



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
Fakulta stavební  
Katedra technických zařízení budov

Bakalářská práce

**Srovnávací studie pro TZB systémy  
v BIMu**

**Comparative anylysis of building  
services in BIM**

Lukáš Hovorka

Praha 2016





ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební  
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Hovorka	Jméno: Lukáš	Osobní číslo: 396427
Zadávací katedra: K125		
Studijní program: SI		
Studijní obor: C		

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Srovnávací studie pro TZB systémy v BIMu

Název bakalářské práce anglicky: Comparative analysis of building services systems in BIM

Pokyny pro vypracování:  
Předmětem projektu bakalářské práce budou rozvody TZB ve vile Tugendhat v Brně pomocí BIM. Hlavní důraz ze systémů TZB bude kladen na vytápění a vzduchotechniku, které budou zpracované ve formě 3D modelu + 2D výstupní výkresy. Rozsah projektu bude pro stavební povolení v rámci studie objektu.

Součástí prohlubující práce projektu bude porovnání rozdílů mezi 3D projektováním metodou BIM a klasickou 2D projektovou dokumentací.

Seznam doporučené literatury:

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Roman Musil

Datum zadání: [redacted] 6 Termín odevzdání bakalářské práce: 20.5.2016

Podpis vedoucího práce [redacted] y

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.*

3.3. 2016  
Datum převzetí zadání

[redacted]  
Podpis studenta(ky)

**Poděkování:**

Děkuji Ing. Romanu Musilovi, Ph.D. za vedení bakalářské práce. Další dík patří společnosti BIMware Robobat Polska Sp. z o.o. za ochotu a poskytnutí licence na jejich produkt *REX Heat Load*.

Bakalářská práce

**Srovnávací studie pro TZB systémy  
v BIMu**

**Comparative anylysis of building  
services in BIM**

Lukáš Hovorka

**Název práce:** Srovnávací studie pro TZB systémy v BIMu

**Autor:** Lukáš Hovorka

**Studijní program:** Stavební inženýrství

**Studijní obor:** Konstrukce pozemních staveb

**Katedra:** Katedra technických zařízení budov

**Vedoucí bakalářské práce:** Ing. Roman Musil, Ph.D.

**E-mail vedoucího bakalářské práce:** [roman.musil@fsv.cvut.cz](mailto:roman.musil@fsv.cvut.cz)

**Abstrakt:** Bakalářská práce se zabývá výpočty tepelných ztrát, návrhem vytápění a vzduchotechniky pomocí nástrojů BIM. Jako vzorový objekt bude použit model vily Tugendhat, pro kterou bude návrh proveden. Součástí práce je seznámení s problematikou výpočtu tepelných ztrát včetně podrobného rozboru a definice základních pojmů. Výstupy z tepelných výpočtů jsou použity pro následný návrh vytápění a vzduchotechniky. Cílem práce je poukázání na vhodnost použití BIM nástrojů i pro českou legislativu.

**Klíčová slova:** BIM, výpočet tepelných ztrát, vytápění a vzduchotechnika, česká legislativa

---

**Title:** Comparative analysis of building services in BIM

**Author:** Lucas Hovorka

**The study program** Civil Engineering

**The branch of study:** Building Structures

**Department:** Department of Microenvironmental and Building Services Engineering

**Supervisor:** Ing. Roman Musil, Ph.D.

**Supervisor's e-mail address:** [roman.musil@fsv.cvut.cz](mailto:roman.musil@fsv.cvut.cz)

**Abstract:** The bachelor's thesis deals with heat loss calculation, design heating and air conditioning using BIM tools. As a model building will be used Tugendhat villa, for which the design will be made. The part of this work is an introduction to the heat loss calculating, including a detailed analysis and definitions of basic terms. The outputs from the thermal calculations are used for the subsequent design of heating and air conditioning. The work is pointing to the appropriateness of using BIM tools for czech legislation.

**Keywords:** BIM, heat loss calculation, heating and air conditioning, czech legislation

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady uvedené v příloženém seznamu.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 22. května 2016

.....

Podpis

# Obsah

Úvod.....	11
1 Celková návrhová tepelná ztráta vytápěného prostoru dle ČSN EN 12831 .....	12
1.1 Návrhová tepelná ztráta prostupem tepla.....	12
1.1.1 Tepelné ztráty přímo do venkovního prostředí – součinitel tepelné ztráty $H_{T,ie}$ .....	13
1.1.2 Tepelné ztráty nevytápěným prostorem – součinitel tepelné ztráty $H_{T,iue}$ .....	14
1.1.3 Tepelné ztráty do přilehlé zeminy - součinitel tepelné ztráty $H_{T,ig}$ .....	15
1.1.4 Tepelné ztráty do nebo z vytápěných prostorů při různých teplotách - součinitel tepelné ztráty $H_{T,ij}$ .....	22
1.2 Návrhová tepelná ztráta větráním .....	22
1.2.1 Hygienické množství vzduchu $\check{V}_{min,i}$ .....	25
1.2.2 Infiltrace obvodovým pláštěm budovy- množství vzduchu $\check{V}_{inf,i}$ .....	25
1.2.3 Množství vzduchu při užití větracích soustav.....	26
1.3 Prostory s přerušovaným vytápěním.....	27
1.4 Návrhový tepelný výkon.....	28
1.4.1 Postup výpočtu tepelného výkonu pro vytápěný prostor.....	28
1.4.2 Postup výpočtu tepelného výkonu pro funkční část budovy nebo budovu... ..	29
2 Výpočet návrhových tepelných ztrát objektu .....	31
2.1 Obecný popis výpočtu .....	31
2.1.1 Popis vily Tugendhat .....	31
2.1.2 Výkresová dokumentace.....	32
2.1.3 Výpočty.....	32
2.2 Půdorysy budovy .....	33
2.3 Výpočet dle ČSN EN 12831 .....	36
2.3.1 Tepelné ztráty místnosti prostupem tepla .....	40



2.3.2	Tepelné ztráty větráním .....	42
2.3.3	Zátopový tepelný výkon .....	42
2.3.4	Celkový tepelný výkon .....	42
2.4	Výpočet dle <i>REX Heat Load</i> .....	44
2.4.1	Popis.....	44
2.4.2	Rozbor výpočtu.....	44
2.5	Porovnání s výchozím nástrojem <i>Revitu</i> .....	54
2.5.1	Protokol výpočtu ukázkové místnosti.....	55
2.6	Shrnutí.....	57
2.6.1	ČSN EN 12831 prostřednictvím <i>REX Heat Load</i> .....	57
2.6.2	ANSI /ASHRAE prostřednictvím výchozího nástroje <i>Revitu</i> .....	57
2.6.3	Porovnání výsledků.....	57
2.6.4	Závěr .....	58
3	Návrh otopných ploch.....	59
3.1	Tepelně technické parametry .....	59
3.2	Montáž .....	60
3.3	Rozvodné potrubí.....	61
3.4	Návrh otopných těles pro teplotní spád 75/65 .....	61
4	Větrání hlavní obytné místnosti.....	63
4.1	Chlazení v letních měsících .....	63
4.2	Teplovzdušné vytápění hlavní obytné části v zimních měsících.....	63
4.2.1	Potřebné množství vzduchu na pokrytí tepelných ztrát .....	64
4.2.2	Výkon nutný pro ohřev vzduchu na teplotu $t_p$ .....	64
4.2.3	Výpočet dle ČSN EN 12831 .....	65
5	Závěr .....	67
6	Seznam použitých veličin .....	68
7	Použité zdroje .....	69

8	Přílohy.....	70
A.	Tabulkové hodnoty potřebné pro výpočty <sup>[1]</sup> .....	70
B.	Výpočty tepelných ztrát.....	80
C.	Výkresová dokumentace.....	98

## Úvod

*„Building Information Modeling (BIM, informační model budovy) je moderní, inteligentní proces pro tvorbu a správu projektů založený na modelu. Usnadňuje výměnu informací v rámci procesu návrhu projektu, výstavby a používání budovy. Umožňuje tvořit a spravovat projekty pozemních a inženýrských staveb infrastruktury rychleji, ekonomičtěji a s nižším dopadem na životní prostředí. BIM software nabízí široké portfolio řešení pro návrh, vizualizace, simulace a spolupráci vycházející z obsahově bohatých informací inteligentního modelu. Umožňuje tak lepší, informovanější rozhodování a boří překážky v procesech stavebnictví. Mezi hlavní výhody patří: zvýšení produktivity práce, úspora času, eliminace chyb, kontrola nad celým projektem vyšší konkurenceschopnost, vyšší ziskovost projektů.“*

Takto popisuje problematiku BIMu portál [cadstudio.cz](http://cadstudio.cz) a myslím, že je více než jasné, jaká síla se v BIM nástrojích nachází.

Práce se zaměřuje na užití BIM nástrojů pro TZB profese, zkoumá, analyzuje a mapuje, jakým způsobem může být využito těchto nástrojů v praxi. Popisuje metodiku postupu při řešení vytápění a vzduchotechniky malého rozsahu, tak, aby byl návrh v souladu se zvyklostmi navrhování dle českých norem.

Velikou částí práce je pak zejména výpočet tepelných ztrát, který je proveden přímo v BIM softwaru – *Revitu 2016* společnosti *Autodesk*. Program v původní verzi nectí metodiku tepelných výpočtů dle platných norem v České republice, ale počítá na základě norem ANSI/ASHRAE vyvíjenými Spojenými státy americkými, jinak počítá i např. se součiniteli prostupu tepla, s definicí vnitřního objemu atd. Z tohoto důvodu byl základní program rozšířen o doplněk *REX Heat Load* společnosti *Robobat Polska*. Tento doplněk je plně kompatibilní s českou normou ČSN EN 12831 a lze jej tedy užít pro výpočet tepelných ztrát resp. výkonu a následnému návrhu otopných ploch a větrání. Oba tyto postupy budou porovnány a vyhodnoceny.

# 1 Celková návrhová tepelná ztráta vytápěného prostoru dle ČSN EN 12831<sup>1</sup>

Celková návrhová tepelná ztráta vytápěného prostoru (i),  $\Phi_i$  se vypočítá z rovnice:

$$\phi_i = \phi_{T,i} + \phi_{V,i} \quad (\text{W}) \quad (1)$$

kde:

$\Phi_{T,i}$  je návrh. tepelná ztráta prostupem tepla vytápěného prostoru (i) ve wattech (W);

$\Phi_{V,i}$  je návrh. tepelná ztráta větráním vytápěného prostoru (i) ve wattech (W).

## 1.1 Návrhová tepelná ztráta prostupem tepla

Návrhová tepelná ztráta prostupem tepla  $\Phi_{T,i}$  se pro vytápěný prostor (i) vypočítá z rovnice:

$$\phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad (\text{W}) \quad (2)$$

kde:

$H_{T,ie}$  je součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru (i) do venkovního prostředí (e) pláštěm budovy ve wattech na Kelvin (W/K);

$H_{T,iue}$  je součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru (i) do venkovního prostředí (e) nevytápěným prostorem (u) ve wattech na Kelvin (W/K);

$H_{T,ig}$  je součinitel tepelné ztráty prostupem do zeminy z vytápěného prostoru (i) do zeminy (g) v ustáleném stavu ve wattech na Kelvin (W/K);

$H_{T,ij}$  je součinitel tepelné ztráty z vytápěného prostoru (i) do sousedního prostoru U) vytápěného na výrazně jinou teplotu, např. sousedící místnost uvnitř funkční části budovy nebo vytápěný prostor sousední funkční části budovy ve wattech na Kelvin (W/K);

$\theta_{int,i}$  výpočtová vnitřní teplota vytápěného prostoru (i) ve stupních Celsia (°C);

$\theta_e$  výpočtová venkovní teplota ve stupních Celsia (°C).

---

<sup>1</sup> Výtah z normy ČSN EN 12831

### 1.1.1 Tepelné ztráty přímo do venkovního prostředí – součinitel tepelné ztráty

$$H_{T,ie}^2$$

Součinitel tepelné ztráty z vytápěného (i) do vnějšího (e) prostředí  $H_{T,ie}$  zahrnuje všechny stavební části a lineární tepelné mosty, které oddělují vytápěný prostor od venkovního prostředí, jako jsou stěny, podlaha, strop, dveře, okna.  $H_{T,ie}$  se vypočítá z rovnice:

$$H_{T,ie} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot e_k + \sum_l \psi_l \cdot l_l \cdot e_l \quad (\text{W/K}) \quad (3)$$

kde:

$A_k$  je plocha stavební části (k) v metrech čtverečních (m<sup>2</sup>);

$e_k, e_l$  je korekční činitel vystavení povětrnostním vlivům při uvažování klimatických vlivů jako je různé oslunění, pohlcování vlhkosti stavebními díly, rychlost větru a teplota, pokud tyto vlivy nebyly uvažovány při stanovení U-hodnot (EN ISO 6946). Základní hodnota pro korekční činitele  $e_k$  a  $e_l$  je 1,0.

$U_k$  je součinitel prostupu tepla stavební části (k) ve wattech na metr čtvereční a Kelvin (W/m<sup>2</sup>·K), vypočtené podle:

- EN ISO 6946 (pro neprůsvitné části);
- EN ISO 10077-1 (pro dveře a okna);
- nebo z údajů uvedených v Evropských technických schváleních;

$l_l$  délka lineárních tepelných mostů (l) mezi Vnitřním a venkovním prostředím v metrech (m);

$\psi_l$  činitel lineárního prostupu tepla lineárního tepelného mostu (l) ve wattech na metr a Kelvin (W/m·K)  $\psi_l$  se stanoví jedním ze dvou dále uvedených postupů:

- pro hrubé stanovení se užijí tabelární hodnoty uvedené v EN ISO 14683;
- nebo se vypočtou podle EN ISO 10211-2.

Tabelární hodnoty  $\psi_l$  v EN ISO 14683 jsou stanoveny pro výpočtový postup uvažující celou budovu a ne pro postup výpočtu místnost po místnosti. Poměrné rozdělení hodnoty  $\psi_l$  mezi místnostmi provede projektant.

