pro tvorbu klimatických dat v programu Elements byly dosazeny data Teplota vlhkého teploměru a Relativní vlhkost, z kterých se dopočítaly hodnoty teplota mokrého teploměru a teplota rosného bodu. Dále bylo dosazeno sluneční záření a difuzní sluneční záření, z kterých se dopočítalo celkové globální sluneční záření. Dále byly dosazen atmosférický tlak, rychlost a směr větru.



Obrázek 35 Průběh ročních teplot v programu Elements



B Aplikace tématu na zadané budově

B.1 Zhodnocení stávajícího stavu stavby a jejich systému

Popis objektu

Objekt řešený v diplomové práci se nachází v lázeňské obci Karlova Studánka v okrese Bruntál.

GPS souřadnice: 50°04'20.27"N

17°18'31.73"E

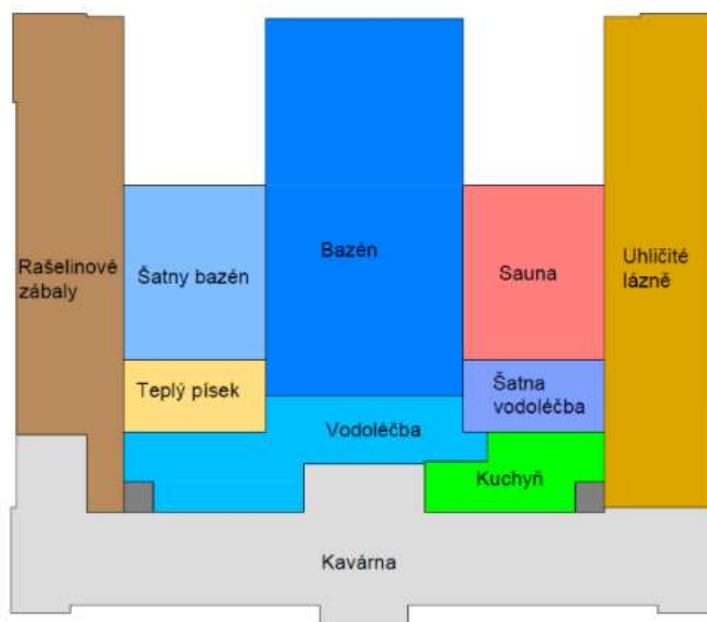
Nadmořská výška: 800 m n.m

Jedná se o historickou budovu z roku 1891-1893, která se nachází uvnitř vesnické památkové zóny Karlova Studánka. Původní objekt má půdorys tvaru „U“, který je zastřešen převážně sedlovou střechou a je v něm umístěna kavárna, kuchyň, uhličité lázně a rašelinové zábaly. V roce 2006-2007 byla k původnímu objektu přistavěna Novostavba bazénu Letní lázně, která je tvořena objektem bazénu, šatnou a saunou se sociálním zařízením. Později byla ještě realizována vestavba, která obsahovala: wellness, vibrosaunu, čekárnu, šatnu s odpočívárnou, sprchu a místnost s teplým pískem. Jedná se o jednopatrovou částečně podsklepenou budovu s podkrovím, kde je umístěna vzduchotechnika budovy.



Obrázek 36 Umístění objektu Letní lázně

Původní část objektu je vyžděna z plných pálených cihel a v přední části budovy (kolonádě) je dřevěný obklad. Nová část s bazénem je z železobetonu a zateplena kontaktním zateplovacím systémem. Vnitřní příčky jsou tvořeny z děrovaných příčekovek SUPERTHERM. Výplně otvorů v přední části objektu (kolonádě) jsou stará jednoduchá dřevěná okna, ve zbytku původního objektu jsou stará dvojitá okna. Nová část objektu má plastová okna s izolačním dvojsklem.



Obrázek 39 Schéma provozu



Obrázek 38 Čelní pohled na objekt Letní lázně



Obrázek 37 Zadní pohled Letní lázně

Technické zařízení objektu

Systém vytápění

Podle zjištěných informací jsou v objektu dva druhy zdrojů tepla. Centrální horkovodní vytápění a vzduchotechnické jednotky. V místnostech původního objektu jako jsou kavárna, uhličité lázně a rašelinové zábaly, je teplo předáváno deskovými otopnými tělesy s termostatickými hlavicemi. Do místností nové části objektu je teplo přiváděno anemostaty a výustkami.

Novější část objektu, což je bazén, šatny, vodoléčba a kuchyň je úprava vzduchu zajištěna pomocí VZT jednotek.

VZT jednotka č. 1 je určena pro větrání kuchyně a přilehlých prostor. Zapínání VZT jednotky probíhá ručně. Klimatizační jednotka je vnitřního provedení (umístěna na půdě objektu) a zajišťuje úpravu vzduchu. VZT jednotka má tři chody: tlumený chod (provětrání kuchyně), vaření I (otevření klapky na 50 %) a vaření II (otevření klapky na 100 %). VZT jednotka obsahuje filtraci, deskový výměník, teplovodní výměník (ohříván teplou vodou z centrálního teplovodu) a ventilátor s frekvenčním měničem otáček. Více informací z neúplné dokumentace nelze vyčíst.

VZT jednotka č. 2 slouží pro větrání prostorů vodoléčby, vibrosauny a teplého písku. Zapínání této jednotky lze nastavit podle časového režimu nebo ručně. Provozní doby zařízení jsou dle provozní doby jednotlivých sekcí. Jednotka převážně funguje na plný chod (100 %), na který je také dimenzováno odvlhčení. Klimatizační jednotka je vnitřního provedení (umístěna na půdě objektu) a zajišťuje úpravu vzduchu. VZT jednotka obsahuje filtraci, deskový výměník, přímý výparník, teplovodní výměník (ohříván teplou vodou z centrálního teplovodu) a ventilátor s frekvenčním měničem otáček. Další informace z neúplné dokumentace nelze vyčíst.

VZT jednotka č. 3 slouží k vytápění a úpravě vzduchu u bazénu, v saunách a šatnách. O této VZT jednotce nemáme bohužel žádné informace, jediné co víme, že je umístěna na půdě objektu.

Stará netěsná okna ve staré části objektu způsobují vysokou infiltraci.

Energie

Podle poskytnutých údajů o spotřebě energie činila roční hodnota z roku 2017 2502 GJ/rok. Z toho víme, že na vytápění a ohřev teplé vody v bazénu bylo spotřebováno

1371 GJ, ale bohužel nebylo upřesněno, kolik energie z toho bylo použito na vytápění a kolik na ohřev vody. Zbylých 1131 GJ energie bylo použito na vytápění zbytku objektu.

Popis provozu objektu

Budova letních lázních byla v roce 2017 používána celá. Objekt je vytápěn s nočními útlumy.

Kavárna

Kavárna je vytápěna horkovodním vytápěním pomocí deskových otopných těles. Tento provoz je vytápěný dvě hodiny před začátkem provozování, to znamená od 6 hod do 22 hod od pondělí do neděle, na teplotu 20 až 22 °C. Mimo tuto dobu je kavárna vytápěna na 18 °C.

Rašelinové zábaly, uhličité lázně

Tyto provozy jsou vytápěny také horkovodním vytápěním pomocí deskových otopných těles. Oba provozy se začínají vytápět dvě hodiny před zahájením provozování, což znamená od 6 hod do 20 hod, na teplotu 20 až 22 °C. Mimo tuto dobu jsou provozy vytápěny s útlumem dva stupně. Rašelinové zábaly denně navštíví 108 pacientů a pracují zde čtyři osoby. Uhličité lázně navštíví denně 180 pacientů a pracují zde dvě osoby.

Kuchyň

Kuchyň má samostatnou vzduchotechnickou jednotku, která v době provozu od 6 hod do 21 hod od pondělí do neděle, vytápí provoz mezi 22 až 26 °C. Mimo provozní dobu, v době útlumu, je kuchyň vytápěna na 20 °C.

Bazén, sauna a šatna

Tyto provozy mají samostatnou vzduchotechnickou jednotku, která vytápí bazénovou a saunovou část na 33 až 34 °C, od 6 do 21 hodin. Mimo provozní dobu jsou tyto provozy vytápěny na 31 °C. Šatna, je vytápěna mezi 6. až 21. hodinou na 26 °C. Mimo tuto dobu je šatna vytápěna na 24 °C. Bazén a saunu navštíví denně 250 lidí o víkendu až 350 a jsou zde přítomni dva plavčíci.

Vodoléčba

Má samostatnou vzduchotechnickou jednotku. Vodoléčba má provozní dobu od 6 do 17 hodin, kdy je vytápěna na 22 °C a mimo tuto dobu na 20 °C. Čtyři zaměstnanci denně obslouží 108 návštěvníků.

Analýza stávajícího stavu obálky budovy

Přesné složení konstrukcí je známo pouze u nové části objektu což je bazén, šatny, sauny a atria. Ostatní konstrukce jsou podle informací správců areálu a staré neúplné dokumentace.

Součinitelé prostupu tepla konstrukcemi

(jednotlivé skladby jsou v příloze P2)

Střešní konstrukce

$$\text{Bazén } U = 0,133 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$$

$$\text{Šatny } U = 0,174 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$$

$$\text{Atria } U = 0,135 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$$

$$\text{Zbytek objektu } U = 2,991 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$$

Obvodové konstrukce

$$\text{Kolonáda } U = 1,1897 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$$

$$\text{Stará část lázní } U = 1,275 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$$

$$\text{Nová část } U = 0,216 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$$

$$\text{Nová část bazén } U = 0,174 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$$

Vnitřní konstrukce

$$\text{Vnitřní kce nosná } U = 1,275 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$$

$$\text{Vnitřní kce nenosná } U = 2,470 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$$

$$\text{Vnitřní kce nová } U = 0,330 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$$

Stropní konstrukce

$$\text{Podsklepená část } U = 0,215 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$$

$$\text{Půda } U = 0,618 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$$

Podlahy

Sklep $U = 3,353 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$

Nepodsklepená část $U = 2,995 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$

Bazén $U = 0,296 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$

Atria $U = 0,480 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$

Okna

Stará špaletová okna $U = 2,35 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$

Jednoduchá $U = 4,5 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$

Jednoduchá s dvojitým zasklením $U = 1,2 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$

Dveře

Dřevěné dveře $U = 2,6 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$

B.2 Zhodnocení stavu vnitřního prostředí

Z informací, které nám byly poskytnuty byla sestavena následující tabulka, kde můžeme vidět porovnání nastavených teplot s normovými hodnotami:

Tabulka 1 Nastavené teploty

Druh provozu	Nastavená teplota [°C]		Normová hodnota [°C]
Bazén	33	>	29
Rašelinové zábaly	22	<	24
Uhličité koupele	22	<	24
Kavárna	22	>	20
Vodoléčba	22	<	24

Podle normových teplot lze konstatovat, že bazénová hala a kavárna jsou přetápěny. Naopak místnosti s léčebnými procedurami jsou nedostatečně vytápěny.

Z hodnot získaných pomocí čidel umístěných v objektu, které mi zároveň slouží jako podklady pro experimentální část diplomové práce, jsem zjistil následující:

Tabulka 2 Průměrné teploty

Místnost	Průměrná teplota [°C]		Normová hodnota [°C]
Rašelinové zábaly – chodba	22,0	>	20
Rašelinové zábaly – místnost č. 4	22,0	<	24
Bazén	32,5	>	29
Uhličité koupele – místnost č. 10	22,7	<	24
Uhličité koupele – místnost č. 3	25,3	>	24
Vodoléčba	24,0	=	24
Uhličité koupele – chodba	24,1	>	20
Kavárna	22,4	>	20

Dle naměřených hodnot můžeme vidět, že teploty v objektu jsou stejné nebo vyšší, než udává správce objektu.

B.3 Analýza vybraných opatření vedoucích k energetickým úsporám a zajištění kvality vnitřního prostředí budovy

V této kapitole se podíváme na možná návrhová opatření, která by měla vést k energetickým úsporám a provedeme jejich drobnou analýzu.

Existuje několik způsobů na zlepšení kvality vnitřního prostředí a snížení spotřeby energie. Ne všechny jsou ale možné využít. Navržené úpravy jsou hodnoceny s rokem 2017, ke kterému máme měřená data.

Možné způsoby opatření:

- Nastavení teploty vytápění podle normových hodnot
- Noční útlumy
- Částečné zateplení objektu
- Výměna oken a dveří
- Větrání

Důležitým faktorem ovlivňující výběr způsobu opatření je, že se jedná o starou památkově chráněnou budovu. Z tohoto důvodu není možné realizovat všechna opatření.

Nastavení teploty vytápění podle normových hodnot

Podle informací od správce objektu, ale především také díky experimentálnímu měření víme, že většina místností (provozů) je oproti normovým hodnotám přetápěna. Nejvíce je to patrné u bazénu, kde je průměrná teplota vzduchu vyšší o 3,5 °C než normová hodnota a u chodeb a kavárny, kde je průměrná teplota vyšší o 2 až 4 °C. Z tohoto důvodu bych navrhl vytápění místností podle normových teplot. Vyhodnocení tohoto opatření je v kapitole C.1.3.1 Nastavení teploty vytápění podle normových hodnot.

Noční útlum

Od správce objektu jsme se dozvěděli, že je nastaven noční útlum o 2 °C nižší než teplota ve dne. Ve staré části objektu se starými netěsnými okny bych navrhl minimální nebo žádný noční útlum. Důvodem je pomalé natopení na požadovanou teplotu, což v místě terapeutických procedur je nepříjemné. V nové části objektu, kde jsou vybudovány nové konstrukce a okna bych zvolil noční útlum mezi 2 až 4 °C, podle údajů z experimentálního měření by neměl být s délkou nátopu problém. Ukázka spotřeby energie bez nočního útlumu je vidět v kapitole C.1.3.2 Nastavení bez nočních útlumů.

Částečné zateplení objektu

Jelikož se jedná o historickou budovu, která má v přední části kolonádu zdobenou dřevěným obkladem, a není možné změnit vzhled bočních částí budovy, tak není možné provést kompletní zateplení objektu. Z tohoto důvodu by byl možný návrh tepelné izolace pouze mezi vytápěným a nevytápěným prostředím, tedy zateplení stropní konstrukce. Vyhodnocení tohoto opatření je vidět v kapitole C.1.3.3 Částečné zateplení objektu.

Výměna oken a dveří

Ve staré části objektu jsou stará a netěsná okna a dveře, které mají velkou infiltraci. V přední části budovy jsou stará jednoduchá okna, které mají velký prostup tepla. V bočních částech objektu, kde jsou uhličitě lázně a rašelinové zábaly jsou stará dvojitá okna, která mají o něco nižší tepelný prostup, než v přední části objektu, ale i tak nesplňují současné požadavky na výplně otvorů. V nové části objektu jsou nová okna splňující současné normové požadavky. Výměnou starých oken za nové, by se zamezilo velkému úniku tepelné energie a tím k výrazné úspoře energie na vytápění. Zároveň by se ale musela zajistit dostatečná výměna vzduchu, která v současné době z důvodu velké infiltrace není řešena. Ukázka spotřeby energie s výměnou oken a dveří je vidět v kapitole C.1.3.4 Výměna oken a dveří.

Větrání

Nová část objektu (bazén, sauny, šatny a vodoléčba) je větrána pomocí VZT. Stará část objektu je větrána přirozeně, kromě kuchyně, která má od roku 2010 vzduchotechnickou jednotku. Podle informací od personálu vím, že v místech rašelinových zábalů a uhličitých lázní větrají velmi intenzivně z důvodu vysoké vlhkosti z daných procedur, což je velmi neekonomické. Z tohoto důvodu bych v těchto provozech navrhl realizaci VZT rozvodů a výměnu starých oken, které jsou v dezolátním stavu, aby byla VZT jednotka účinná.

B.4 Analýza užití energie z vybraných obnovitelných zdrojů

Podle získaných informací se na objektu Letních lázní ani v lázeňském areálu Karlova Studánka nenachází žádné obnovitelné zdroje.

Možné obnovitelné zdroje

- Tepelné čerpadlo
- Solární termické kolektory
- Fotovoltaické panely

Z výše uvedených bych vybral:

Solární termální kolektory

Plusy: Průměrná roční účinnost okolo 30 až 40 %

Mínusy: Závislost na intenzitě slunečního svitu

Závislost rozdílu teploty mezi kolektorem a okolím

Solární kolektory by bylo vhodné umístit na objekt Letní lázně, kde by sloužili především k ohřevu bazénové vody, jelikož současný způsob ohřevu z centrálního vytápění je poměrně nákladný. [39]

Fotovoltaické panely

Plusy: Víceúčelová využitelnost díky výrobě elektřiny

Použití jako nouzový zdroj elektrické energie

Možnost větší délky rozvodů

Dlouhá životnost

Rychlá a snadná instalace

pro ohřev vody

Mínusy: Nízká účinnost panelů

Nutná správná orientace ke světovým stranám

Částečné zastínění způsobuje výrazné snížení výkonu

Složité a nákladné akumulace elektrické energie

Fotovoltaické panely by byly vhodné pro výrobu elektrické energie, a především jako záložní zdroj elektrické energie, při použití baterií. V Karlově Studánce jsou při silném větru anebo bouři výpadky. Využití fotovoltaických panelů k ohřevu teplé vody se nevyplatí z důvodu centrální dodávky teplé vody. [40]



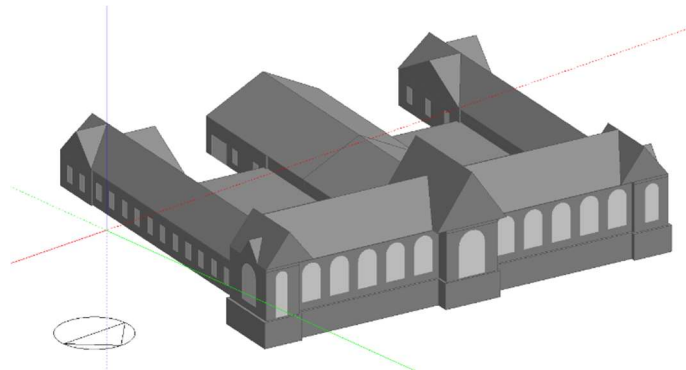
C Modelování a simulace

C.1 Modelové dílčí řešení s využitím softwaru postihující zadanou problematiku

C.1.1 Softwarové řešení DesignBuilder

C.1.1.1 Postup řešení

V programu DesignBuilder je vytvořen geometrický model zkoumaného objektu a jsou mu přiřazeny materiálové charakteristiky konstrukcí a provozní parametry místností. Následně se spustí simulace spotřeb energií jak pro vytápění, tak pro chlazení objektu. Výsledky z programu jsou porovnány se zjištěnými spotřebami energií z roku 2017. Následně se model kalibruje, aby výsledná data z programu odpovídala skutečnosti. Z tohoto důvodu byla stažena klimatická data z meteorologické stanice v Suché Rudné, která je vzdálena přibližně 4 km od Karlovi Studánky. Když je model zkalibrován, tak je možné navrhnout různá opatření pro úsporu energií a předpovědět jaké budou spotřeby energie při různé obsazenosti a provozních režimech. Nakonec se provede porovnání ročních spotřeb energie pro chlazení a vytápění získaných z výpočtového modelu a skutečných hodnot získaných s využitím standartních metod výpočtu dle platných právních norem a vyhlášek.



Obrázek 40 Ukázka modelu v programu DesignBuilder



Obrázek 41 Ukázka vizualizace v programu DesignBuilder

C.1.1.2 Vytvoření modelu

Tvorba simulačního modelu začíná zjednodušeným vymodelováním objektu. V mém případě zjednodušení znamená, že v objektu nejsou vymodelovány všechny přičky, ale vždy jen stěny ohraničující jednotlivé zóny. Poté byl postupně všem zónám v záložce *Activity* přiřazen přednastavený profil užívání. Následně byly v profilech užívání upraveny časové harmonogramy obsazenosti a vytápění, nastaveny teploty pro vytápění a chlazení, a také vnitřní zisky od vybavení. Dalším krokem bylo v záložce *Construction* přiřazení jednotlivých skladeb všem konstrukcím, podle dokumentace. V této záložce je také možné nastavit infiltraci a tepelné mosty. V záložce *Openings* byly nastaveny vlastnosti oken, jako druh zasklení, typ rámu nebo způsob stínění. Poté byl v záložce *Lighting* nastaven harmonogram a typ osvětlení v zónách. Na závěr byly nastaveny profily vytápění v záložce *HVAC*, tyto profily obsahují způsob vytápění a chlazení, dále se zde nastavuje způsob větrání a další možnosti. Po dokončení tvorby modelu následovala kalibrace modelu.