---

<sup>2</sup> NÁRODNÍ POZNÁMKA Poměrné rozdělení hodnot  $\psi_l$  mezi místnostmi a korekční činitele  $\Delta U_{tb}$  se stanoví podle přílohy B v ČSN 73 0540-4. Stanovení korekčních činitelů  $\Delta U_{tb}$  podle přílohy A, které nezohledňuje tepelně technickou kvalitu řešení styků a průniků mezi konstrukcemi, lze použít jen pro bilanční odhady. Při dimenzování otopných soustav pro budovy s nízkou spotřebou energie jsou odhady podle přílohy A zcela nevhodné.

V tomto výpočtu se neuvažují nelineární tepelné mosty.

### Zjednodušená metoda pro stanovení lineárních tepelných ztrát

Dále uvedená zjednodušená metoda se může použít pro výpočet lineárních tepelných ztrát:

$$U_{kc} = U_k + \Delta U_{tb} \quad (\text{W/m}^2 \cdot \text{K}) \quad (4)$$

kde:

$U_{kc}$  je korigovaný součinitel prostupu tepla stavební části (k), který zahrnuje lineární tepelné mosty ve wattech na metr čtvereční a Kelvin ( $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$ );

$U_k$  je součinitel prostupu tepla stavební části (k) ve wattech na metr čtvereční a Kelvin ( $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$ );

$\Delta U_{tb}$  je korekční součinitel ve wattech na metr čtvereční a Kelvin ( $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$ ), závisující na druhu stavební části. Základní údaje uvádí kapitola A. v příloze.

#### 1.1.2 Tepelné ztráty nevytápěným prostorem – součinitel tepelné ztráty $H_{T,iue}$

Je-li mezi vytápěným prostorem a venkovním prostředím (e) nevytápěný prostor (u), návrhový součinitel tepelné ztráty prostupem tepla  $H_{T,iue}$  z vytápěného prostoru do venkovního prostředí se vypočte:

$$H_{T,iue} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot b_u + \sum_l \psi_l \cdot l_l \cdot b_u \quad (\text{W/K}) \quad (5)$$

kde:

$b_u$  je teplotní redukční činitel zahrnující teplotní rozdíl mezi teplotou nevytápěného prostoru a venkovní návrhové teploty.

Teplotní redukční činitel  $b_u$  se může stanovit jedním z následujících tří postupů:

a) je-li teplota nevytápěného prostoru  $\theta_u$  stanovena nebo navržena podle návrhových podmínek, je  $b_u$ :

$$b_u = \frac{\theta_{\text{int},i} - \theta_u}{\theta_{\text{int},i} - \theta_e} \quad (-) \quad (6)$$

b) je-li  $\theta_u$  neznáma, vypočte se  $b_u$  jako:

$$b_u = \frac{H_{ue}}{H_{iu} + H_{ue}} \quad (-) \quad (7)$$

kde:

$H_{iu}$  je součinitel tepelné ztráty mezi vytápěným prostorem (i) a nevytápěným prostorem (u) ve wattech na Kelvin (W/K), přičemž se zohledňují:

$H_{ue}$  součinitel tepelné ztráty z nevytápěného prostoru (u) do venkovního prostředí (e) ve wattech na Kelvin (W/K), přičemž se zohledňují:

- tepelné ztráty prostupem (do venkovního prostředí a do přilehlé zeminy);
- tepelné ztráty větráním (mezi nevytápěným a venkovním prostředím).

c) redukční činitel  $b_u$  se pro každý případ stanoví v národní příloze k této normě. Neexistují-li národní hodnoty, použijí se základní hodnoty uvedené v příloze A.

### 1.1.3 Tepelné ztráty do přilehlé zeminy - součinitel tepelné ztráty $H_{T,ig}$

Tepelné ztráty podlahami a základovými stěnami a přímým nebo nepřímým stykem s přilehlou zeminou závisí na více činitelích. Zahrnují plochu a obvod podlahové desky, hloubku podzemního podlaží pod úrovní zeminy, tepelné vlastnosti zeminy.

Tato norma stanovuje tepelné ztráty do zeminy výpočtem podle EN ISO 13370:

- podrobným výpočtem;
- nebo zjednodušeným dále popsaným výpočtem.

Hodnota tepelné ztráty prostupem do zeminy v ustáleném stavu  $H_{T,ig}$  z vytápěného prostoru (i) do zeminy (g) se vypočte z rovnice:

$$H_{T,ig} = f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot (\sum_k A_k \cdot U_{equiv,k}) \cdot G_w \quad (\text{W/K}) \quad (8)$$

kde:

$f_{g1}$  je korekční činitel zohledňující vliv ročních změn venkovní teploty. Tato hodnota je určena jako národní. Nejsou-li stanoveny národní hodnoty, použije se základní hodnota  $f_{g1} = 1,45$ ;

$f_{g2}$  je teplotní redukční činitel zohledňující rozdíl mezi roční průměrnou venkovní teplotou a výpočtovou venkovní teplotou, který se stanoví jako:

$$f_{g2} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{m,e}}{\theta_{int,i} - \theta_e} \quad (-) \quad (9)$$

$A_k$  je plocha stavební části (k) které se dotýkají zeminy v metrech čtverečních ( $m^2$ );

$U_{equiv,k}$  je ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavební částí ( $k$ ) ve wattech na metr čtvereční a Kelvin ( $W/m^2 \cdot K$ ), stanovený podle typologie podlahy (viz obrázky Obrázek 2 až Obrázek 5 a tabulky Tabulka 1 až Tabulka 4);

$G_w$  korekční činitel zohledňující vliv spodní vody. Tento vliv se musí uvažovat, je-li vzdálenost mezi předpokládanou vodní hladinou spodní vody a úrovní podlahy podzemního podlaží (podlahové desky) menší než 1 m.

Tento činitel se může vypočítat podle EN ISO 13370 a stanoví se na národní úrovni. Nejsou-li národní hodnoty dostupné, použijí se základní hodnoty  $G_w = 1,00$ , je-li vzdálenost mezi předpokládanou hladinou spodní vody a úrovní základů větší než 1 m nebo  $G_w = 1,15$ , je-li vzdálenost mezi předpokládanou hladinou spodní vody a úrovní základů menší než 1 m.

Obrázek 2 až Obrázek 5 a tabulky Tabulka 1 až Tabulka 4 poskytují hodnoty  $U_{equiv,k}$  pro různé typologie podlah podle EN ISO 13370 v závislosti na  $U$ -hodnotě stavebních částí a charakteristického parametru  $B'$ . V těchto obrázcích a tabulkách se předpokládá hodnota součinitele tepelné vodivosti zeminy  $\lambda_g = 2,0 W/m K$ . Zanedbávají se účinky rohové tepelné izolace.

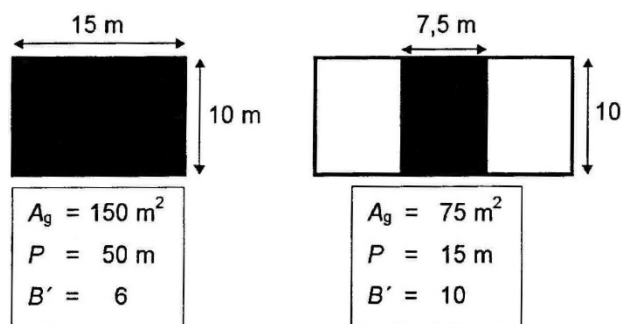
Charakteristický parametr  $B'$  se stanoví (viz Obrázek 1) jako:

$$B' = \frac{A_G}{0,5 \cdot P} \quad (m) \quad (10)$$

$A_G$  je plocha uvažované podlahové konstrukce v metrech čtverečních ( $m^2$ ). Pro budovu se  $A_G$  stanoví jako celková plocha podlahové konstrukce. Pro výpočet části budovy, např. funkční části budovy v řadových domech,  $A_G$  je plocha podlahové konstrukce uvažované části;

$P$  je obvod uvažované podlahové konstrukce v metrech ( $m$ ). Hodnota  $P$  pro budovu je celkový obvod budovy. Hodnota  $P$  pro výpočet části budovy, např. funkční částí budovy v řadových domech, je délka obvodových stěn oddělujících vytápěný prostor uvažované části budovy od venkovního prostředí.





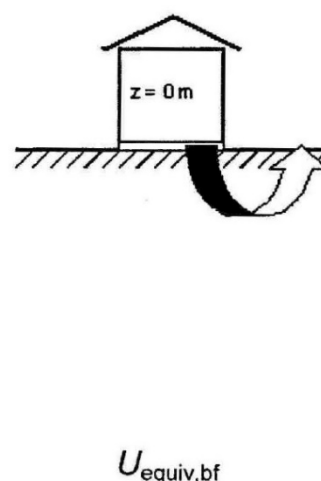
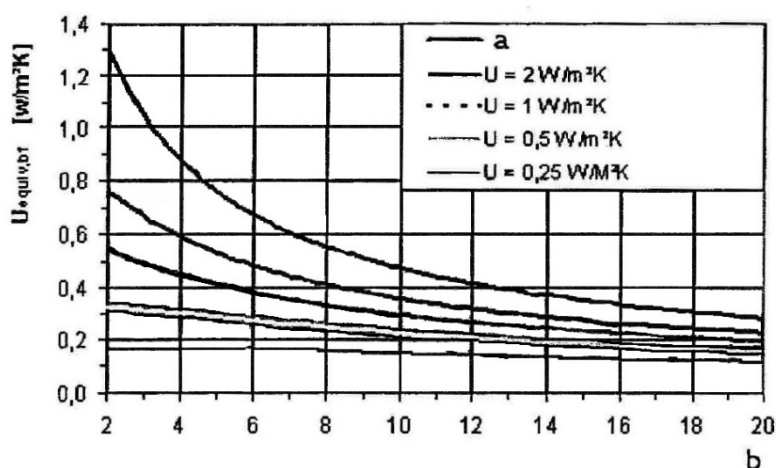
Obrázek 1 - Určení charakteristického parametru  $B'$

V EN ISO 13370 je parametr  $B'$  vypočítán pro celou budovu. Při výpočtu jednotlivých místností metodou místnost po místnosti,  $B'$  se vypočte pro každou místnost jedním z uvedených tří způsobů:

- pro všechny místnosti bez vnějších stěn oddělujících vytápěný prostor od venkovního prostředí se užije  $B'$  vypočtené pro celou budovu;
- pro všechny místnosti s dobře izolovanou podlahou ( $U_{podlahy} < 0,5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ ) se užije-  $B'$  vypočtené pro celou budovu;
- pro všechny ostatní místnosti se vypočítá samostatně  $B'$  metodou místnost po místnosti (tradiční výpočet).

### Podlahová deska na zemině

Ekvivalentní součinitel prostupu tepla podzemním podlažím je na Obrázek 2 a v Tabulka 1. Je funkcí součinitele prostupu tepla podlahy a charakteristického parametru  $B'$



#### Legenda

- a betonová podlaha (tepelně neizolovaná)
- b  $B'$  hodnota (m)

Obrázek 2 -  $U_{equiv,bf}$  – hodnota podzemního podlaží pro podlahovou desku na zemině v závislosti na součiniteli prostupu tepla podlahou a  $B'$  hodnotě

B' – hodnota m	$U_{equiv,bf}$ (pro $z = 0$ m) $W/m^2 \cdot K$				
	bez izolace	$U_{podlahy} = 2,0 W/m^2 \cdot K$	$U_{podlahy} = 1,0 W/m^2 \cdot K$	$U_{podlahy} = 0,5 W/m^2 \cdot K$	$U_{podlahy} = 0,25 W/m^2 \cdot K$
2	1,30	0,77	0,55	0,33	0,17
4	0,88	0,59	0,45	0,30	0,17
6	0,68	0,48	0,38	0,27	0,17
8	0,55	0,41	0,33	0,25	0,16
10	0,47	0,36	0,30	0,23	0,15
12	0,41	0,32	0,27	0,21	0,14
14	0,37	0,29	0,24	0,19	0,14
16	0,33	0,26	0,22	0,18	0,13
18	0,31	0,24	0,21	0,17	0,12
20	0,28	0,22	0,19	0,16	0,12

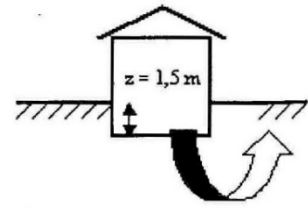
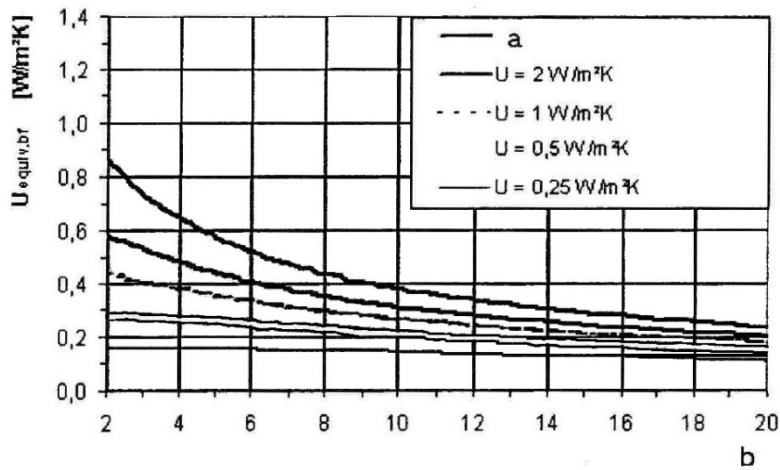
Tabulka 1-  $U_{equiv,bf}$  – hodnota podzemního podlaží pro podlahovou desku na zemině v závislosti na součiniteli prostupu tepla podlahou a B' hodnotě

### Vytápěné podzemní podlaží s podlahovou deskou pod úrovní zemin

Výpočtový princip ekvivalentního součinitele prostupu tepla pro vytápěné podzemní podlaží ležící částečně nebo zcela pod úrovní zemin je podobný výpočtu podlahové desky na zemině, ale zahrnuje dva druhy stavebních částí. Např.  $U_{equiv,br}$  pro podlahové části a  $U_{equiv,bw}$  pro stěnové části.