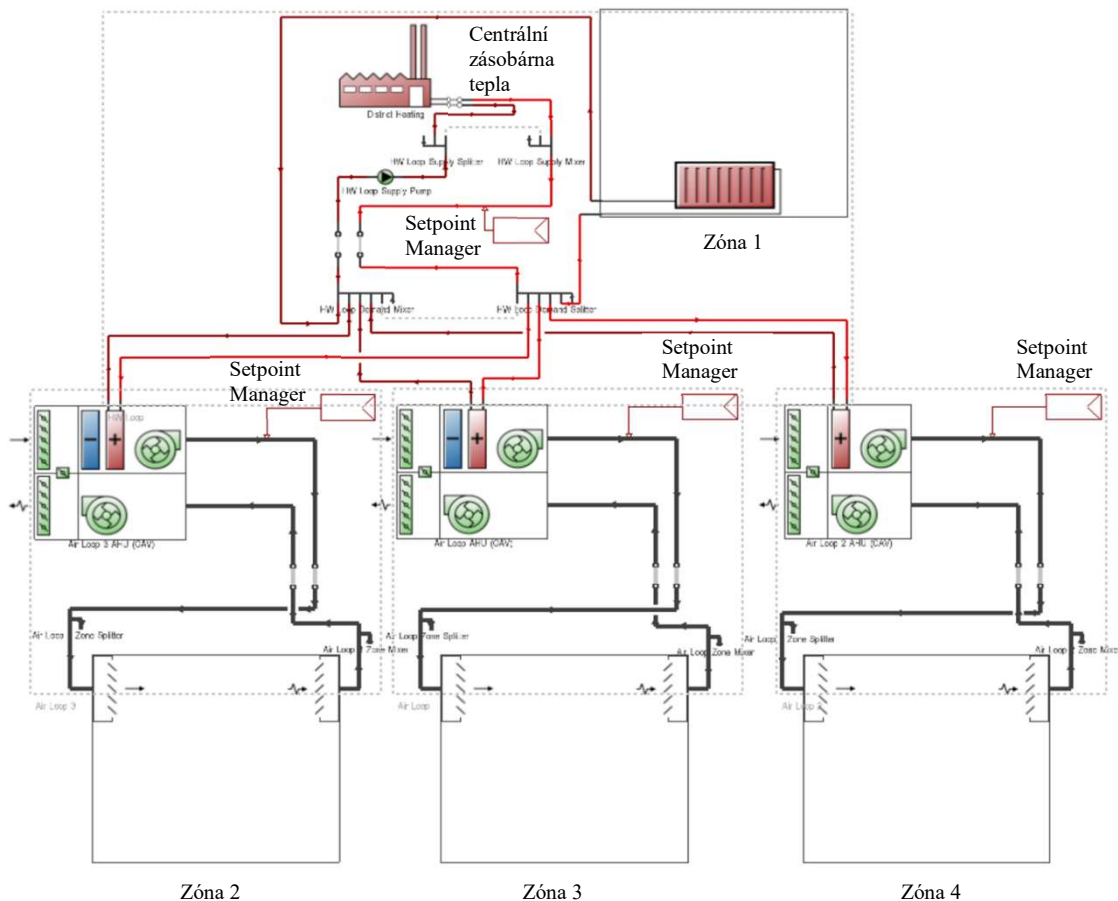
C.1.1.3 Kalibrace modelu

Model byl kalibrován pomocí nastavených vnitřních teplot jednotlivých zón, které byly získány experimentálním měřením v roce 2017, klimatickým datům vytvořených ze získaných dat z meteorologické stanice v Suché Rudné za rok 2017 a získaných informacích o spotřebě tepelné energie v roce 2017. Nejprve byla provedena simulace modelu a výsledná spotřeba tepelné energie byla porovnána se skutečnou spotřebou tepelné energie. Jelikož výsledná spotřeba tepelné energie vyšla menší než skutečná, tak byla ve složce *Construction* nastavena větší infiltrace pro okna a dveře ve staré části objektu. Tento postup byl opakován, dokud spotřeba energie v modelu neodpovídala skutečné spotřebě tepelné energie.

C.1.1.2 Provozní schéma vytápění

Následující obrázek zobrazuje zjednodušené provozní schéma stávajícího stavu vytápění v objektu Letních lázní, sestaveného podle dostupných informací, vytvořeného v programu DesignBuilder. Hlavním tepelným zdrojem v objektu je centrální zdroj, který zásobuje celý areál lázeňských domů v Karlově Studánce. Tento zdroj je použit pro teplovodní vytápění, ohřev vody a ohřivače vzduchu ve vzduchotechnických jednotkách. Spotřeby jednotlivých zón nejsou dostupné. Jediné, co víme, že na vytápění bazénu, saun a šaten a ohřev vody pro tuto zónu bylo v roce 2017 spotřebováno 1371 GJ energie, ale bohužel nebylo přesněji určeno, jak velká část byla použita na vytápění, a jak velká na ohřev vody. Na ohřev zbylé části objektu bylo použito 1131 GJ tepelné energie.

Bohužel nelze udat podrobnější informace ke specifikaci otopných těles a VZT jednotek, z důvodu že mi nebyly poskytnuty od správce areálu.



Obrázek 42 Provozní schéma vytápění

Setpoint Manager

Setpoint Manager řídí provoz, aby v místnostech byla požadovaná teplota.

Zóna 1

První zóna je vytápěna deskovými otopnými tělesy. V této zóně se nachází kavárna, která je vytápěna od 6 do 22 hodin na cca 22 °C, uhličité lázně vytápěné na cca 24 °C a rašelinové zábaly vytápěné na cca 22 °C, obě části objektu jsou shodně vytápěny od 6 do 20 hod. Všechny tyto provozy mají nastavený dvoustupňový noční útlum

Zóna 2

Druhá zóna je vytápěna, chlazena a větrána VZT jednotkou. VZT jednotka slouží pro prostory vodoléčby, vibrosauny a teplého písku. Zapínání této jednotky lze nastavit podle časového režimu nebo ručně. Provozní doby zařízení jsou dle provozní doby jednotlivých sekcí. Jednotka převážně funguje na plný chod (100 %), na který je také dimenzováno odvlhčení. Klimatizační jednotka je vnitřního provedení (umístěna na půdě objektu) a zajišťuje úpravu vzduchu. VZT jednotka obsahuje filtraci, deskový výměník, přímý výparník, teplovodní výměník (ohříván teplou vodou z centrálního teplovodu) a ventilátor s frekvenčním měničem otáček. Další informace z neúplné dokumentace nelze vyčíst. Vytápěné v zóně je nastaveno od 6 do 17 hodin na 20 °C, mimo tuto dobu je dvoustupňový noční útlum.

Zóna 3

Třetí zóna je vytápěna, chlazena a větrána VZT jednotkou. V této zóně je bazén se saunami, které jsou vytápěny na cca 32,5 °C a šatny vytápěné na cca 26 °C. Vytápění v celé zóně je nastaveno od 6 do 21 hodin, mimo tuto dobu je nastaven dvoustupňový noční útlum. K používané VZT v této zóně nejsou žádné informace ani dokumentace.

Zóna 4

Čtvrtá zóna je vytápěna a větrána VZT jednotkou. VZT jednotka je určena pro kuchyň a přilehlé prostory. Zapínání VZT jednotky probíhá ručně. Klimatizační jednotka je vnitřního provedení (umístěna na půdě objektu) a zajišťuje úpravu vzduchu. VZT jednotka má tři chody: tlumený chod (provětrání kuchyně), vaření I (otevření klapky na 50 %) a vaření II (otevření klapky na 100 %). VZT jednotka obsahuje filtraci, deskový výměník, teplovodní výměník (ohříván teplou vodou z centrálního teplovodu) a ventilátor s frekvenčním měničem otáček. Více informací z neúplné dokumentace nelze vyčíst. Zóna je od 6 do 21 hodin vytápěna mezi 22 až 26 °C, noční útlum je nastaven na 20 °C



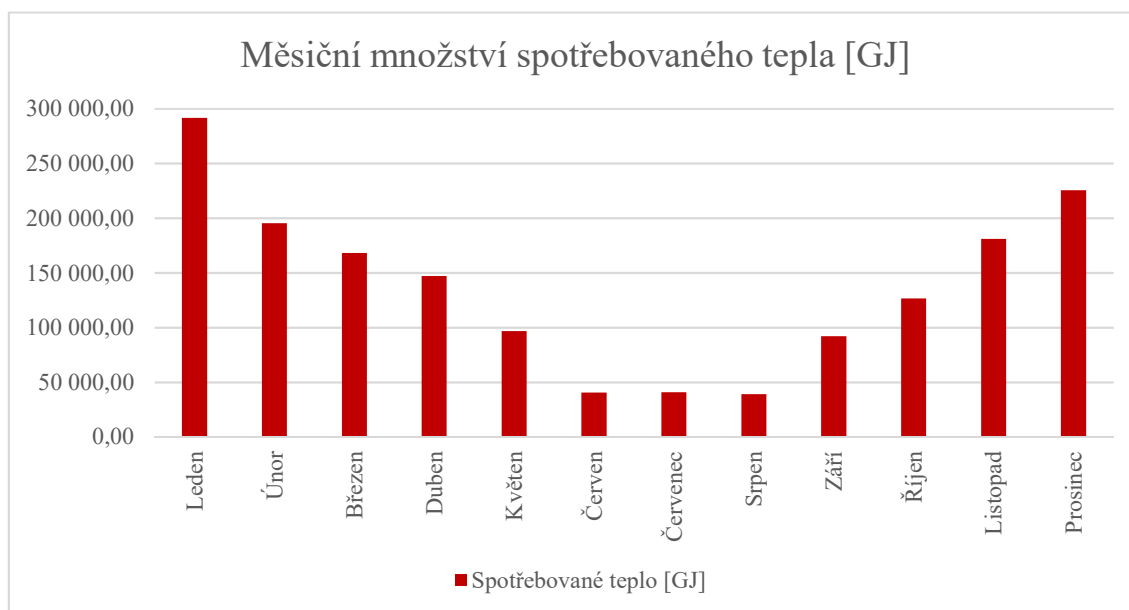
Obrázek 43 Zónování objektu podle způsobu vytápění

C.1.2 Zhodnocení stávajícího stavu

Nejprve si ukážeme množství spotřebovaného tepla v jednotlivých měsících. Tyto hodnoty byly získány pomocí simulace, který byla provedena na zkalibrovaném modelu. Pro výpočet celkové ceny za vytápění byla brána hodnota 514,30 Kč/GJ podle informací z energetického regulačního úřadu pro Karlovu Studánku.

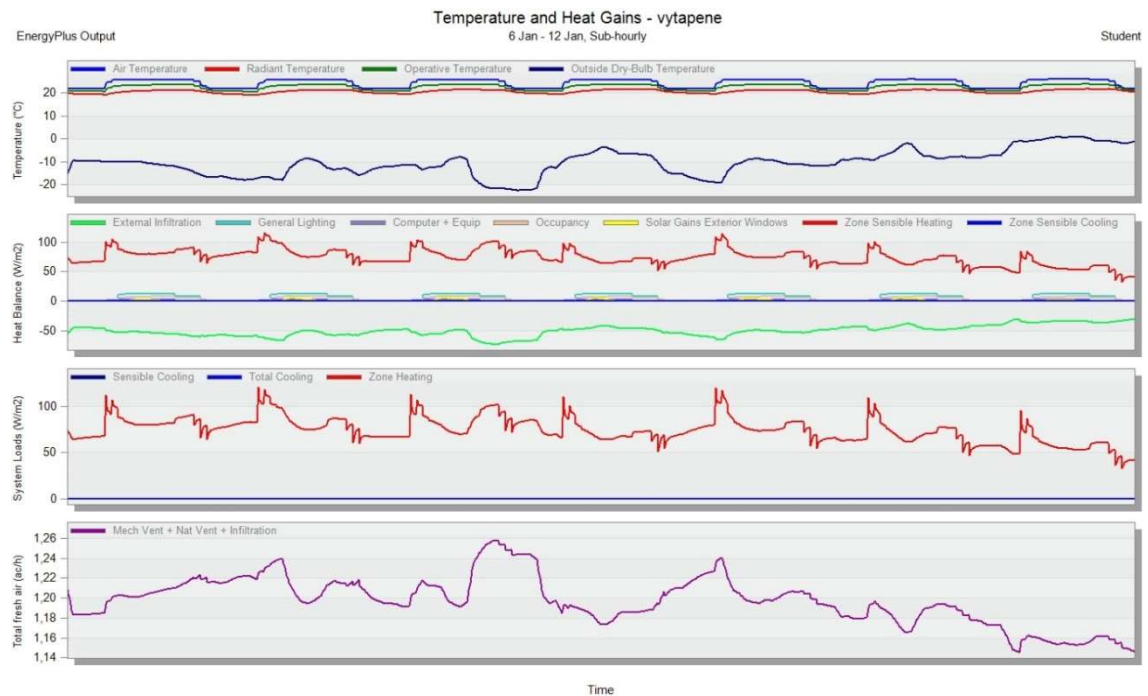
Tabulka 3 Množství spotřebovaného tepla

2017		Množství spotřebovaného tepla		Cena za vytápění
		[MJ]	[kWh]	Kč
1	Leden	291 695,1	81 026,4	150 019
2	Únor	195 272,7	54 242,4	100 429
3	Březen	168 057,7	46 682,7	86 432
4	Duben	146 996,8	40 832,4	75 600
5	Květen	96 734,0	26 870,5	49 750
6	Červen	40 430,5	11 230,7	20 793
7	Červenec	40 690,4	11 302,8	20 927
8	Srpen	38 998,4	10 832,9	20 057
9	Září	91 951,7	25 542,1	47 291
10	Říjen	126 476,5	35 132,3	65 047
11	Listopad	181 170,1	50 325,0	93 176
12	Prosinec	225 590,5	62 664,0	116 021
Celkem		1 642 345,6	456 207,1	844 658



Graf 10 Měsíční množství spotřebovaného tepla

Na obrázku níže je ukázka grafického zobrazení v programu DesignBuilder. Pro ukázkou jsem vybral období od 6. 1. 2017 do 12. 1. 2017, které je v programu DesignBuilder nazváno jako Zimní návrhový týden. Na obrázku můžeme vidět čtyři grafy. Kde v prvním grafu můžeme vidět průběhy teplot (fialově teplota vzduchu, červeně radiační teplota, zeleně operativní teplota a tmavě modře venkovní teplota). V druhém grafu je zobrazena bilance teplotních zisků a ztrát (světle zeleně tepelné ztráty, tmavě zeleně zisky od osvětlení, světle fialově zisky od vybavení, oranžově zisky od osob, žlutě solární zisky, červeně vytápění, tmavě fialově chlazení). Třetí graf ukazuje průběh vytápění a chlazení (tmavě modře a fialově chlazení, červeně vytápění) a poslední graf nám ukazuje celkové množství čerstvého vzduchu pomocí infiltrace, větrání a nuceného větrání.



Obrázek 44 Ukázka grafického zobrazení DesignBuilder - stávající stav

C.1.3 Navržená opatření a úpravy

C.1.3.1 Nastavení teploty vytápění podle normových hodnot

V tomto opatření nejsou navrženy žádné stavební úpravy, pouze je zde navrženo vytápět provozy na normové teploty. U některých provozů dojde ke snížení teploty jako například u bazénu a kavárny, u dalších provozů dojde ke zvýšení vnitřní teploty jako uhličitých lázní a rašelinových zábalů. Pouze vodoléčba má nastavenou správnou teplotu 24 °C. Nově jsou tedy nastaveny teploty podle normy u rašelinových zábalů na 24 °C, uhličitých lázní na 24 °C, bazénu na 29 °C, kavárny na 20 °C a u vodoléčby na 24 °C.

Tabulka 4 Spotřeba tepla - úprava teplot

Provoz	Spotřeba tepla	
	[MJ]	[kWh]
Původní	1 642 345,6	456 207,1
Upravený	1 559 943,7	433 317,7
Úspory	82 401,9	22 889,4

Úspora:

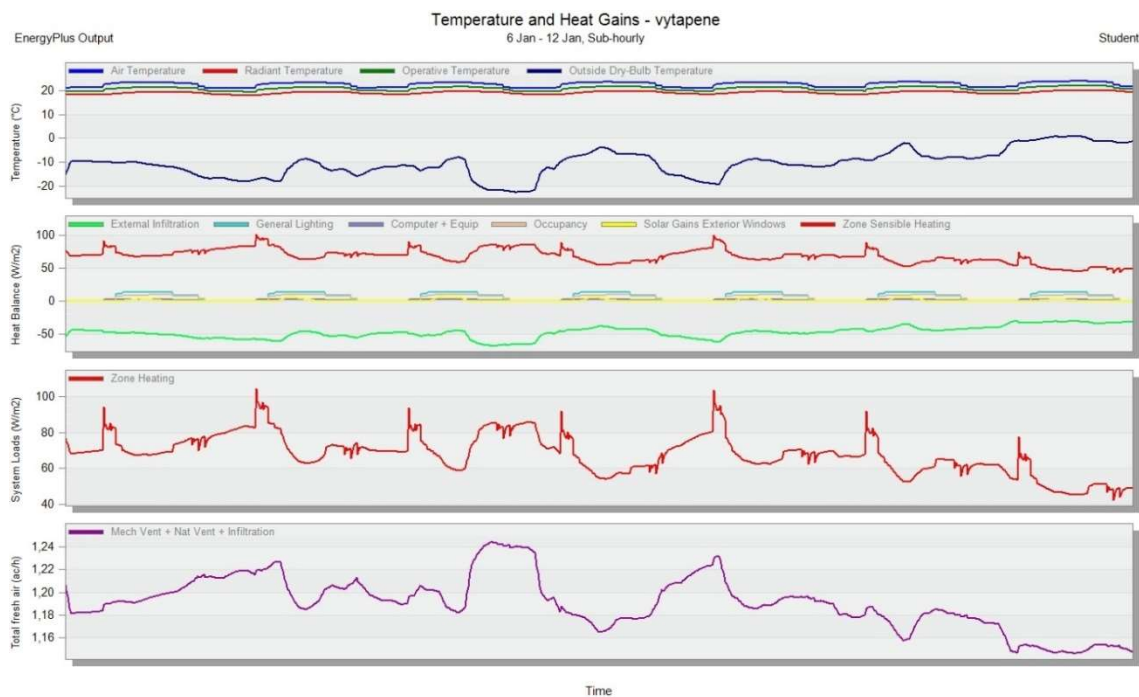
5 % energie z původní spotřeby

82 401,9 MJ

42 400 Kč

Z výše uvedeného můžeme vidět, že i bez stavebních úprav, může být dosažena úspora 5 % na potřebnou energii pro vytápění, což je zhruba 42 400 Kč ročně.

Ukázka grafického zobrazení v programu DesignBuilder v období 6. 1. 2017 až 12. 1. 2017. Popis jednotlivých grafů viz kapitola C.1.2. Zobrazení stávajícího stavu.



Obrázek 45 Ukázka grafického zobrazení DesignBuilder - nastavení teplot podle normy

C.1.3.2 Nastavení bez nočních útlumů

Nastavení nočních útlumů je již aplikované opatření, což víme od správce objektu, ale i díky experimentálnímu měření. Víme, že je nastaven dvoustupňový noční útlum, nebo přesněji mimo provozní dobu procedur a otevírací dobu bazénu. Simulace byla vytvořena z důvodu, aby bylo vidět kolik energie na vytápění noční útlumy v současné době šetří.

Tabulka 5 Spotřeba tepla - bez nočního útlumu

Provoz	Spotřeba tepla	
	[MJ]	[kWh]
Původní	1 642 345,6	456 207,1
Upravený	1 782 572,0	495 158,9
Úspory	-140 226,4	-38 951,8

Úspora:

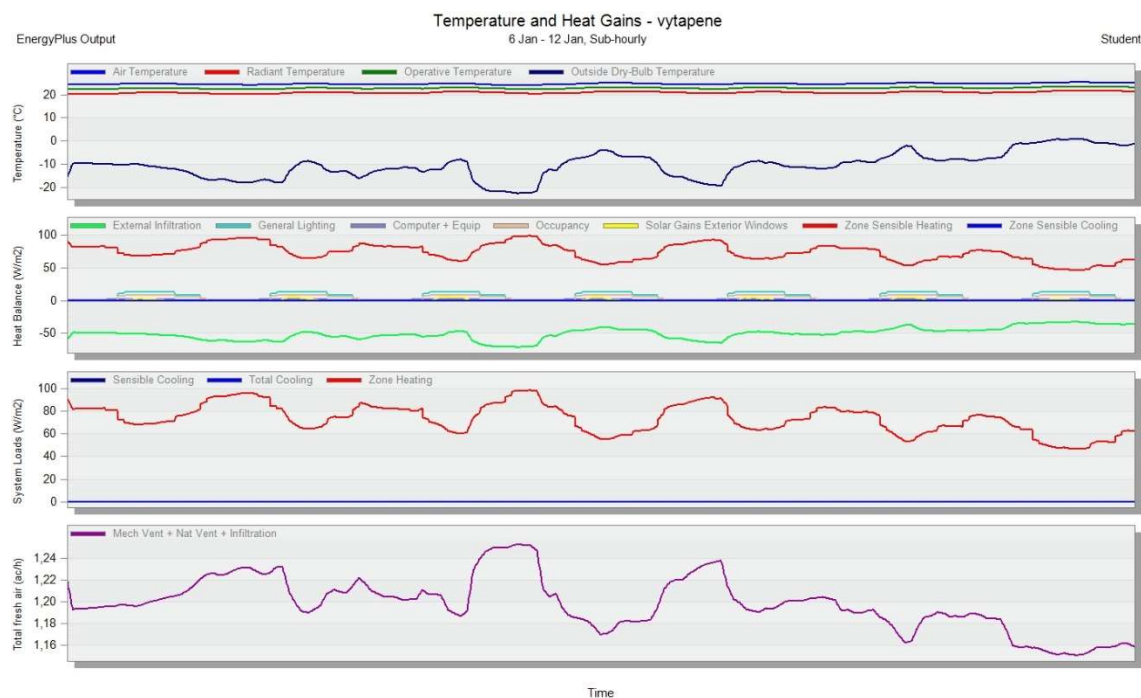
-7,9 % energie z původní spotřeby

-140 226,4 MJ

- 72 100 Kč

Zde můžeme vidět, že pokud by nebyly nastaveny noční útlumy, tak by byla spotřeba energie o 7,9 % vyšší, než je v současné době což by znamenalo zvýšení nákladů na vytápění zhruba o 72 100 Kč ročně.

Ukázka grafického zobrazení v programu DesignBuilder v období 6. 1. 2017 až 12. 1. 2017. Popis jednotlivých grafů viz kapitola C.1.2. Zobrazení stávajícího stavu.