Ekvivalentní součinitel prostupu tepla pro podlahové části je na Obrázek 3 a Obrázek 4 a v Tabulka 2 Tabulka 3. Je funkcí součinitele prostupu tepla podlahy a charakteristického parametru B'. Ekvivalentní součinitel prostupu tepla pro stěnové části je na Obrázek 5 a v Tabulka 4. Je funkcí součinitele prostupu tepla stěny a hloubky pod úrovní zemin.

Pro vytápěné podzemní podlaží částečně pod úrovní zemin se stanoví přímé tepelné ztráty do venkovního prostředí z částí podzemního podlaží nad úrovní zemin podle 1.1.1. Neuvažují se vlivy zemin a uvažují se pouze ty části budovy, které leží nad úrovní zemin.



$U_{equiv,bf}$

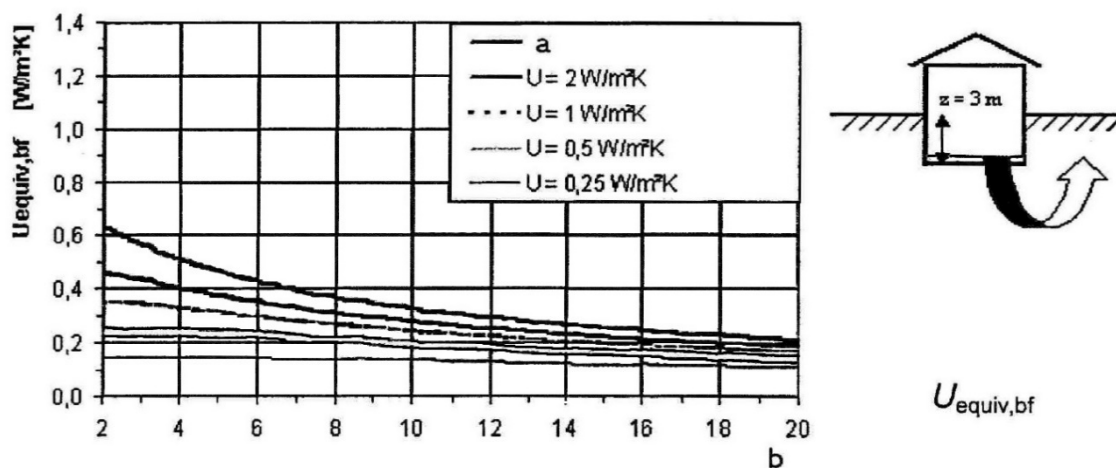
**Legenda**

- a betonová podlaha (tepelně neizolovaná)
- b  $B'$  hodnota (m)

Obrázek 3 -  $U_{equiv,bf}$ - hodnota pro části podlahy vytápěného podzemního podlaží s podlahovou deskou 1,5 m pod úrovní zeminy v závislosti na součiniteli prostupu tepla podlahou a  $B'$  hodnotě

$B'$ – hodnota m	$U_{equiv,bf}$ (pro $z = 1,5$ m) $W/m^2 \cdot K$				
	bez izolace	$U_{podlahy} = 2,0 W/m^2 \cdot K$	$U_{podlahy} = 1,0 W/m^2 \cdot K$	$U_{podlahy} = 0,5 W/m^2 \cdot K$	$U_{podlahy} = 0,25 W/m^2 \cdot K$
2	0,86	0,58	0,44	0,28	0,16
4	0,64	0,48	0,38	0,26	0,16
6	0,52	0,40	0,33	0,25	0,15
8	0,44	0,35	0,29	0,23	0,15
10	0,38	0,31	0,26	0,21	0,14
12	0,34	0,28	0,24	0,19	0,14
14	0,30	0,25	0,22	0,18	0,13
16	0,28	0,23	0,20	0,17	0,12
18	0,25	0,22	0,19	0,16	0,12
20	0,24	0,20	0,18	0,15	0,11

Tabulka 2 -  $U_{equiv,bf}$ - hodnota pro části podlahy vytápěného podzemního podlaží s podlahovou deskou 1,5 m pod úrovní zeminy v závislosti na součiniteli prostupu tepla podlahou a  $B'$  hodnotě



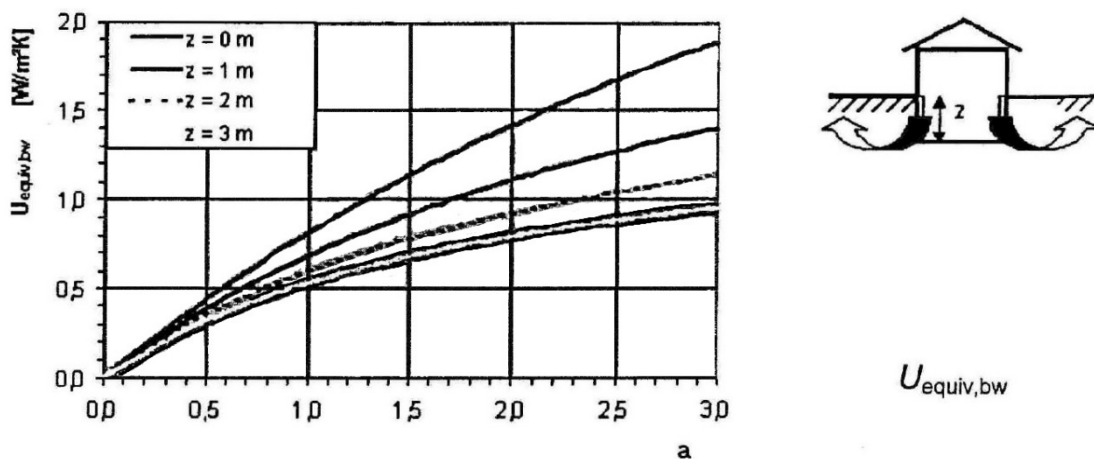
**Legenda**

- a betonová podlaha (tepelně neizolovaná)
- b B' hodnota (m)

Obrázek 4 -  $U_{equiv,bf}$ - hodnota pro části podlahy vytápěného podzemního podlaží s podlahovou deskou 3,0 m pod úrovní zeminy v závislosti na součiniteli prostupu tepla podlahou a B' hodnotě

B' – hodnota m	$U_{equiv,bf}$ (pro $z = 3,0$ m) $W/m^2 \cdot K$				
	bez izolace	$U_{podlahy} = 2,0 W/m^2 \cdot K$	$U_{podlahy} = 1,0 W/m^2 \cdot K$	$U_{podlahy} = 0,5 W/m^2 \cdot K$	$U_{podlahy} = 0,25 W/m^2 \cdot K$
2	0,63	0,46	0,35	0,24	0,14
4	0,51	0,40	0,33	0,24	0,14
6	0,43	0,35	0,29	0,22	0,14
8	0,37	0,31	0,26	0,21	0,14
10	0,32	0,27	0,24	0,19	0,13
12	0,29	0,25	0,22	0,18	0,13
14	0,26	0,23	0,20	0,17	0,12
16	0,24	0,21	0,19	0,16	0,12
18	0,22	0,20	0,18	0,15	0,11
20	0,21	0,18	0,16	0,14	0,11

Tabulka 3 -  $U_{equiv,bf}$ - hodnota pro části podlahy vytápěného podzemního podlaží s podlahovou deskou 3,0 m pod úrovní zeminy v závislosti na součiniteli prostupu tepla podlahou a B' hodnotě



**Legenda**

a U-hodnota stěn ( $W/m^2 \cdot K$ )

Obrázek 5 -  $U_{equiv,bw}$  - hodnota pro částí stěny vytápěného podzemního podlaží v závislosti na součiniteli prostupu tepla podlahou a hloubkou z pod úrovní zeminy

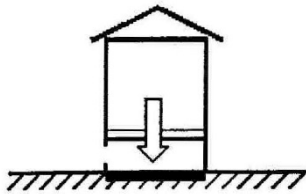
$U_{stěny}$ $W/m^2 \cdot K$	$U_{equiv,bw}$ $W/m^2 \cdot K$			
	z = 0 m	z = 1 m	z = 2 m	z = 3 m
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,50	0,44	0,39	0,35	0,32
0,75	0,63	0,54	0,48	0,43
1,00	0,81	0,68	0,59	0,53
1,25	0,98	0,81	0,69	0,61
1,50	1,14	0,92	0,78	0,68
1,75	1,28	1,02	0,85	0,74
2,00	1,42	1,11	0,92	0,79
2,25	1,55	1,19	0,98	0,84
2,50	1,67	1,27	1,04	0,88
2,75	1,78	1,34	1,09	0,92
3,00	1,89	1,41	1,13	0,96

Tabulka 4 -  $U_{equiv,bw}$  - hodnota pro částí stěny vytápěného podzemního podlaží v závislosti na součiniteli prostupu tepla podlahou a hloubkou z pod úrovní zeminy

**Nevytápěné podzemní podlaží**

Součinitel tepelné ztráty stropní konstrukce (podlahy) oddělující vytápěný prostor od nevytápěného prostoru se vypočte podle 1.1.2. U-hodnota stropní konstrukce se vypočte stejným způsobem jako pro stropní konstrukci bez vlivu zeminy. Např. rovnice 8 (s činiteli  $f_{g1}$ ,  $f_{g2}$  a  $G_w$ ) neplatí.

## Stropní konstrukce nad technickým prostorem



Součinitel tepelné ztráty prostupem stropu nad technickým prostorem se vypočte podle 1.1.2. U-hodnota stropu se vypočte stejným způsobem jako pro strop bez vlivu zeminy. Např. rovnice 8 (s činiteli  $f_{g1}$ ,  $f_{g2}$  a  $G_w$ ) neplatí.

### 1.1.4 Tepelné ztráty do nebo z vytápěných prostorů při různých teplotách - součinitel tepelné ztráty $H_{T,ij}$

$H_{T,ij}$  vyjadřuje tok tepla prostupem z vytápěného prostoru (i) do sousedního vytápěného prostoru (j) vytápěné na výrazně odlišnou teplotu. Může to být sousední místnost uvnitř funkční části budovy (např. koupelna, lékařské ordinace a vyšetřovny) skladové místnosti), místnost patřící do sousední funkční části budovy (např. byt) nebo nevytápěná místnost v sousedící funkční části budovy.  $H_{T,ij}$  se vypočítá:

$$H_{T,ij} = \sum_k f_{i,j} \cdot A_k \cdot U_k \quad (\text{W/K}) \quad (11)$$

kde:

$f_{i,j}$  je redukční teplotní činitel. Činitel koriguje teplotní rozdíl mezi teplotou sousedního prostoru a venkovní výpočtové teploty:

$$f_{i,j} = \frac{\theta_{\text{int},i} - \theta_{\text{vytápěného sousedního prostoru}}}{\theta_{\text{int},i} - \theta_e} \quad (-) \quad (12)$$

Neexistují-li národní hodnoty teploty sousedních vytápěných prostor, užijí se základní hodnoty podle přílohy A. V národní příloze k této normě článek související s přílohou A může obsahovat informaci o účinku svislého teplotního gradientu;

$A_k$  plocha stavební části (k) v metrech čtverečních ( $\text{m}^2$ );

$U_k$  součinitel prostupu tepla stavební části (k) ve wattech na metr čtvereční a Kelvin ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ ).

Účinky tepelných mostů se v tomto výpočtu neuvažují.

## 1.2 Návrhová tepelná ztráta větráním

Návrhová tepelná ztráta větráním  $\Phi_{V,i}$  pro vytápěný prostor (i) se vypočte:

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\theta_{\text{int},i} - \theta_e) \quad (\text{W}) \quad (13)$$

kde:

$H_{V,i}$  je součinitel návrhové tepelné ztráty větráním ve wattech na Kelvin (W/K);

$\theta_{int,i}$  je výpočtová vnitřní teplota vytápěného prostoru (i) ve stupních Celsia (°C);

$\theta_e$  výpočtová venkovní teplota ve stupních Celsia (°C).

Součinitel návrhové tepelné ztráty větráním  $H_{V,i}$ ; vytápěného prostoru (i) se vypočte:

$$H_{V,i} = \tilde{V}_i \cdot \rho \cdot c_p \quad (\text{W/K}) \quad (14)$$

kde:

$\tilde{V}_i$  je výměna vzduchu ve vytápěném prostoru (i) v metrech krychlových za vteřinu ( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$\rho$  je hustota vzduchu při  $\theta_{int,i}$  v kilogramech na metr krychlový ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$c_p$  je měrná tepelná kapacita vzduchu při  $\theta_{int,i}$  v kilojoulech na kilogram a Kelvin ( $\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{K}$ ).

Při předpokladu konstantního  $\rho$  a  $c_p$  se rovnice 14 zjednoduší:

$$H_{V,i} = 0,34 \cdot \tilde{V}_i \quad (\text{W/K}) \quad (15)$$

kde  $\tilde{V}_i$  je nyní vyjádřena v metrech krychlových za hodinu ( $\text{m}^3/\text{h}$ ).

Výpočtový postup pro stanovení výměny vzduchu  $\tilde{V}_i$  závisí na uvažovaném řešení, např. s nebo bez větrací soustavy.

### **Přirozené větrání**

Není-li instalována větrací soustava, předpokládá se, že přiváděný vzduch má tepelné vlastnosti venkovního vzduchu. Tepelná ztráta je úměrná rozdílu teplot vnitřní výpočtové teploty a venkovní teploty.