Obrázek 46 Ukázka grafického zobrazení DesignBuilder - bez nočních útlumů

C.1.3.3 Částečné zateplení objektu

Jelikož se jedná o historickou a památkově chráněnou budovu je možnost zateplení velice omezená. Z tohoto důvodu jsem do simulace použil pouze zateplení stropu nad vytápěnými místnostmi a zateplení stropu mezi sklepem a kavárnou. Pro zateplení stropu nad vytápěnými místnostmi byla navržena foukaná izolace v tl. 300 mm a pro strop nad sklepem byl použit EPS 100 mm. Výhodou tohoto zateplení je, že by nemuselo dojít k omezení provozu Letních lázní.

Tabulka 6 Spotřeba tepla - částečné zateplení

Provoz	Spotřeba tepla	
	[MJ]	[kWh]
Původní	1 642 345,6	456 207,1
Upravený	1 519 709,4	422 141,5
Úspory	122 636,2	34 065,6

Úspora:

7,5 % energie z původní spotřeby

122 636,2 MJ

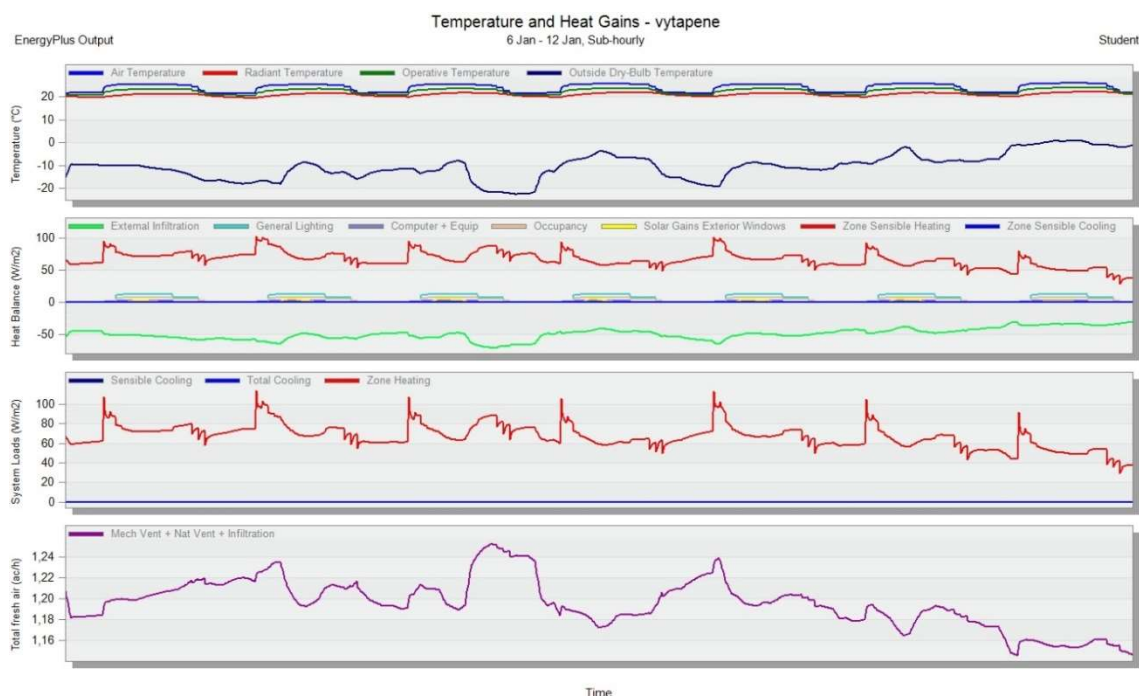
63 072 Kč

Pokud by bylo použito zateplení, jak je napsáno výše, pohybovala by se úspora energie na vytápění okolo 7,5 %, což je zhruba 63 072 Kč ročně.

Náklady na zateplení by se pohybovaly okolo 2 242 000 Kč. Pro zateplení stropu 300 mm foukané izolace je uvažováno 2 100 Kč/m² a 800 Kč/m² pro zateplení podlahy 100 mm EPS.

Doba návratnosti v tomto případě podle finančního kalkulátoru pro hodnocení ekonomické efektivity investic je delší než uvažovaná doba životnosti projektu.

Ukázka grafického zobrazení v programu DesignBuilder v období 6. 1. 2017 až 12. 1. 2017. Popis jednotlivých grafů viz kapitola C.1.2. Zobrazení stávajícího stavu.



Obrázek 47 Ukázka grafického zobrazení DesignBuilder - částečné zateplení objektu

C.1.3.4 Výměna oken a dveří

Stará část objektu obsahuje staré a dosti netěsná okna. Pokud by se provedla výměna oken a dveří ve staré části budovy, tak by se tím velmi zmenšili ztráty infilrací. Pokud by byla umístěna okna a dveře se součinitelem prostupu tepla $U=1,2 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$. Tak dle simulace vyšly tyto výsledky.

Tabulka 7 Spotřeba tepla - výměna oken a dveří

Provoz	Spotřeba tepla	
	[MJ]	[kWh]
Původní	1 642 345,6	456 207,1
Upravený	1 185 059,2	329 183,1
Úspory	457 286,4	127 024,0

Úspora:

27,8 % energie z původní spotřeby

457 286,4 MJ

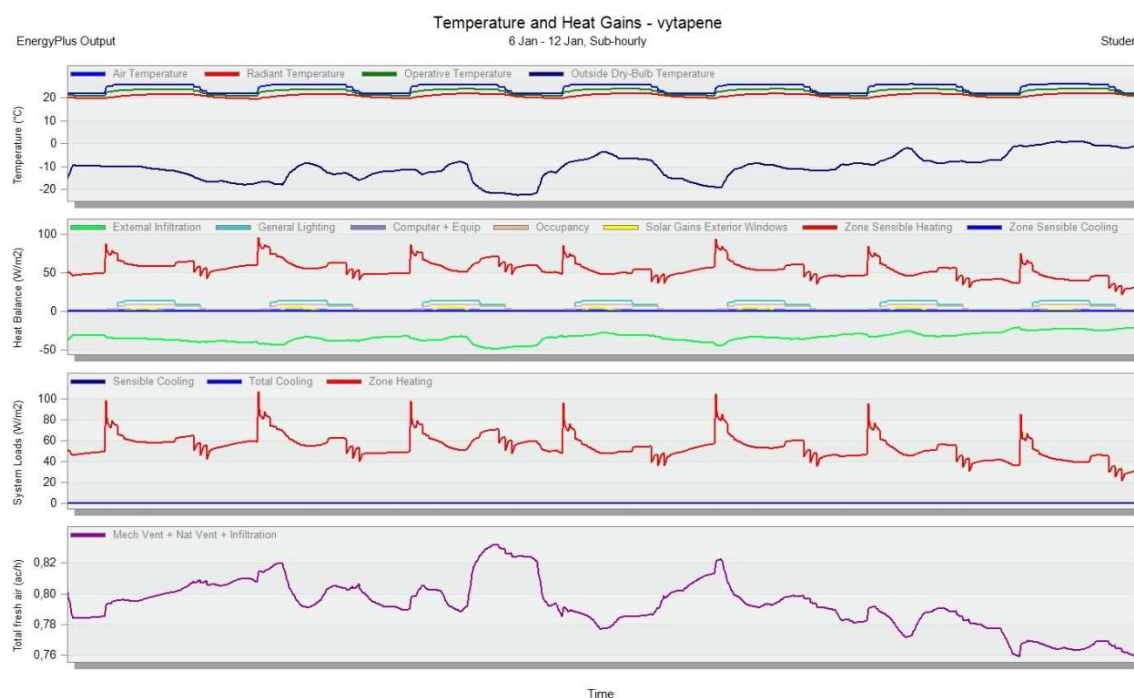
235 200 Kč

V případě že by došlo k výměně oken, tak by došlo k velkému snížení potřebné energie na vytápění. Přesněji by se jednalo o zhruba 27,8 %, což je přibližně 235 200 Kč ročně. Nevýhodou tohoto opatření je to, že by musel být přerušen provoz po dobu stavebních úprav.

Náklady na výměnu oken a dveří by se pohybovaly okolo 932 000 Kč. Pro výpočet celkové ceny byla uvažována cena 4 000 Kč/m² pro dveře i okna.

Doba návratnosti investice podle finančního kalkulátoru je 4 roky a diskontovaná doba návratnosti je 5 let. Vnitřní výnosové procento investice je 28 %.

Ukázka grafického zobrazení v programu DesignBuilder v období 6. 1. 2017 až 12. 1. 2017. Popis jednotlivých grafů viz kapitola C.1.2. Zobrazení stávajícího stavu.



Obrázek 48 Ukázka grafického zobrazení DesignBuilder - výměna oken a dveří

C.1.3.5 Výměna oken a dveří + zateplení

Kombinace přechozích dvou opatření je další návrh. V simulaci je použito zateplení stropu nad vytápěným prostorem foukanou tepelnou izolací o tl. 300 mm a zateplení stropu mezi kavárnou a sklepem polystyrenem EPS 100 mm. Dále je zde navržena výměna oken a dveří ve staré části objektu. Nová okna a dveře jsou uvažována se stejným součinitelem prostupu tepla $U = 1,2 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$

Tabulka 8 Spotřeba tepla - výměna oken a dveří + zateplení

Provoz	Spotřeba tepla	
	[MJ]	[kWh]
Původní	1 642 345,6	456 207,1
Upravený	1 100 384,3	305 662,3
Úspory	541 961,3	150 544,8

Úspora:

33,0 % energie z původní spotřeby

541 961,3 MJ

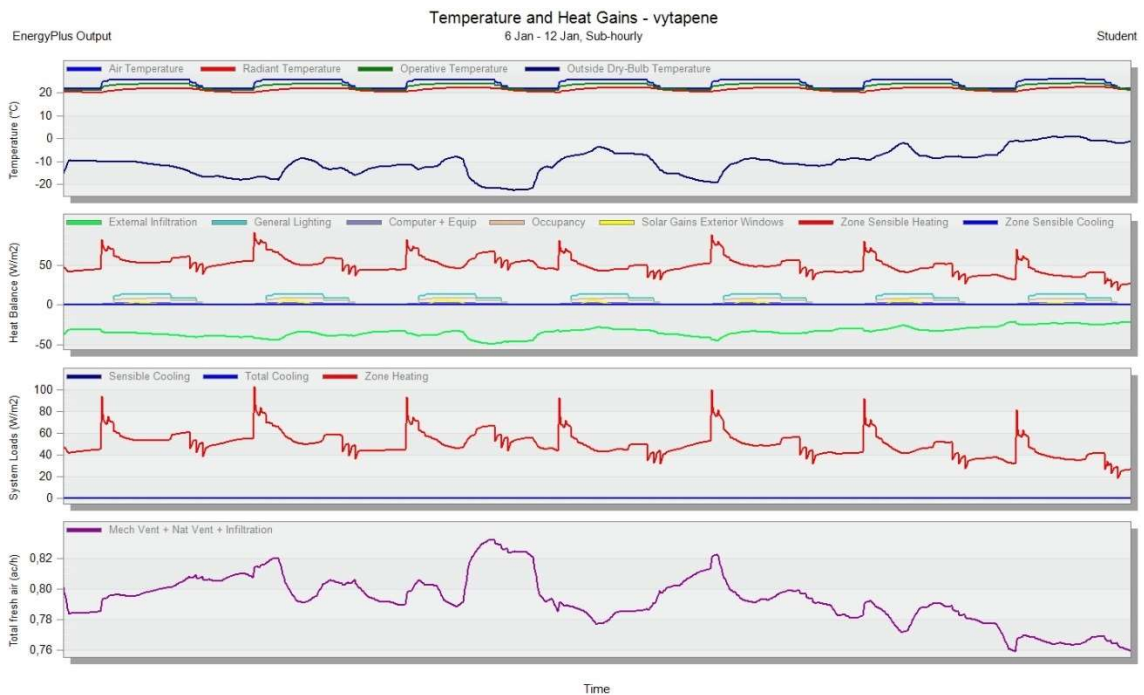
278 700 Kč

V případě že by došlo k výměně oken a dveří a částečnému zateplení objektu, tak by došlo k velkému snížení potřebné energie na vytápění. Přesněji by se jednalo o zhruba 33,0 %, což je přibližně 278 700 Kč. Nevýhodou tohoto opatření je to, že by musel být přerušen provoz po dobu stavebních úprav.

Celková cena tohoto opatření je 3 174 000 Kč.

Doba návratnosti investice podle finančního kalkulatoru je 10 let a diskontovaná doba návratnosti je 12 let. Vnitřní výnosové procento investice je 9 %.

Ukázka grafického zobrazení v programu DesignBuilder v období 6. 1. 2017 až 12. 1. 2017. Popis jednotlivých grafů viz kapitola C.1.2. Zobrazení stávajícího stavu.



Obrázek 49 Ukázka grafického zobrazení DesignBuilder - výměna oken + zateplení

C.1.3.6 Výměna oken a dveří + zateplení + vytápění dle normy

V poslední simulaci si ukážeme, kolik úspory by mohla přinést kombinace výměny oken a dveří, částečné zateplení a nastavení vytápění na normové hodnoty. Opět jsou uvažována okna se součinitelem prostupu tepla $U=1,2 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$. Zateplení stropu nad vytápěnou částí foukanou izolací tl. 300 mm a zateplení strupu nad sklepem polystyrenem EPS 100 mm. Nastavení teplot dle normy u bazénu 29 °C, kavárna 20 °C, uhlíčitě lázně 24 °C, rašelinové zábaly 24 °C a vodoléčba 24 °C.

Tabulka 9 Spotřeba tepla - výměna oken a dveří + zateplení + vytápění dle normy

Provoz	Spotřeba tepla	
	[MJ]	[kWh]
Původní	1 642 345,6	456 207,1
Upravený	1 060 830,0	294 675,0
Úspory	581 515,6	161 532,1

Úspora:

35,4 % energie z původní spotřeby

581 515,6 MJ

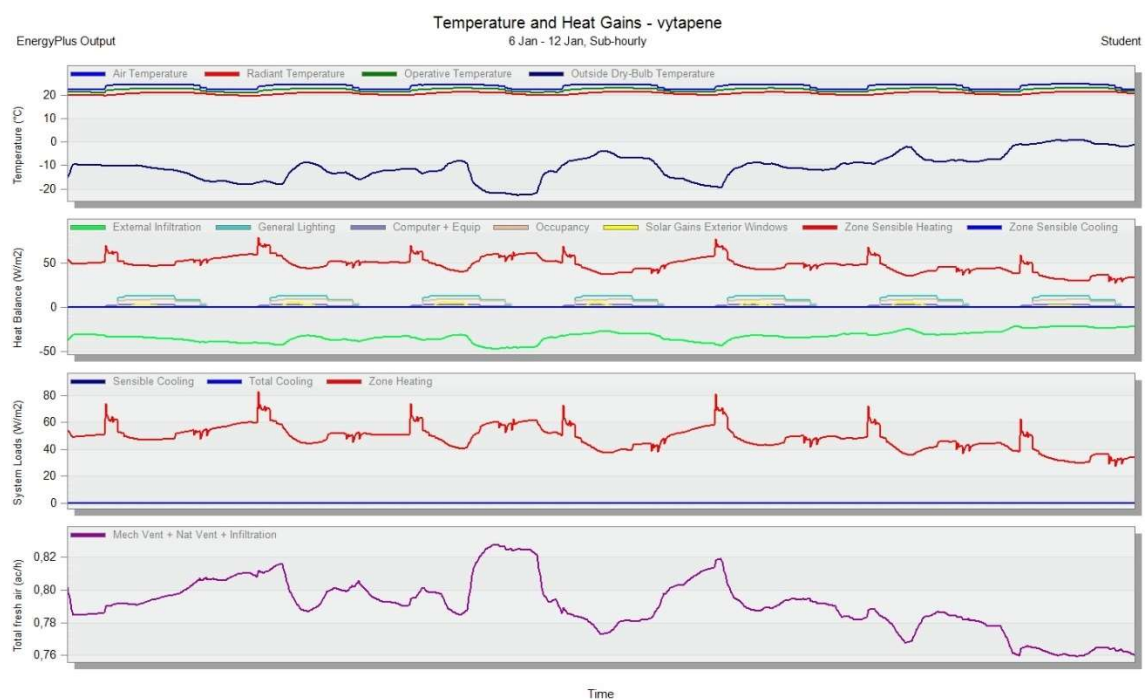
299 000 Kč

Kdyby se použily všechny výše zmíněné úpravy, tak by dle očekávání došlo k největším úsporám na energii. Přesněji by se jednalo o zhruba 35,4 %, což je přibližně 299 000 Kč ročně. Nevýhodou tohoto opatření je opět přerušení provozu po dobu stavebních prací.

Celková cena tohoto opatření je 3 174 000 Kč.

Doba návratnosti investice podle finančního kalkulátoru je 10 let a diskontovaná doba návratnosti je 11 let. Vnitřní výnosové procento investice je 10 %.

Ukázka grafického zobrazení v programu DesignBuilder v období 6. 1. 2017 až 12. 1. 2017. Popis jednotlivých grafů viz kapitola C.1.2. Zobrazení stávajícího stavu.



Obrázek 50 Ukázka grafického zobrazení DesignBuilder - výměna oken + zateplení + normové teploty

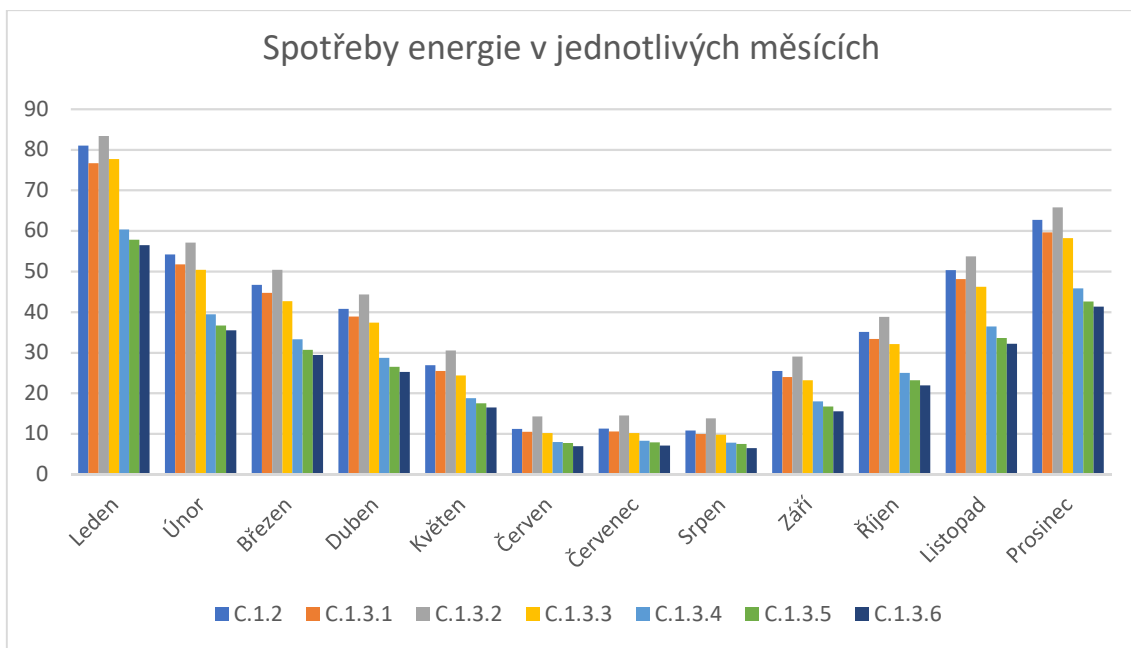
C.1.4 Srovnání navržených opatření a úprav

V této kapitole porovnáme výsledky simulací s navrženými úpravami. Výsledky jsou zaznamenány v GJ po jednotlivých měsících. První sloupec v tabulce je podle kapitoly C.1.2 Zhodnocení stávajícího stavu, další sloupce v tabulce jsou postupně podle podkapitol z kapitoly C.1.3 Navržená opatření a úpravy.

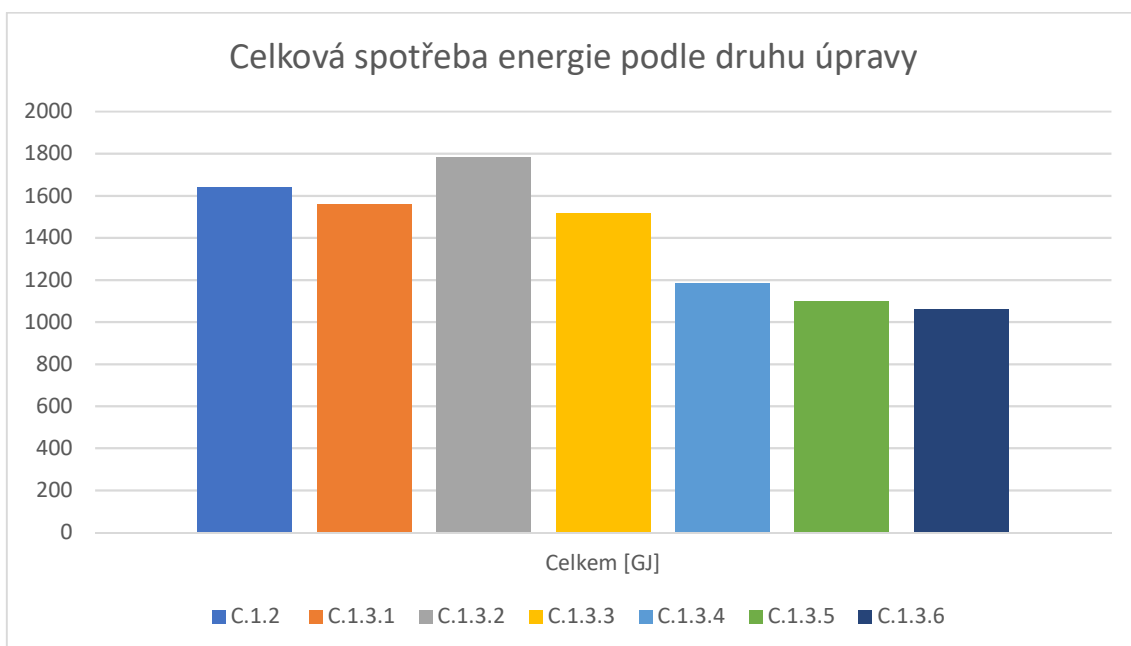
Tabulka 10 Srovnání měsíčních spotřeb tepla