Hodnota výměny vzduchu vytápěného prostoru (i) pro výpočet návrhového součinitele tepelné ztráty je maximum výměny vzduchu infiltrací  $\tilde{V}_{inf,i}$ , spárami a styky obvodového pláště budovy a minimální výměna vzduchu  $\tilde{V}_{min,i}$  požadovaná z hygienických důvodů.

$$\tilde{V}_i = \max(\tilde{V}_{inf,i}; \tilde{V}_{min,i}) \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (16)$$

kde:

$\tilde{V}_{inf,i}$  je hodnota stanovená podle 1.2.2

$\tilde{V}_{min,i}$  je hodnota stanovená podle 1.2.1

### Nucené větrání

Větrací soustava přivádí vzduch, který nemusí mít tepelné vlastnosti venkovního přiváděného vzduchu, například:

- při použití zařízení pro zpětné využití tepla;
- je-li přiváděný vzduch ústředně předehříván;
- je-li vzduch přiváděný ze sousedních místností.

V těchto případech se použije teplotní redukční činitel zohledňující rozdíl teplot přiváděného vzduchu a výpočtové venkovní teploty.

Rovnice pro stanovení množství přiváděného vzduchu do vytápěné místnosti (i), které se použije pro výpočet návrhového součinitele ztráty tepla větráním, je následující:

$$\tilde{V}_i = \tilde{V}_{inf,i} + \tilde{V}_{su,i} \cdot f_{v,i} + \tilde{V}_{mech,inf,i} \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (17)$$

kde:

$\tilde{V}_{inf,i}$  je množství vzduchu infiltrací ve vytápěné místnosti (i) v metrech krychlových za hodinu ( $\text{m}^3/\text{h}$ );

$\tilde{V}_{su,i}$  množství přiváděného vzduchu do vytápěné místnosti (i) v metrech krychlových ( $\text{m}^3/\text{h}$ );

$\tilde{V}_{mech,inf,i}$  je rozdíl množství mezi nuceně odváděným a přiváděným vzduchem z vytápěné místnosti (i) v metrech krychlových za hodinu ( $\text{m}^3/\text{h}$ ), stanovený podle 1.2.3;

$$f_{v,i} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{su,i}}{\theta_{int,i} - \theta_e} \quad (-) \quad (18)$$

$\theta_{su,i}$  teplota přiváděného vzduchu do vytápěného prostoru (i) (buď z ústřední teplovzdušné soustavy, ze sousedních vytápěných i nevytápěných prostorů, nebo z venkovního prostředí) ve stupních Celsia ( $^{\circ}\text{C}$ ). Při užití zařízení pro zpětné využití tepla se může  $\theta_{su,i}$  vypočítat z účinnosti zařízení pro zpětné využití tepla.  $\theta_{su,i}$  může být vyšší nebo nižší než je vnitřní teplota vzduchu.

$\tilde{V}_i$  musí být stejné nebo vyšší než je minimální množství vzduchu podle 1.2.1

Přesný postup pro stanovení množství vzduchu v budovách udává prEN 13465.



Zjednodušené postupy pro stanovení množství vzduchu jsou v 1.2.2 a 1.2.3

### 1.2.1 Hygienické množství vzduchu $\tilde{V}_{min,i}$

Minimální množství vzduchu se požaduje z hygienických důvodů. Nejsou-li dostupné národní údaje, minimální množství vzduchu  $\tilde{V}_{min,i}$  ve vytápěné místnosti (i) se může stanovit podle:

$$\tilde{V}_{min,i} = n_{min} \cdot V_i \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (19)$$

kde:

$n_{min}$  je minimální intenzita výměny venkovního vzduchu za hodinu ( $\text{h}^{-1}$ );

$V_i$  objem vytápěné místnosti (i) v metrech krychlových ( $\text{m}^3$ ) vypočtený z vnitřních rozměrů.

Minimální intenzita výměny vzduchu se stanoví v národní příloze k této normě nebo ve specifikaci. Nejsou-li dostupné národní hodnoty, základní hodnoty jsou v příloze A. Další údaje o množství vzduchu se mohou obdržet v CR 1752.

Výměny vzduchu uvedené v příloze A vycházejí z vnitřních rozměrů. Použijí-li se při výpočtu vnější rozměry, intenzita výměny vzduchu uvedená v příloze A se vynásobí podílem vnitřního a vnějšího objemu prostoru (přibližná základní hodnota podílu je 0,8).

Vyšší výměny vzduchu zvýšené o spalovací vzduch se užijí u otevřených ohnišť.

### 1.2.2 Infiltrace obvodovým pláštěm budovy- množství vzduchu $\tilde{V}_{inf,i}$

Množství vzduchu infilrací  $\tilde{V}_{inf,i}$  vytápěného prostoru (i), způsobené větrem a účinkem vztlačky na plášť budovy, se může vypočítat podle:

$$\tilde{V}_{inf,i} = 2 \cdot V_i \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot \varepsilon_i \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (20)$$

kde:

$n_{50}$  je intenzita výměny vzduchu za hodinu ( $\text{h}^{-1}$ ) při rozdílu tlaků 50 Pa mezi vnitřkem a vnějškem budovy a zahrnující účinky přívodů vzduchu;

$e_i$  je stínící činitel;

$\varepsilon_i$  výškový korekční činitel, který zohledňuje zvýšení rychlosti proudění vzduchu s výškou prostoru nad povrchem země.

V rovnici (20) je zaveden činitel 2, protože hodnota  $n_{50}$  je dána pro celou budovu. Výpočet musí uvažovat nejhorší případ, kdy všechen infiltrovaný vzduch vstupuje na jedné straně budovy.

Hodnota  $\tilde{V}_{inf,i}$  musí být rovna nebo větší než 0.

Hodnoty pro  $n_{50}$  se uvedou v národní příloze k této normě. Jestliže není dostupná národní příloha, základní hodnoty pro různé druhy stavební konstrukce jsou v příloze A.

Hodnoty pro stínící součinitel a výškový korekční činitel se uvedou v národní příloze k této normě. Jestliže není dostupná národní příloha, základní hodnoty pro různé druhy stavební konstrukce jsou v příloze A.

### 1.2.3 Množství vzduchu při užití větracích soustav

#### Přiváděné množství vzduchu $\tilde{V}_{su,i}$

Nejsou-li známé údaje o větrací soustavě, tepelná ztráta větráním se vypočte pro řešení s přirozeným větráním.

Jsou-li známé údaje o větrací soustavě, přiváděné množství vzduchu do vytápěné místnosti (i)  $\tilde{V}_{su,i}$  stanoví při návrhu větrací soustavy projektant vzduchotechniky.

Je-li vzduch přiváděný ze sousední(ch) místnosti(i), má tepelné vlastnosti vzduchu této (těchto) místnosti(i). Je-li vzduch přivádění potrubím, je obvykle predehřátý. V obou případech se určí rozvod vzduchu a odpovídající množství vzduchu se stanoví pro uvažované místnosti.

#### Rozdíl množství nuceně odváděného a přiváděného vzduchu $\tilde{V}_{mech,inf,i}$

Rozdíl množství nuceně odváděného a přiváděného vzduchu je vyrovnáván venkovním vzduchem přiváděným obvodovým pláštěm budovy.

Není-li toto množství vzduchu stanoveno jiným způsobem, může být vypočteno pro celou budovu ze vztahu:

$$\tilde{V}_{mech,inf} = \max(\tilde{V}_{ex} - \tilde{V}_{su}, 0) \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (21)$$

kde:

$\tilde{V}_{ex}$  je množství odváděného vzduchu soustavou pro celou budovu v metrech krychlových za hodinu ( $\text{m}^3/\text{h}$ );

$\tilde{V}_{su}$  množství přiváděného vzduchu soustavou pro celou budovu v metrech krychlových za hodinu ( $\text{m}^3/\text{h}$ ).

V budovách pro bydlení je množství přiváděného vzduchu pro celou budovu většinou rovno 0.

$\tilde{V}_{mech,inf}$  se nejprve stanoví pro celou budovu. Následně se rozdělí množství venkovního vzduchu do každého prostoru podle průvzdušnosti<sup>3</sup> každého prostoru v poměru k průvzdušnosti celé budovy. Nejsou-li dostupné hodnoty průvzdušnosti, rozdělení venkovního množství vzduchu se může spočítat jednoduchým způsobem podílem objemů jednotlivých prostorů:

$$\tilde{V}_{mech,inf,i} = \tilde{V}_{mech,inf} \cdot \frac{V_i}{\sum V_i} \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (22)$$

kde  $V_i$  je objem prostoru (i). Tato rovnice se také použije pro určení množství přiváděného vzduchu do každého prostoru je-li známo pouze přiváděné množství vzduchu pro celou budovu.

### 1.3 Prostory s přerušovaným vytápěním

Prostory s přerušovaným vytápěním po útlumu v určeném čase vyžadují zátopový tepelný výkon k dosažení požadované výpočtové vnitřní teploty. Zátopový tepelný výkon závisí na následujících činitelích:

- akumulačních vlastnostech stavebních částí;
- době zátopu;
- teplotním poklesu po dobu útlumu;
- vlastnostech regulačního a řídicího systému.

Zátopový tepelný výkon není vždy nutný, když např.:

- regulační a řídicí systém vypojí útlum vytápění v průběhu nejchladnějších dnů;
- tepelné ztráty (ztráty větráním) mohou být omezeny během útlumu vytápění.

Zátopový tepelný výkon musí být odsouhlasen zákazníkem.

Zátopový tepelný výkon se může podrobně stanovit výpočtem dynamických stavů.

---

<sup>3</sup> Výraz „průvzdušnost“ zohledňuje vzduchovou těsnost obvodového pláště budovy a navržené otvorové výplně v budově.

V následujících případech se může použít zjednodušená výpočtová metoda uvedená níže pro stanovení zátopového tepelného výkonu požadovaného pro zdroj tepla nebo otopná tělesa.

- pro obytné budovy:
  - pro dobu omezení (nočního útlumu) 8 h;
  - pro stavební konstrukci, která není lehká (jako např. dřevěná trémová konstrukce).
- pro nebytové budovy:
  - pro dobu omezení (víkendový útlum) 48 h;
  - pro dobu užití v pracovních dnech nižší než 8 h za den;
  - pro výpočtovou vnitřní teplotu v rozmezí 20 °C až 22 °C.

Pro otopná tělesa s vysokou akumulací je nutno si uvědomit potřebu delší zátopové doby.

### **Zjednodušená metoda pro stanovení tepelného zátopového výkonu**

Zátopový tepelný výkon požadovaný pro nahrazení účinku přerušovaného vytápění  $\Phi_{V,i}$  ve vytápěném prostoru (i) se vypočte:

$$\phi_{RH,i} = A_i + f_{RH} \quad (\text{W}) \quad (23)$$

kde:

$A_i$  je podlahová plocha vytápěného prostoru (i) v metrech čtverečních (m<sup>2</sup>)

$f_{RH}$  je korekční součinitel závisící na době zátopy a předpokládaném poklesu vnitřní teploty v útlumové době, ve wattech na metr čtvereční (W/m<sup>2</sup>). Tento korekční součinitel se uvede v národní příloze k této normě. Není-li dostupná národní příloha, základní hodnoty uvádí příloha A. Tyto základní hodnoty se nepoužijí u akumulčního vytápění.

## **1.4 Návrhový tepelný výkon**

Návrhový tepelný výkon se vypočte pro vytápěný prostor, pro funkční část budovy a pro celou budovu, pro stanovení tepelného výkonu pro dimenzování otopného tělesa, výměníku tepla, zdroje tepla, atd.

### **1.4.1 Postup výpočtu tepelného výkonu pro vytápěný prostor**

Tepelný výkon  $\Phi_{HL,i}$  pro vytápěný prostor (i) se stanoví:

$$\phi_{HL,i} = \phi_{T,i} + \phi_{V,i} + \phi_{RH,i} \quad (\text{W}) \quad (24)$$

kde:

$\Phi_{T,i}$  je tepelná ztráta prostupem tepla vytápěného prostoru (i) ve wattech (W);

$\Phi_{V,i}$  je tepelná ztráta větráním vytápěného prostoru (i) ve wattech (W);

$\Phi_{RH,i}$  je zátopový tepelný výkon požadovaný pro vyrovnání účinků přerušovaného vytápění vytápěného prostoru (i) ve wattech (W)

#### 1.4.2 Postup výpočtu tepelného výkonu pro funkční část budovy nebo budovu

Výpočet tepelného výkonu pro funkční část budovy nebo budovu neuvažuje teplo sdílené prostupem a větráním uvnitř vytápěné obálky a funkční části budovy, např. tepelné ztráty mezi byty.

Tepelný výkon pro funkční část budovy nebo budovu  $\Phi_{HL}$  se stanoví:

$$\phi_{HL} = \sum \phi_{T,i} + \sum \phi_{V,i} + \sum \phi_{RH,i} \quad (\text{W}) \quad (25)$$

kde:

$\sum \Phi_{T,i}$  je suma tepelných ztrát prostupem tepla všech vytápěných prostorů s výjimkou tepla sdíleného uvnitř funkční části budovy nebo budovy ve wattech (W);

$\sum \Phi_{V,i}$  je tepelné ztráty větráním všech vytápěných prostor s výjimkou tepla sdíleného uvnitř funkční části budovy nebo budovy ve wattech (W).

Rovnice (25) v sobě zahrnuje množství vzduchu pro celou budovu. Jelikož množství vzduchu v každém prostoru je stanoveno pro nejhorší případ v každé místnosti, není přiměřené sečíst množství vzduchu všech prostorů, protože nejhorší případ nastane současně pouze v části prostorů. Množství vzduchu pro budovu  $\sum \tilde{V}_i$  se stanoví:

pro přirozené větrání:

$$\sum \tilde{V}_i = \max(0,5 \cdot \sum \tilde{V}_{inf,i}, \sum \tilde{V}_{min,i})$$

pro nucené větrání s větrací soustavou:

$$\sum \tilde{V}_i = 0,5 \cdot \sum \tilde{V}_{inf,i} + (1 - \eta_V) \cdot \sum \tilde{V}_{su,i} + \sum \tilde{V}_{mech,inf,i}$$

kde:

$\eta_v$  je účinnost zařízení pro zpětné využití tepla z odváděného vzduchu. Není-li toto zařízení instalováno, je  $\eta_v = 0$

Pro dimenzování zdroje tepla se užije 24hodinový průměr. Je-li přiváděný vzduch ohříván ohřívací soustavou, požadovaný tepelný výkon se stanoví pro ohřívací soustavu;

$\sum \Phi_{RH,i}$  je součet tepelných zátapových výkonů všech vytápěných prostorů požadujících vyrovnání účinků přerušovaného vytápění ve wattech (W).

## 2 Výpočet návrhových tepelných ztrát objektu

### 2.1 Obecný popis výpočtu

#### 2.1.1 Popis vily Tugendhat

Brněnská funkcionalistická stavba je ojedinělým dílem německého architekta *Ludwiga Miese van der Rohe (1886–1969)*, jednoho z nejvýznamnějších architektů 20. století. V roce 2001 byla vila zapsána do listiny Světového kulturního a přírodního dědictví *UNESCO*.

V prvním podlaží - suterénu jsou užitkové prostory, sloužící s výjimkou fotolaboratoře k hospodářskému a technickému provozu domu. Druhé, hlavní podlaží domu - přízemí sestává ze tří částí: hlavní obytný a společenský prostor se zimní zahradou, druhou část tvoří kuchyně s přípravnou jídel, jídelním výtahem a komorami, s nimiž sousedí třetí část, samostatně přístupné místnosti s příslušenstvím pro služební personál. Třetí podlaží - první patro zahrnuje nevelký, od ulice půlkruhovou stěnou z mléčného skla oddělený, krytý vstup s halou ústící do chodby ke dvěma dětským pokojům, pokoji vychovatelky a společné koupelně s prádelní komorou, na straně k zahradě pak do předsínky pánského a dámského pokoje a koupelny rodičů, před ní do šatny a na protilehlé straně přes další předsínku na terasu, také se zde nachází garáž.

Vila *Tugendhat* je od roku 1994 přístupná veřejnosti jako instalovaná památka moderní architektury. Od roku 2005 je ve vile studijní a dokumentační centrum moderní architektury, které je k dispozici odborníkům, studentům i laické veřejnosti.

#### **Původní technické zařízení vily - vytápění a vzduchotechnika**

V hlavní obytné místnosti za vstupem u přípravy jídel a podél zimní zahrady jsou průduchy pro vytápění horkým vzduchem, které je zprostředkováno systémem vzduchotechniky. Odtah použitého vzduchu z hlavní místnosti je zajištěn průduchem blízko schodiště, odpadní vzduch je následně použit při smísení s čerstvým vzduchem a po přefiltrování a ohřátí je vháněn zpět do obytného prostoru. V ostatních místnostech jsou radiátory.

V létě se odpadní vzduch mísí s čerstvým vzduchem, který projde přes chladicí komoru, kde se vzduch částečně ochladí a zvlhčí, následně je přefiltrovaná směs dopravována zpět do hlavní místnosti. Celý tento systém fungoval jako větrání a jemné chlazení, ale především jako teplovzdušné topení.

### **2.1.2 Výkresová dokumentace**

Půdorysy domu jsou na obrázcích č. Obrázek 6 až Obrázek 8.

### **2.1.3 Výpočty**

Výpočet je proveden podrobným postupem. Základem výpočtu je užití vnějších rozměrů. Základem pro svislé rozměry je vzdálenost od povrchu podlahy (např. tloušťka podlahy podzemního podlaží se neuvažuje). U vnitřních stěn tvoří vodorovné rozměry vzdálenost od středu stěny (např. vnitřní stěny se uvažují polovinou jejich tloušťky). Vzhledem k tomu, že větrací soustava není v této fázi výpočtu známa, bude výpočet tepelných ztrát větráním proveden pro případ pouze přirozeného větrání (otevíratelné otvorové výplně)

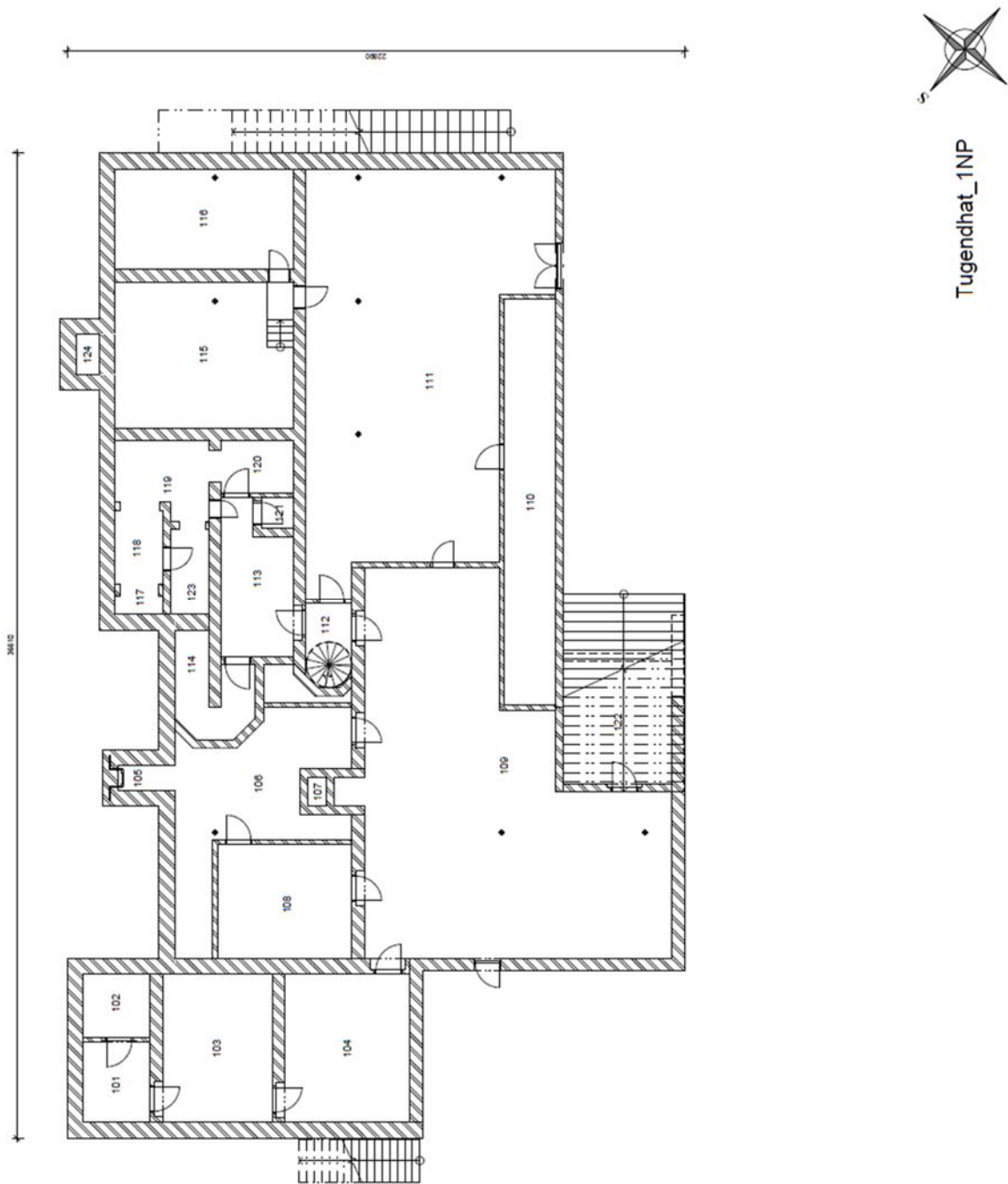
Volba způsobu větrání neovlivňuje výpočet tepelných ztrát prostupem

Výpočet návrhových tepelných ztrát bude pro ukázkou uveden pro jednu místnost, ostatní místnosti se spočítají v *BIM* programu.

Pro zajímavost bude výpočet ukázkové místnosti proveden i s výchozím nástrojem *Revitu* pro stanovení tepelné zátěže.



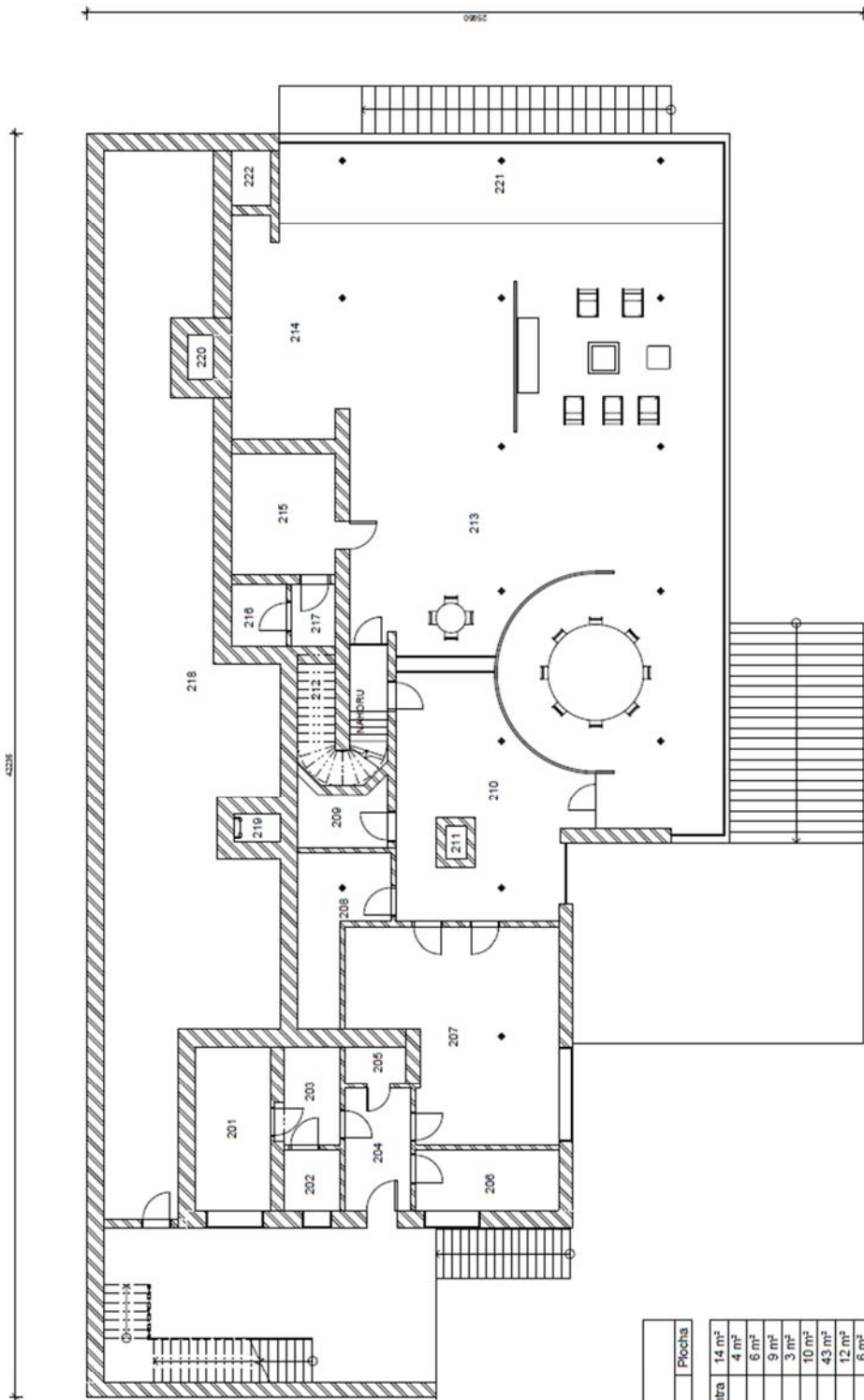
## 2.2 Půdorysy budovy



Tugendhat\_1NP

Výkaz místností 1NP		Plocha
Číslo	Název	
101	sklad instalace	7 m <sup>2</sup>
102	prostorová komora instalace	6 m <sup>2</sup>
103	temná komora instalace	22 m <sup>2</sup>
104	průhledná instalace	26 m <sup>2</sup>
105	výjez do 1. úrovně	2 m <sup>2</sup>
106	sklep instalace	35 m <sup>2</sup>
107	výtah instalace	1 m <sup>2</sup>
108	předstíh	21 m <sup>2</sup>
109	expozice a dokumentační centrum	120 m <sup>2</sup>
110	strojovna oken	28 m <sup>2</sup>
111	expozice a dokumentační centrum	117 m <sup>2</sup>
112	chodba se schodištěm	5 m <sup>2</sup>
113	strojovna vzduchotechniky	14 m <sup>2</sup>
114	prostor pod schodištěm	9 m <sup>2</sup>
115	koléna	36 m <sup>2</sup>
116	sklad	25 m <sup>2</sup>
117	přívod čerstvého vzduchu	2 m <sup>2</sup>
118	ochlazení a vlnění	5 m <sup>2</sup>
119	směšovací komora	10 m <sup>2</sup>
120	vzduchový filtr	6 m <sup>2</sup>
121	ohřev vzduchu	1 m <sup>2</sup>
122	sklad dokumentačního centra	18 m <sup>2</sup>
123	odtán použitého vzduch	5 m <sup>2</sup>
124	výtah instalace	1 m <sup>2</sup>