2017		C.1.2 Zhodnocení stávajícího stavu	C.1.3.1 Nastavení teploty vytápění podle normových hodnot	C.1.3.2 Nastavení bez nočních útlumů	C.1.3.3 Částečné zateplení objektu	C.1.3.4 Výměna oken a dveří	C.1.3.5 Výměna oken a dveří + zateplení	C.1.3.6 Výměna oken a dveří + zateplení + vytápění dle normy
1	Leden	81,0	76,7	83,4	77,7	60,3	57,8	56,5
2	Únor	54,2	51,7	57,1	50,4	39,4	36,7	35,5
3	Březen	46,7	44,7	50,4	42,7	33,3	30,7	29,4
4	Duben	40,8	38,9	44,3	37,4	28,7	26,5	25,2
5	Květen	26,9	25,5	30,5	24,4	18,8	17,5	16,5
6	Červen	11,2	10,5	14,3	10,2	8,0	7,7	6,9
7	Červenec	11,3	10,6	14,5	10,2	8,3	7,9	7,1
8	Srpen	10,8	9,9	13,8	9,8	7,8	7,5	6,5
9	Září	25,5	24,0	29,0	23,2	18,0	16,7	15,5
10	Říjen	35,1	33,4	38,8	32,1	25,0	23,2	21,9
11	Listopad	50,3	48,1	53,7	46,2	36,4	33,6	32,2
12	Prosinec	62,7	59,6	65,8	58,2	45,8	42,6	41,3
Celkem [MWh]		456,2	433,3	495,2	422,1	329,2	305,7	294,7
Celkem [GJ]		1 642,3	1 559,9	1 782,6	1 519,7	1 185,1	1 100,4	1 060,8
Celkem [tis. Kč]		845	802	917	782	609	566	546
Spotřeba v %		100,0	95,0	108,5	92,5	72,2	67,0	64,6

Podle tabulky, ale také podle grafu níže, můžeme vidět, že je objekt vytápěn i v letních měsících. Teplá voda z centrální kotelny je použita na ohřev vzduchu ve VZT jednotkách. Přes letní období je potřeba použít vytápění v bazénové hale, saunách a vodoléčbě.



Graf 11 Spotřeby energie v jednotlivých měsících



Graf 12 Celková spotřeba energie podle druhu úpravy

Z grafu a tabulky výše můžeme vyčíst, že v současné době je poměrně velká úspora energie díky nastavenému nočnímu útlumu, konkrétně se jedná asi o 140 GJ tepelné energie ročně. Dále z hodnot můžeme zjistit, že není moc velký rozdíl v úspoře energie, jen zhruba 40 GJ, pokud by se provedlo částečné zateplení anebo nastavení teplot podle normových hodnot. Z hodnot naopak můžeme vyčíst, že by objektu nejvíce prospěla výměna starých a netěsných oken za nová. Tímto opatřením by se mohlo ročně ušetřit

zhruba 28 % energie na vytápění. Výměna oken a dveří také vychází nejlépe podle finančního kalkulátoru pro hodnocení ekonomické efektivity investic, což můžeme vidět v tabulce níže.

Tabulka 11 Srovnání hodnocení ekonomické efektivity investic

	C.1.3.3 Částečné zateplení objektu	C.1.3.4 Výměna oken a dveří	C.1.3.5 Výměna oken a dveří + zateplení	C.1.3.6 Výměna oken a dveří + zateplení + vytápění dle normy
NPV – čistá současná hodnota projektu [Kč]	-	3634990	2237650	2631825
Roční ekvivalentní toky investice [Kč]	-	244328	150405	176900
Doba návratnosti [rok]	> 20	4	10	10
Diskontovaná doba návratnosti [rok]	> 20	5	12	11
IRR – vnitřní výnosové procento investice [%]	-	28	9	10

Závěr

Cílem diplomové práce byl návrh úprav a opatření vedoucí ke snížení spotřeby tepelné energie na vytápění v budově Letních lázní v Karlově Studánce. Z tohoto důvodu bylo navrženo několik opatření a také stavebních úprav, aniž by došlo ke zhoršení kvality vnitřního prostředí.

K získání experimentálních dat z měřeného objektu byla použita čidla a software od společnosti Hanwell. Klimatická data byla použita z meteorologické stanice v Suché Rudné. Pro vytvoření modelu a simulací byl využit britský program DesignBuilder, který mi byl poskytnut se školní licenci zdarma.

Úvodní část práce byla věnována energetickému hodnocení budov a jeho legislativě, aktuálním technickým řešením, způsobům měření vlhkosti vzduchu a přístrojům pro experimentální řešení. V druhé části byla zpracována analýza objektu, popsány jednotlivé druhy opatření a druhy obnovitelných zdrojů. Závěr práce byl věnován modelování a simulacím.

Podle simulací můžeme vidět, že nejvhodnější řešení vedoucí ke snížení energetické náročnosti je výměna starých oken ve staré části objektu, která jsou v dezolátním stavu. Díky výměně oken by mohlo dojít ke snížení spotřeby energie na vytápění zhruba o 28 %. Tato stavební úprava navíc vyjde mnohem levněji, než pokud by se objekt částečně zateploval. Náklady na výměnu oken a dveří by se pohybovaly okolo 932 000 Kč. Doba návratnosti této investice jsou 4 roky, diskontovaná doba návratnosti je 5 let a vnitřní výnosové procento investice je 28 %.

Výsledky, které vyšly pomocí simulací mohou být nepřesné z důvodu neúplné a nepřehledné dokumentace objektu, a také z důvodu poskytnutí málo podrobných dat o spotřebě tepelné energie na vytápění, kde především v nové části objektu není přesně uvedeno, jaké množství tepla bylo využito na vytápění a na ohřev teplé vody v bazénu.

Použité zdroje

- [1] Revize evropské směrnice 2002/91/ES o energetické náročnosti budov. TZB-info [online]. [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/6739-revize-evropske-smernice-2002-91-es-o-energeticke-narocnosti-budov>
- [2] Kjótský protokol k Rámcové úmluvě OSN o změně klimatu. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/kjotsky_protokol
- [3] Environmentální hodnocení budov. [Http://www.stavebnictvi3000.cz](http://www.stavebnictvi3000.cz) [online]. [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: <http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/environmentalni-hodnoceni-budov/>
- [4] Smart Regions - Buildings and Settlements Information Modelling, Technology and Infrastructure for Sustainable Development. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ [online]. [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/vav/projekty/detail/24673>
- [5] Standard 90.1. ASHRAE [online]. [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standard-90-1>
- [6] Úspory energií. TZB-info [online]. [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/t.py?a=2&search=%FAspory+energi%ED&t=14&i=1&sin=y&razeni=&plane=1>
- [7] ZÁKON 406/2000 SB. O HOSPODAŘENÍ ENERGIÍ. INFORMAČNÍ PORTÁL Ministerstva průmyslu a obchodu [online]. [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: <https://www.mpo-efekt.cz/cz/legislativa/zakony-a-vyhlasky/zakon-406-2000>
- [8] Vyhláška č. 480/2012 Sb. o energetickém auditu a energetickém posudku. TZB-info [online]. [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/vyhlaska-c-480-2012-sb-o-energetickem-auditu-a-energetickem-posudku>
- [9] Vyhláška č. 118/2013 Sb. [Zakonyprolidi.cz](http://www.zakonyprolidi.cz) [online]. [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2013-118/zneni-20150929>
- [10] Vyhláška č. 78/2013 Sb. [Zakonyprolidi.cz](http://www.zakonyprolidi.cz) [online]. [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2013-78>
- [11] TNI 730331 Energetická náročnost budov - Typické hodnoty pro výpočet. TZB-info [online]. [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/112133-tni-730331-energeticka-narocnost-budov-typicke-hodnoty-pro-vypocet>
- [12] ČSN 73 0331-1. TZB-info [online]. [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/normy/csn-73-0331-1-2018-09>
- [13] Building Research Establishment Environmental Assessment Method. Česká rada pro šetrné budovy [online]. [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: <http://www.czgbc.org/certifikace/breem>
- [14] Německý certifikační systém DGNB. Česká rada pro šetrné budovy [online]. [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: <http://www.czgbc.org/zpravy/zprava/177/nemecky-certifikacni-system-dgnb->
- [15] Leadership in Energy & Environmental Design. Česká rada pro šetrné budovy [online]. [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: <http://www.czgbc.org/certifikace/leed>

- [16] O SBTToolCZ. SBTToolCZ [online]. [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: <https://www.sbtool.cz/cs/o-sbtoolcz>
- [17] Průkaz Standard PENB. Průkaz PENB [online]. [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: <http://www.prukazpenb.cz/o-prukazu/>
- [18] Co je energetický štítek a průkaz energetické náročnosti budovy. ČESKÉSTAVBY.cz [online]. [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: <https://www.ceskestavby.cz/clanky/co-je-energeticky-stitek-a-prukaz-energeticke-narocnosti-budovy-23254.html>
- [19] VI. ENERGETICKÝ AUDIT, POSUDEK. Energetické průkazy [online]. [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: <https://www.energeticke-prukazy.eu>
- [20] URBAN, Miroslav. Manuál pro využití výpočetního nástroje NKN [online]. září 2010 [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: http://tzb.fsv.cvut.cz/files/nastroje/Methodika/nkn-pomucka_k_vyuuce.pdf
- [21] BSim. BEST Directory: Building Energy Software Tools [online]. [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: <https://www.buildingenergysoftwaretools.com/software/bsim-0>
- [22] DesignBuilder. BEST Directory: Building Energy Software Tools [online]. [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: <https://www.buildingenergysoftwaretools.com/software/designbuilder>
- [23] ESP-R. BEST Directory: Building Energy Software Tools [online]. [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: <https://www.buildingenergysoftwaretools.com/software/esp-r-0>
- [24] TRNSYS. BEST Directory: Building Energy Software Tools [online]. [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: <https://www.buildingenergysoftwaretools.com/software/trnsys>
- [25] VOLF, Ivo, Miroslava JAREŠOVÁ a Miroslav OUHRABKA. Přenos tepla. Fyzikalniolympiada.cz [online]. [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: <http://fyzikalniolympiada.cz/texty/texttz.pdf>
- [26] Tepelný odpor R. TZB-info [online]. [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci/312-tepelny-odpor-r>
- [27] Součinitel prostupu tepla. TZB-info [online]. [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci/315-soucinitel-prostupu-tepla>
- [28] MIKAN, Jaroslav. Měření plynu. Říčany u Prahy: GAS, 2003. ISBN 80-732-8053-1.
- [29] Vlhkoměry. Vyvoj.hw.cz [online]. [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/vlhkomery.html-0>
- [30] Vlhkost vzduchu a její měření. TZB-info [online]. [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/teorie-a-vypocty-vetrani-klimatizace/3137-vlhkost-vzduchu-a-jeji-mereni>
- [31] 4. Vlhkost vzduchu. Cit.vfu.cz [online]. [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: <https://cit.vfu.cz/mikroklima/www/4%20Vlhkost.htm>
- [32] Teplota a její měření. FYZIKA 007 [online]. [cit. 2019-01-09]. Dostupné z: <http://www.fyzika007.cz/molekulova-fyzika-a-termika/teplota-a-jeji-mereni>
- [33] SR2 Network Receiver. Hanwell [online]. [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: <https://hanwell.com/shop/hanwell-pro/sr2-network-receiver/>
- [34] Hanwell Pro Repeater. Hanwell [online]. [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: <https://hanwell.com/shop/hanwell-pro/hanwell-pro-repeater-receiver/>