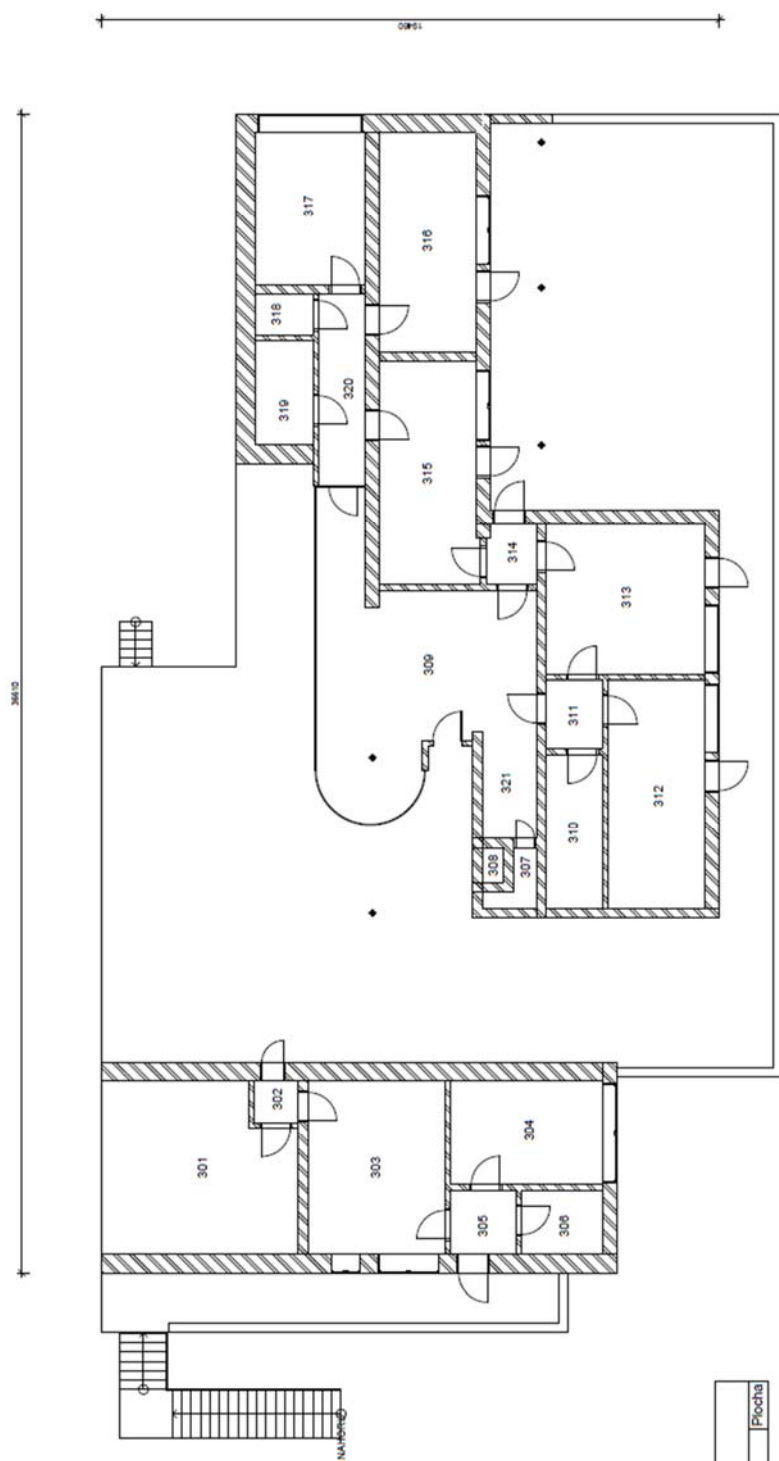
Obrázek 6- Půdorys prvního patra



Tugendhat\_2NP

Výkaz místností 2NP		
Císlo	Název	Plocha
201	kancelář dokumentačního centra	14 m <sup>2</sup>
202	koupelna	4 m <sup>2</sup>
203	předstí se láznou	6 m <sup>2</sup>
204	chodba	9 m <sup>2</sup>
205	komora	3 m <sup>2</sup>
206	cestraha	10 m <sup>2</sup>
207	kuchyně instalace	43 m <sup>2</sup>
208	spíž instalace	12 m <sup>2</sup>
209	příruční sklad	6 m <sup>2</sup>
210	příprava jídel instalace	43 m <sup>2</sup>
211	výtah instalace	1 m <sup>2</sup>
212	schodiště	11 m <sup>2</sup>
213	hlavní obytná místnost instalace	217 m <sup>2</sup>
214	křehovna	27 m <sup>2</sup>
215	promítací místnost	14 m <sup>2</sup>
216	WC instalace	4 m <sup>2</sup>
217	předstíh instalace	3 m <sup>2</sup>
218	vzduchová izolační dutina	142 m <sup>2</sup>
219	výlez z 1. úrovně	1 m <sup>2</sup>
220	výtah instalace	1 m <sup>2</sup>
221	zemi zahrad	40 m <sup>2</sup>
222	bezbarvna instalace	2 m <sup>2</sup>

Obrázek 7 – Půdorys druhého podlaží



Tugendhat\_3NP

Výkaz miestnosti 3NP		
Číslo	Názov	Plocha
301	garáž expozice	32 m <sup>2</sup>
302	predsiň	2 m <sup>2</sup>
303	denní miestnosť prívodcú a prodej vstupenek	24 m <sup>2</sup>
304	kanceliár vedení	16 m <sup>2</sup>
305	predsiň	4 m <sup>2</sup>
306	koupelňa	5 m <sup>2</sup>
307	predsiň	2 m <sup>2</sup>
308	výťah_instalace	1 m <sup>2</sup>
309	hala	45 m <sup>2</sup>
310	koupelňa rodičů_instalace	9 m <sup>2</sup>
311	predsiň_instalace	4 m <sup>2</sup>
312	pokoj pána_instalace	22 m <sup>2</sup>
313	pokoj pani_instalace	24 m <sup>2</sup>
314	predsiň	3 m <sup>2</sup>
315	pokoj hochů_instalace	22 m <sup>2</sup>
316	pokoj slečny_instalace	21 m <sup>2</sup>
317	pokoj vychovatelek_instalace	17 m <sup>2</sup>
318	sklad úklidu	2 m <sup>2</sup>
319	koupelňa dětí_instalace	6 m <sup>2</sup>
320	chodba	9 m <sup>2</sup>
321	šatní kout	6 m <sup>2</sup>

Obrázek 8 – Půdorys třetího podlaží

## 2.3 Výpočet dle ČSN EN 12831

Výpočet je proveden podle vzorců uvedených v kapitole 1. Hodnoty venkovní a vnitřní výpočtové teploty, průměrné roční venkovní teploty a hodnoty teplotních korekčních činitelů jsou stanoveny dle tabulek, viz příloha A. Důležitým krokem i pro BIM výpočet je stanovení stavu každé místnosti resp. prostoru. Informace o vytápěných či nevytápěných prostor, vnitřních výpočtových teplot, spočtených hodnot příslušné plochy a objemu daného prostoru (vypočtené z Revitu), viz tabulka 5 a 6.

Klimatické údaje				
Popis	Označení	Jednotka	Hodnota	
Výpočtová venkovní teplota	$\theta_e$	°C	-12	
Roční průměrná teplota vzduchu	$\theta_{m,e}$	°C	4	
<b>Korekční činitel vystavení klimatickým podmínkám <math>e_k</math> a <math>e_l</math></b>				
Orientace			Hodnota	
			na jednotku	
Vše			1,00	
<b>Údaje o vytápěných místnostech</b>				
Označení a název místnosti (prostoru)	Výpočtová vnitřní teplota	Plocha místnosti	Objem místnosti	
	$\theta_{int,i}$	$A_i$	$V_i$	
	°C	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	
103	temná komora_instalace	15	22,44	58,34
104	prádelna_instalace	15	25,58	66,50
109	expoze a dokumentační centrum	20	120,17	312,45
111	expoze a dokumentační centrum	20	117,13	304,55
201	kancelář dokumentačního centra	20	13,69	35,61
202	koupelna	24	3,76	9,77
206	ostraha	20	9,68	25,16
207	kuchyň_instalace	20	42,70	111,02
210	příprava jídel_instalace	20	42,72	111,08
213, 214	hlavní obytná místnost_instalace / knihovna	20	243,50	633,09
215	promítací místnost	20	14,27	37,10
221	zimní zahrada	15	39,99	103,97
301	garáž expoze	15	31,74	82,52
303	denní místnost průvodců a prodej vstupenek	20	23,76	61,78
304	kancelář vedení	20	15,74	40,93
306	koupelna	24	5,15	13,39
309, 321	hala / šatní kout	15	50,49	131,28
310	koupelna rodičů_instalace	24	8,72	22,66
312	pokoj pána_instalace	20	21,85	56,80
313	pokoj paní_instalace	20	23,80	61,88
315	pokoj hochů_instalace	20	21,51	55,92
316	pokoj slečny_instalace	20	21,01	54,63
317	pokoj vychovatelky_instalace	20	16,88	43,88
319	koupelna dětí_instalace	24	5,97	15,52
<b>Celkem</b>			<b>919,80</b>	<b>2391,48</b>

Tabulka 5 – Všeobecné údaje o objektu

Údaje o nevytápěných místnostech			
Označení místnosti		b - hodnota	Teplota
		$b_u$	$\theta_u$
		na jednotku	°C
101	sklad_instalace	0,5	15
102	protimolová komora_instalace	0,5	15
105, 219	výlez do 1. úrovně / výlez z 1. úrovně	0	5
106	sklep_instalace	0,5	5
107, 211, 308	výtah_instalace	0	5
108	předsíň	0,5	15
110	strojovna oken	0,4	15
112	chodba se schodištěm	0,5	15
113	strojovna vzduchotechniky	0,5	15
114	prostor pod schodištěm	0,5	15
115	kotelna	0,5	15
116	sklad	0,5	15
117	přívod čerstvého vzduchu	0,5	15
118	ochlazování a vlhčení	0,5	15
119	směšovací komora	0,5	15
120	vzduchový filtr	0,5	15
121	ohřev vzduchu	0,5	15
122	sklad dokumentačního centra	0,5	15
123	odtah použitého vzduch	0,5	15
124, 220	výtah_instalace	0	5
203	předsíň se šatnou	0,4	15
204	chodba	0,4	15
205	komora	0,4	15
208	spíž_instalace	0,4	15
209	příruční sklad	0,4	15
212	schodiště	0,4	15
216	WC_instalace	0,4	15
217	předsíň_instalace	0,4	15
218	vzduchová izolační dutina	0,8	5
222	trezorovna_instalace	0,4	15
302	předsíň	0,4	15
305	předsíň	0,4	15
307	předsíň	0,6	15
311	předsíň_instalace	0,4	15
314	předsíň	0,4	15
318	sklad úklidu	0,4	15
320	chodba	0,4	15
-	Stropní konstrukce s podlahou nad vzduchovou mezerou	0,8	5

Tabulka 6 – Všeobecné údaje o objektu – dokončení

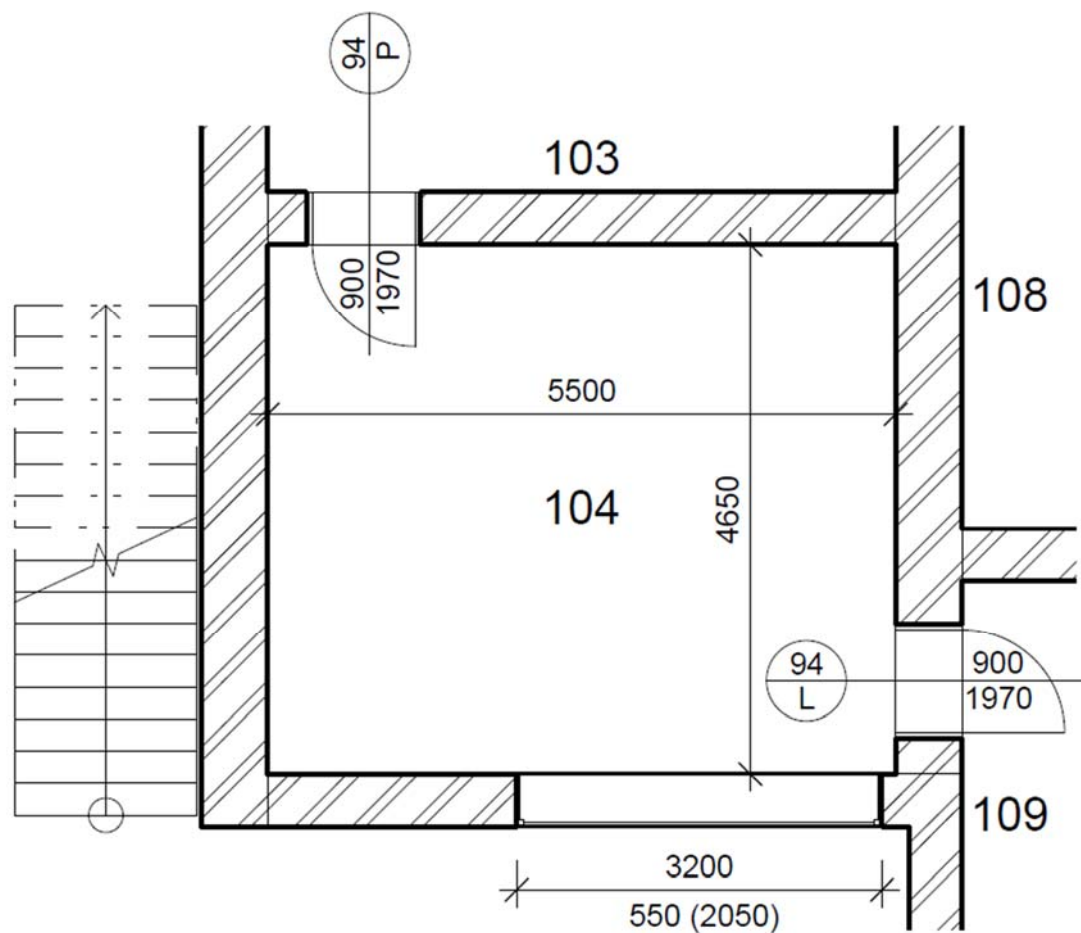
### Doplňující informace o objektu

Umístění objektu: *Brno*

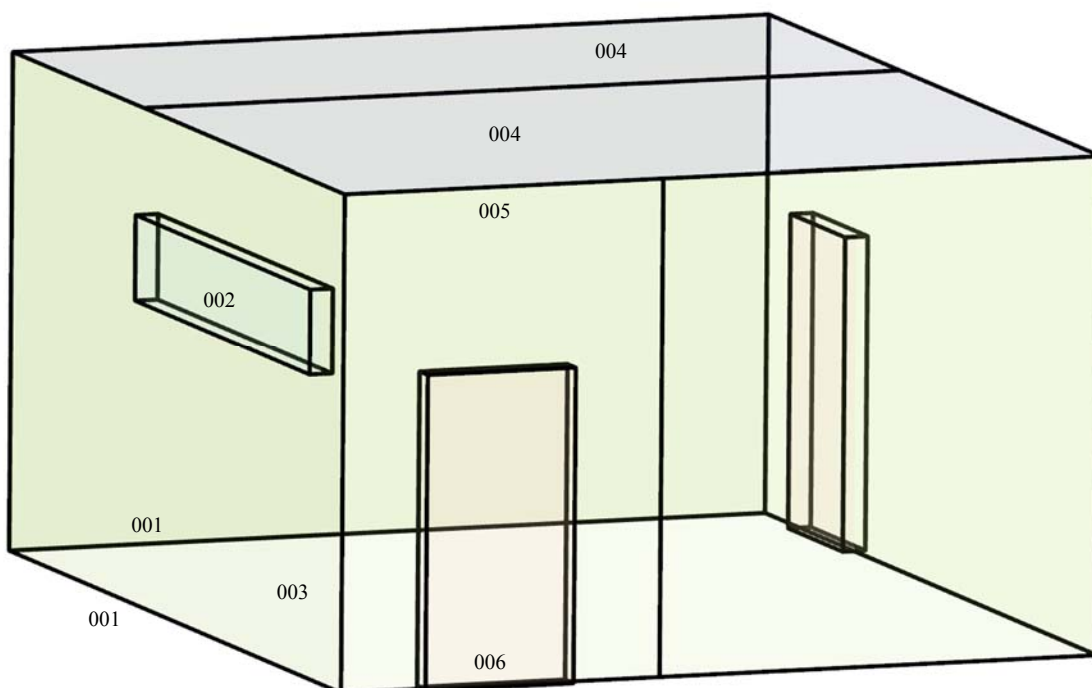
Situace vzhledem k okolí: *Předměstská zástavba*

Výšky místností světlé: *2,6 m, kotelna a strojovna oken 3,8 m*

Provoz vytápění: *Nepřetržitý*

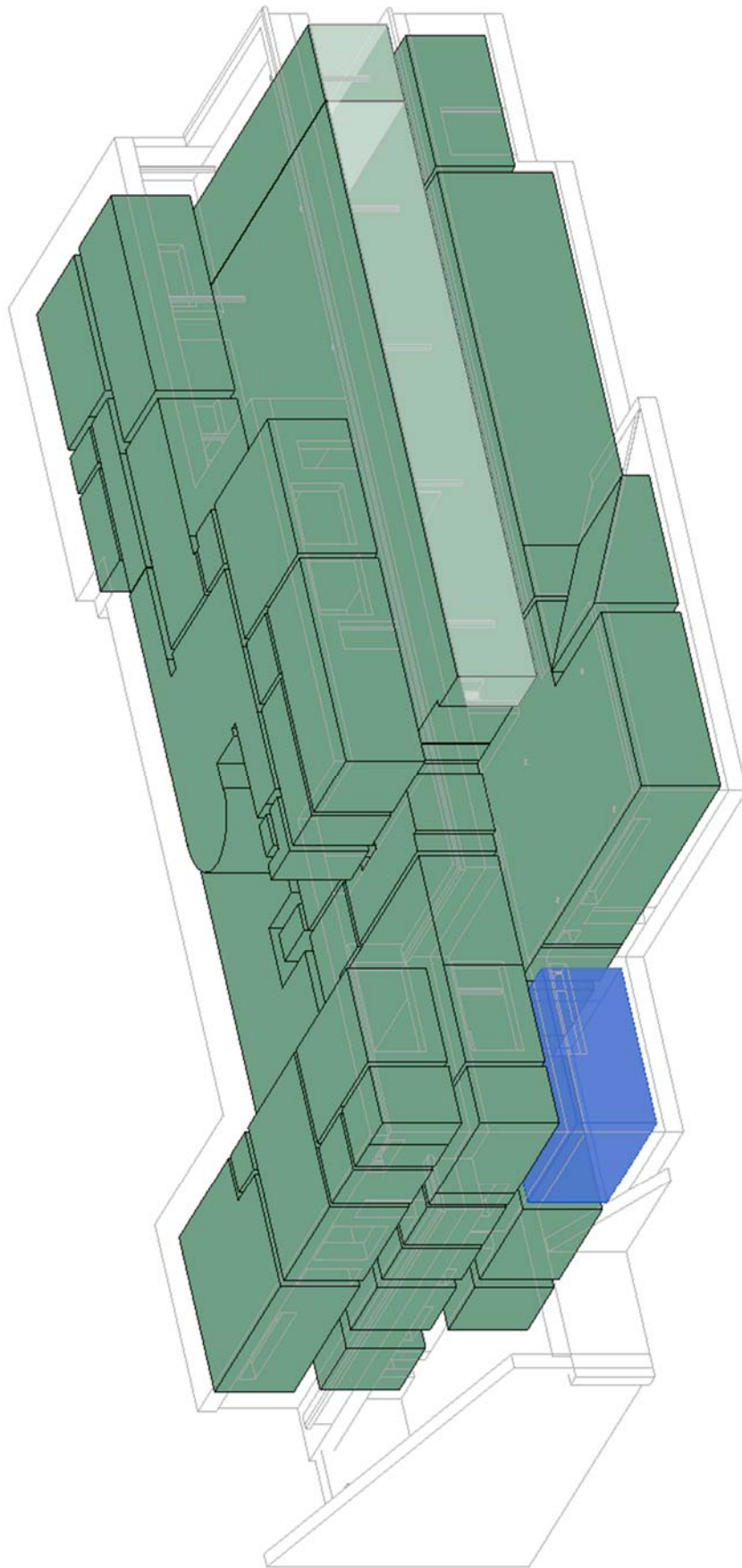


Obrázek 9 – Schéma ukázkové místnosti



Obrázek 10 – Analytické povrchy ukázkové místnosti, s označením stavebních částí





Obrázek 11 – Umístění ukázkové místnosti v objektu

## Součinitel prostupu tepla a lineární tepelné mosty

Objekt je navržen na požadované hodnoty prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2, nebere se zřetel na skladbu konstrukcí, tepelné odpory při přestupu tepla jsou zahrnuty. Zjednodušeně se předpokládá, že objekt vyhovuje těmto podmínkám a lze jej proto navrhnout pro tyto hodnoty. Hodnoty součinitelů prostupu tepla pro jednotlivé stavební části, viz Tabulka 7.

Lineární tepelné mosty budou uvažovány zjednodušenou metodou dle postupu uvedeného v kapitole 1.1.1., tzn., součinitel prostupu tepla stavební části je opravený o korekční činitel, který zjednodušeně zahrnuje lineární tepelné mosty. Hodnoty těchto korekčních činitelů naleznete v příloze A.

Typ stavební části	Požadované hodnoty $U_{N,20}$	Doporučené hodnoty $U_{rec,20}$	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy $U_{pas,20}$	
Stěna vnější	0,3	těžká: 0,25 lehká: 0,20	0,18 až 0,12	
Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně	0,24	0,16	0,15 až 0,10	
Strop s podlahou nad venkovním prostorem	0,24	0,16	0,15 až 0,10	
Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině	0,45	0,3	0,22 až 0,15	
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k nevytápěnému prostoru	0,6	0,4	0,30 až 0,20	
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k temperovanému prostoru	0,75	0,5	0,38 až 0,25	
Strop a stěna vnější z temperovaného prostoru k venkovnímu prostředí	0,75	0,5	0,38 až 0,25	
Podlaha a stěna temperovaného prostoru přilehlá k zemině	0,85	0,6	0,45 až 0,30	
Stěna mezi sousedními budovami	1,05	0,7	0,5	
Strop mezi prostory s rozdílem teplot do 10 °C včetně	1,05	0,7	–	
Stěna mezi prostory s rozdílem teplot do 10 °C včetně	1,3	0,9	–	
Strop vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně	2,2	1,45	–	
Stěna vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně	2,7	1,8	–	
Výplň otvoru ve vnější stěně a strmé střeše, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí, kromě dveří	1,5	1,2	0,8 až 0,6	
Dveřní výplň otvoru z vytápěného prostoru do venkovního prostředí (včetně rámu)	1,7	1,2	0,9	
Výplň otvoru vedoucí z vytápěného do temperovaného prostoru	3,5	2,3	1,7	
Výplň otvoru vedoucí z temperovaného prostoru do venkovního prostředí	3,5	2,3	1,7	
Lehký obvodový plášť (LOP), hodnocený jako smontovaná sestava včetně nosných prvků, s poměrnou plochou průsvitné výplně otvoru $f_w = A_w / A$ , v m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> , kde A je celková plocha lehkého obvodového pláště (LOP), v m <sup>2</sup> ; A <sub>w</sub> plocha průsvitné výplně otvoru sloužící převážně k osvětlení interiéru včetně příslušných částí rámu v LOP, v m <sup>2</sup>	$f_w \leq 0,5$	$0,3 + 1,4 \cdot f_w$	0,2 + $f_w$	0,15 + 0,85 · $f_w$
	$f_w > 0,5$	$0,7 + 0,6 \cdot f_w$		

Tabulka 7 – U-hodnoty pro stavební části

### 2.3.1 Tepelné ztráty místnosti prostupem tepla

Je uveden podrobný výpočet návrhových tepelných ztrát pro jednu místnost, s názvem „104 prádelna\_instalace“. Tato místnost je ve styku s rostlou půdou. Výpočet je uveden v následující tabulce. Ostatní místnosti jsou stanoveny pomocí *Revitu*, viz příloha B.



Tepelné ztráty přímo do venkovního prostředí							
Kód	Stavební část	$A_k$	$U_k$	$\Delta U_{tb}$	$U_{kc}$	$e_k$	$A_k \cdot U_{kc} \cdot e_k$
		m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup> ·K	W/m <sup>2</sup> ·K	W/m <sup>2</sup> ·K	na jedn.	W/K
001	Obvodová stěna	35,71	0,30	0,00	0,30	1,00	10,71
002	Okno	1,76	1,50	0,50	2,00	1,00	3,52
Celkem stavební části						$\sum_k A_k \cdot U_{kc} \cdot e_k$ (W/K)	14,23
pozn.: tepelné mosty jsou zahrnuty přírážkou korekčního činitele $\Delta U_{tb}$							
Celkové tepelné ztráty přímo do venkovního prostředí						$H_{T,ie} = \sum_k A_k \cdot U_{kc} \cdot e_k$	14,23
Tepelné ztráty nevytápěným prostorem							
Kód	Stavební část	$A_k$	$U_k$	$\Delta U_{tb}$	$U_{kc}$	$b_u$	$A_k \cdot U_{kc} \cdot b_u$
		m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup> ·K	W/m <sup>2</sup> ·K	W/m <sup>2</sup> ·K	na jedn.	W/K
-		-	-	-	-	-	-
Celkem stavební části						$\sum_k A_k \cdot U_{kc} \cdot b_u$ (W/K)	-
pozn.: tepelné mosty jsou zahrnuty přírážkou korekčního činitele $\Delta U_{tb}$							
Celkové tepelné ztráty nevytápěným prostorem						$H_{T,iue} = \sum_k A_k \cdot U_{kc} \cdot b_u$	0,00
Tepelné ztráty do přilehlé zeminy							
Výpočet B'		$A_g$	$P$	$B' = 2 \cdot A_g / P$			
		m <sup>2</sup>	m	m			
		34,02	23,42	2,90			
Kód	Stavební část	$U_k$	$U_{equiv,k}$	$A_k$	$A_k \cdot U_{equiv,k}$		
		W/m <sup>2</sup> ·K	W/m <sup>2</sup> ·K	m <sup>2</sup>	W/K		
003	Podlaha	0,45	0,29	34,02	9,78		
Celkem ekvivalentní stavební části		$\sum_k A_k \cdot U_{equiv,k}$ (W/K)			9,78		
Korekční činitelé		$f_{g1}$	$f_{g2}$	$G_w$	$f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot G_w$		
		na jedn.	na jedn.	na jedn.	na jedn.		
		1,45	0,41	1,00	0,59		
Celkové tepelné ztráty do přilehlé zeminy						$H_{T,ig} = f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot (\sum_k A_k \cdot U_{equiv,k}) \cdot G_w$	5,78
Tepelné ztráty do nebo z vytápěných prostorů při různých teplotách (platí i pro vnitřní nevytápěné prostory)							
Kód	Stavební část	$f_{ij}$	$A_k$	$U_k$	$f_{ij} \cdot A_k \cdot U_k$		
		na jedn.	m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup> ·K	W/K		
004	Strop	-0,19	34,02	2,20	-13,86		
005	Vnitřní stěna (20°C)	-0,19	4,87	2,70	-2,44		
006	Dveře (20°C)	-0,19	2,02	3,50	-1,31		
Celkové tepelné ztráty do nebo z vytápěných prostorů při různých teplotách						$H_{T,ij} = \sum_k f_{ij} \cdot A_k \cdot U_k$	-17,60
						$H_{T,i} = H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}$ (W/K)	2,41
Teplotní údaje							
Výpočtová venkovní teplota					$\theta_e$	°C	-12
Výpočtová vnitřní teplota					$\theta_{int,i}$	°C	15
Výpočtový rozdíl teplot					$\theta_{int,i} - \theta_e$	°C	27
Návrhová tepelná ztráta prostupem tepla					$\Phi_{T,i} = H_{T,i} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e)$ (W)		65,10

Tabulka 8 – Výpočet tepelné ztráty prostupem tepla pro ukázkovou místnost

### 2.3.2 Tepelné ztráty větráním

Je uveden podrobný výpočet návrhové tepelné ztráty pro jednu místnost, s názvem „104 prádelna\_instalace“. Výpočet je proveden pro přirozené větrání, v této fázi výpočtu neznáme parametry větrací soustavy. Stupeň těsnosti budovy je nízký, a předpokládá se mírné zaclonění budovy proti větru. Výpočet je uveden v následující tabulce. Ostatní místnosti jsou stanoveny pomocí *Revitu*, viz příloha B.