- [35] RL4109 transmitter. Hanwell [online]. [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: <https://hanwell.com/shop/hanwell-pro/rl4109-transmitter/>
- [36] RL4106 Temperature and Humidity Radio Transmitter. Hanwell [online]. [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: <https://hanwell.com/shop/hanwell-pro/rl4106-wireless-temperature-and-humidity-sensor/>
- [37] RL4114 Temperature and Humidity Radio Transmitter. Hanwell [online]. [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: <https://hanwell.com/shop/hanwell-pro/rl4114-temperature-humidity-monitoring-system/>
- [38] Introduction. Elements: User Guide [online]. [cit. 2019-01-09]. Dostupné z: <file:///D:/programy/Elements/htmldocs/user-guide/index.html>
- [39] ENERGIE VYTÁPĚNÍ STAVBA BYDLENÍ DOTACE A ÚSPORY BIO TECHNOLOGIE KATALOG Solární ohřev vody – který systém je výhodnější?. Nazeleno.cz [online]. [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: https://www.nazeleno.cz/energie/solarni-energie/chap_4047/solarni-ohrev-vody-ktery-system-je-vyhodnejsi.aspx/2/
- [40] Jak na fotovoltaiku: Jaká jsou PRO a PROTI solárních panelů?. Elektrina.cz [online]. [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/solarni-panely-pro-a-proti>
- [41] The BREEAM In-Use rating system. In: LONGEVITY Partners [online]. [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: <http://www.longevity.fr/news-press/2018/06/alain-kilajian>
- [42] Evaluation and awards. In: DGNB System [online]. [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: https://www.dgnb-system.de/en/system/evaluation_and_awards/index.php
- [43] A RANGE OF CERTIFIKATION. In: Pactive Sustainable Solutions [online]. [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: <http://www.pactivesolutions.com/services/leed-audit-and-certification/>
- [44] Vlasový vlhkoměr. Wikipedie [online]. [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Vlhkoměr#/media/File:Haar-Hygrometer.jpg>
- [45] SYH-2RS. In: TME Electronic Components [online]. [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/cz/details/syh-2rs/cidla-vlhkosti/>
- [46] Kapacitní polymerové čidlo vlhkosti. In: PŮHY.CZ [online]. [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: <https://www.puhy.cz/kapacitni-polymerove-cidlo-vlhkosti-b-b-thermo-technik-kfs33-lc-0-100-r-7783.html>
- [47] Assmanův psychrometr. In: Cit.vfu.cz [online]. [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: <https://cit.vfu.cz/biochemie/biofyz12/vlhkost.html>
- [48] Psychrometr. In: Počasí [online]. [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: <http://aaapocasi.cz/co-je-vlhkost-vzduchu-a-jak-se-meri/>

Seznam obrázků

Obrázek 1 Klasifikační třídy energetické náročnosti budovy [10].....	17
Obrázek 2 Grafické znázornění průkazu [10].....	18
Obrázek 3 Hodnocení BREEAM [41].....	19
Obrázek 4 Hodnocení DGNB [42]	20
Obrázek 5 Hodnocení LEED [43]	20
Obrázek 6 Hodnocení SBTToolCZ [16]	21
Obrázek 7 Ukázka programu BSim.....	25
Obrázek 8 Ukázka programu DesignBuilder.....	27
Obrázek 9 Ukázka programu ESP-r.....	28
Obrázek 10 Ukázka programu TRNSYS.....	29
Obrázek 11 Dilatační hygroskop [44].....	34
Obrázek 12 Odporové čidlo vlhkosti [45]	35
Obrázek 13 Kapacitní čidlo vlhkosti [46].....	36
Obrázek 15 Augustův psychrometr [48].....	38
Obrázek 14 Assmannův psychrometr [47]	38
Obrázek 16 Jednotka sr-2 [33].....	41
Obrázek 17 Repeater REP01PU [34].....	42
Obrázek 18 Trasmitter RL4109 [35]	43
Obrázek 19 Snímač EE07-02 [35].....	44
Obrázek 20 Přesnost snímače EE07 [35].....	44
Obrázek 21 Diagram přesnosti teploty pro sondu EE07.....	45
Obrázek 22 Rádio-telemetrický snímač RL4116-434.600 [37].....	45
Obrázek 23 Rádio-telemetrický snímač RL4106-434.600 [36].....	45
Obrázek 24 Schématické umístění a zapojení čidel.....	46
Obrázek 25 Ukázka umístění čidel a zobrazení hodnot v programu RadioLog	47
Obrázek 26 Umístění čidla - Kavárna.....	52
Obrázek 27 Umístění čidla - Bazén	52
Obrázek 33 Umístění čidla - Rašelinové zábaly - místnost č. 4	53
Obrázek 32 Umístění čidla - Rašelinové zábaly - chodba	53
Obrázek 31 Umístění čidla - Vodoléčba.....	53
Obrázek 30 Umístění čidla - Uhličitě lázně - chodba	53
Obrázek 28 Umístění čidla - Uhličitě lázně - místnost č. 3	53

Obrázek 29 Umístění čidla - Uhlíčitě lázně - místnost č. 10	53
Obrázek 34 Umístění čidla - Exteriér	54
Obrázek 35 Průběh ročních teplot v programu Elements	55
Obrázek 36 Umístění objektu Letní lázně	57
Obrázek 37 Zadní pohled Letní lázně.....	58
Obrázek 38 Čelní pohled na objekt Letní lázně.....	58
Obrázek 39 Schéma provozu	58
Obrázek 40 Ukázka modelu v programu DesignBuilder.....	68
Obrázek 41 Ukázka vizualizace v programu DesignBuilder.....	68
Obrázek 42 Provozní schéma vytápění.....	70
Obrázek 43 Zónování objektu podle způsobu vytápění.....	72
Obrázek 44 Ukázka grafického zobrazení DesignBuilder - stávající stav.....	74
Obrázek 45 Ukázka grafického zobrazení DesignBuilder - nastavení teplot podle normy	76
Obrázek 46 Ukázka grafického zobrazení DesignBuilder - bez nočních útlumů.....	77
Obrázek 47 Ukázka grafického zobrazení DesignBuilder - částečné zateplení objektu	78
Obrázek 48 Ukázka grafického zobrazení DesignBuilder - výměna oken a dveří.....	79
Obrázek 49 Ukázka grafického zobrazení DesignBuilder - výměna oken + zateplení ..	81
Obrázek 50 Ukázka grafického zobrazení DesignBuilder - výměna oken + zateplení + normové teploty	82

Seznam grafů

Graf 1 Zobrazení teploty a vlhkosti - Bazén.....	48
Graf 2 Zobrazení teploty a vlhkosti - Kavárna	48
Graf 3 Zobrazení teploty a vlhkosti - Uhličité lázně - místnost č. 3.....	49
Graf 4 Zobrazení teploty a vlhkosti - Uhličité lázně - místnost č. 10.....	49
Graf 5 Zobrazení teploty a vlhkosti - Uhličité lázně - chodba.....	50
Graf 6 Zobrazení teploty a vlhkosti - Vodoléčba	50
Graf 7 Zobrazení teploty a vlhkosti - Rašelinové zábaly - místnost č. 4.....	51
Graf 8 Zobrazení teploty a vlhkosti - Rašelinové zábaly - chodba.....	51
Graf 9 Zobrazení teploty a vlhkosti - Venkovní čidlo	52
Graf 10 Měsíční množství spotřebovaného tepla	73
Graf 11 Spotřeby energie v jednotlivých měsících.....	84
Graf 12 Celková spotřeba energie podle druhu úpravy	84

Seznam tabulek

Tabulka 1 Nastavené teploty.....	63
Tabulka 2 Průměrné teploty.....	63
Tabulka 3 Množství spotřebovaného tepla	73
Tabulka 4 Spotřeba tepla - úprava teplot	75
Tabulka 5 Spotřeba tepla - bez nočního útlumu	76
Tabulka 6 Spotřeba tepla - částečné zateplení	77
Tabulka 7 Spotřeba tepla - výměna oken a dveří.....	79
Tabulka 8 Spotřeba tepla - výměna oken a dveří + zateplení.....	80
Tabulka 9 Spotřeba tepla - výměna oken a dveří + zateplení + vytápění dle normy	81
Tabulka 10 Srovnání měsíčních spotřeb tepla	83
Tabulka 11 Srovnání hodnocení ekonomické efektivity investic	85

Seznam použitých zkratek a symbolů

AdMas	Advanced Materials, Structures and Technologies
ČSN	Česká technická norma
ČVUT	České vysoké učení technické
EHB	Enviromentální hodnocení budov
EN	Evropská norma
ENB	energetická náročnost budov
EP	energetický posudek
ES	Evropská směrnice
EU	Evropská unie
FAST	Fakulta stavební
GPS	Global Positioning System
ISO	International Organization for Standardization
PENB	průkaz energetické náročnosti budov
RH	Relative Humidity
Sb.	Sbírky
TAČR	Technologická agentura České republiky
TČ	tepelné čerpadlo
TNI	Technická normalizační informace
TZB	technické zařízení budov
VUT	Vysoké učení technické
VZT	vzduchotechnika

Seznam příloh

P.1 Výkresová část

P.1.1 PŮDORYS 1.NP

P.1.2 ŘEZ A-A, ŘEZ B-B

P.2 Skladby konstrukcí

P.2.1 Střešní konstrukce

P.2.2 Obvodové konstrukce

P.2.3 Vnitřní konstrukce

P.2.4 Podlahy

P.2.5 Stropní konstrukce

P.3 Naměřená experimentální data

P.3.1 Bazén

P.3.2 Kavárna

P.3.3 Uhlíčitě lázně – místnost č. 3

P.3.4 Uhlíčitě lázně – místnost č. 10

P.3.5 Uhlíčitě lázně - chodba

P.3.6 Vodoléčba

P.3.7 Rašelinové zábaly – místnost č. 4

P.3.8 Rašelinové zábaly - chodba

P.3.8 Venkovní čidlo