Označení místnosti		104 prádelna_instalace			
Objem místnosti	$V_i$	m <sup>3</sup>	66,50		
Výpočtová venkovní teplota	$\theta_e$	°C	-12		
Výpočtová vnitřní teplota	$\theta_{int,i}$	°C	15		
<b>Nejmenší hygienické požadavky</b>	Nejmenší hygienická intenzita výměny vzduchu	$n_{min,i}$	h-1	1,5	
	Nejmenší hygienické množství vzduchu	$V_{min,i}$	m <sup>3</sup> /h	99,74	
<b>Množství vzduchu infiltrací</b>	Nechráněné otvory	/	na jedn.	1	
	Intenzita výměny vzduchu při 50 Pa	$n_{50}$	h-1	7	
	Činitel zaclonění	$e_i$	na jedn.	0,02	
	Výškový korekční činitel	$\varepsilon_i$	na jedn.	1,0	
	Množství vzduchu infiltrací $\check{V}_{inf,i} = 2 \cdot V_i \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot \varepsilon_i$	$\check{V}_{inf,i}$	m <sup>3</sup> /h	18,62	
<b>Výpočet tepelné ztráty větráním</b>	Zvolená výpočtová hodnota $\check{V}_i = \max(\check{V}_{inf,i}; V_{min,i})$	$\check{V}_i$	m <sup>3</sup> /h	99,74	
	Návrhový součinitel tepelné ztráty	$H_{v,i}$	W/K	33,91	
	Teplotní rozdíl	$(\theta_{int,i} - \theta_e)$	°C	27	
	Návrhová tepelná ztráta větráním $\Phi_{v,i} = H_{v,i} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e)$	$\Phi_{v,i}$	W	915,64	

Tabulka 9 - Výpočet tepelné ztráty větráním pro ukázkovou místnost

### 2.3.3 Zátopový tepelný výkon

Objekt je stále vytápěn, není třeba vyrovnávat účinky přerušovaného vytápění.

### 2.3.4 Celkový tepelný výkon

V následující tabulce se stanoví návrhový tepelný výkon pro každou místnost a pro celý objekt. V tomto případě se celkový rovná součtu celkových tepelných výkonů všech vytápěných místností. Šedivě označená místnost je vytápěna ohřátým vzduchem a pro

tento prostor bude stanovena celková tepelná ztráta s přihlédnutím k nucenému větrání, kdy se přivádí predehřátý vzduch a místnost se tak vytápí.

Označení místnosti	Tepelný výkon - pro tepelné ztráty prostupem	Tepelný výkon - pro tepelné ztráty větráním	Zátopový tepelný výkon	Celkový tepelný výkon
	$\Phi_{T,i}$	$\Phi_{V,i}$	$\Phi_{RH,i}$	$\Phi_{HL,i}$
	W	W	W	W
103 temná komora_instalace	176,29	267,80	0	444,09
104 prádelna_instalace	65,97	915,63	0	981,60
109 expozice a dokumentační centrum	4036,48	1699,72	0	5736,20
111 expozice a dokumentační centrum	3262,15	1656,74	0	4918,89
201 kancelář dokumentačního centra	918,10	387,40	0	1305,50
202 koupelna	577,80	179,35	0	757,15
206 ostraha	616,64	136,85	0	753,49
207 kuchyň_instalace	1688,05	1811,87	0	3499,92
210 příprava jídel_instalace	1242,72	1812,84	0	3055,56
213, 214 hlavní obytná místnost_instalace / knihovna	4593,08	3444,01	0	8037,09
215 promítací místnost	685,71	201,81	0	887,52
221 zimní zahrada	-407,98	477,20	0	69,23
301 garáž expozice	810,93	378,78	0	1189,70
303 denní místnost průvodců a prodej vstupenek	1306,09	336,06	0	1642,15
304 kancelář vedení	702,75	445,28	0	1148,03
306 koupelna	589,88	245,89	0	835,77
309, 321 hala / šatní kout	460,06	602,59	0	1062,65
310 koupelna rodičů_instalace	665,60	416,13	0	1081,72
312 pokoj pána_instalace	890,76	308,99	0	1199,76
313 pokoj paní_instalace	1158,12	336,63	0	1494,75
315 pokoj hochů_instalace	1157,76	304,20	0	1461,95
316 pokoj slečny_instalace	574,48	297,20	0	871,67
317 pokoj vychovatelky_instalace	886,74	238,72	0	1125,46
319 koupelna dětí_instalace	723,48	284,93	0	1008,40
<b>Celkem</b>	<b>27381,63</b>	<b>17186,63</b>	<b>0,00</b>	<b>44568,27</b>

Tabulka 10 – Celkový návrhový tepelný výkon

## 2.4 Výpočet dle *REX Heat Load*

### 2.4.1 Popis

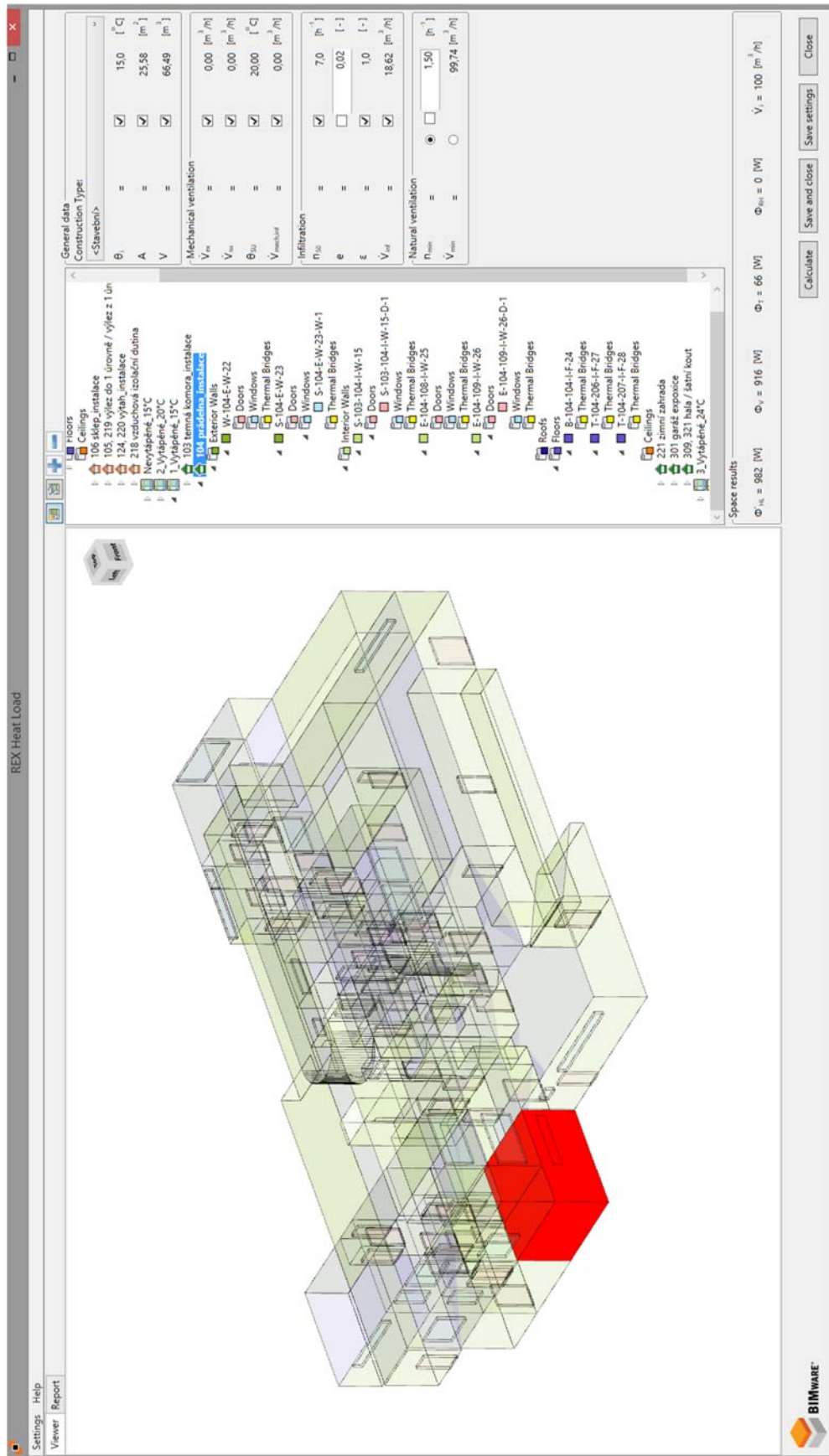
*REX Heat Load* je doplněk, který rozšiřuje použití *Autodesk Revit*, umožňuje výpočet tepelných ztrát a tepelné zátěže v souladu s normou ČSN EN 12831. Ve výchozím nastavení jsou výpočty *Revitu* založeny na amerických normách ANSI/ASHRAE, výsledky jsou odlišné oproti výstupům dle české normy. Díky tomuto rozšíření můžeme snadno stanovit návrhové ztráty a tepelný výkon jednotlivých místností pro dimenzování otopných těles nebo celé budovy pro např. návrh zdroje tepla.

Po spuštění doplňku a vyhodnocení objektu se výsledky pro jednotlivé místnosti resp. prostory automaticky uloží díky sdíleným parametrům do vlastností definovaných prostorů do skupiny „Jiné“. To je užitečné např. při dimenzování otopných ploch nebo ventilace a následným opatřením popisky. Pokud máme v modelu zařízení nuceného větrání, může si doplněk přebrat parametry definované v jednotlivých zařízeních, které jsou v daném prostoru určeném jejich součtem. Pro případ přirozeného větrání se vše potřebné definuje v rozšíření.

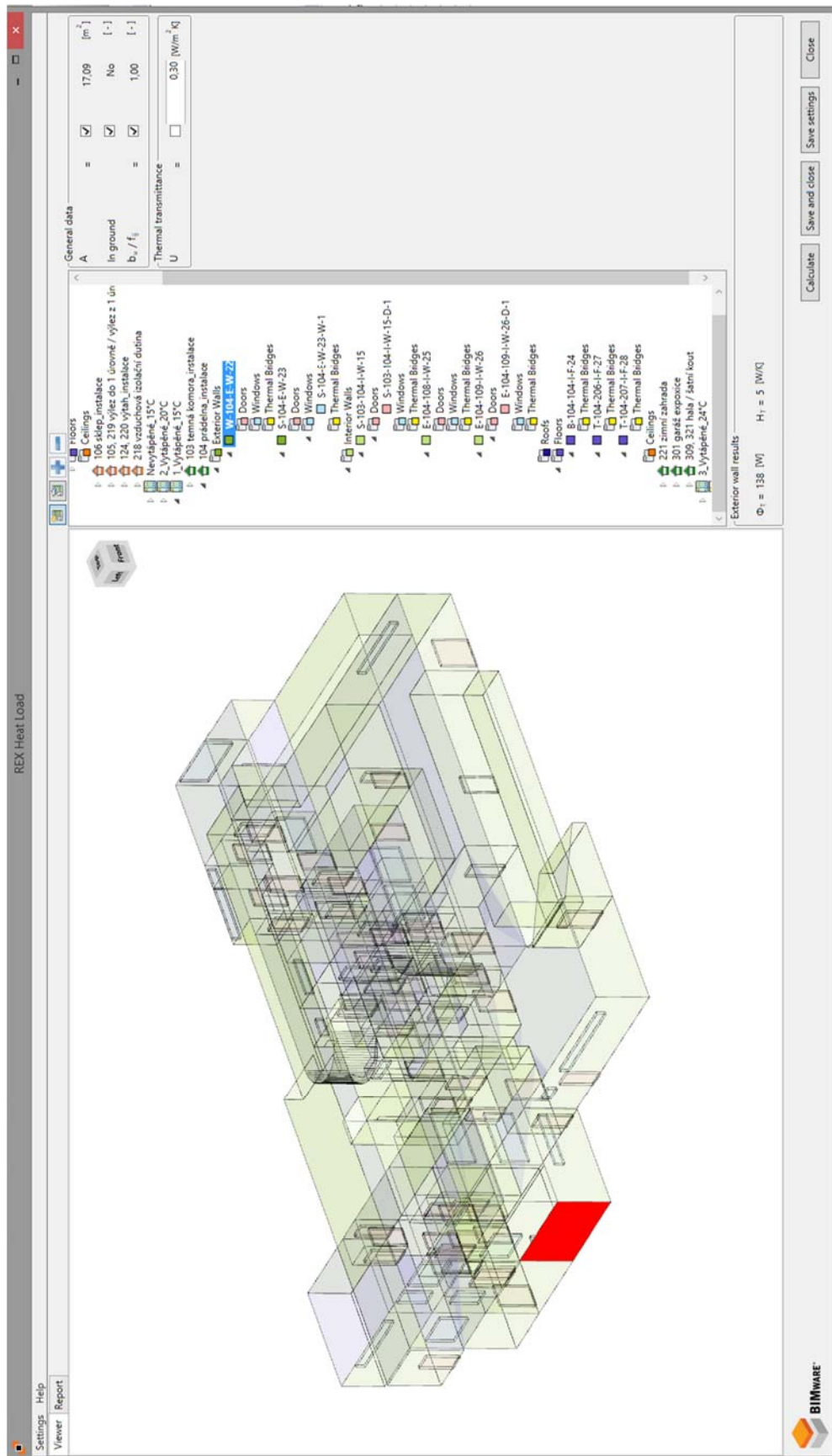
Velikou výhodou je úplná editovatelnost vstupních parametrů a možnost přepsání jakékoliv hodnoty, která byla špatně vyčíslena ze zdrojového modelu. Z tohoto důvodu je lepší vyprecizovat model co nejlépe a předcházet ručnímu přepisování v doplňku.

### 2.4.2 Rozbor výpočtu

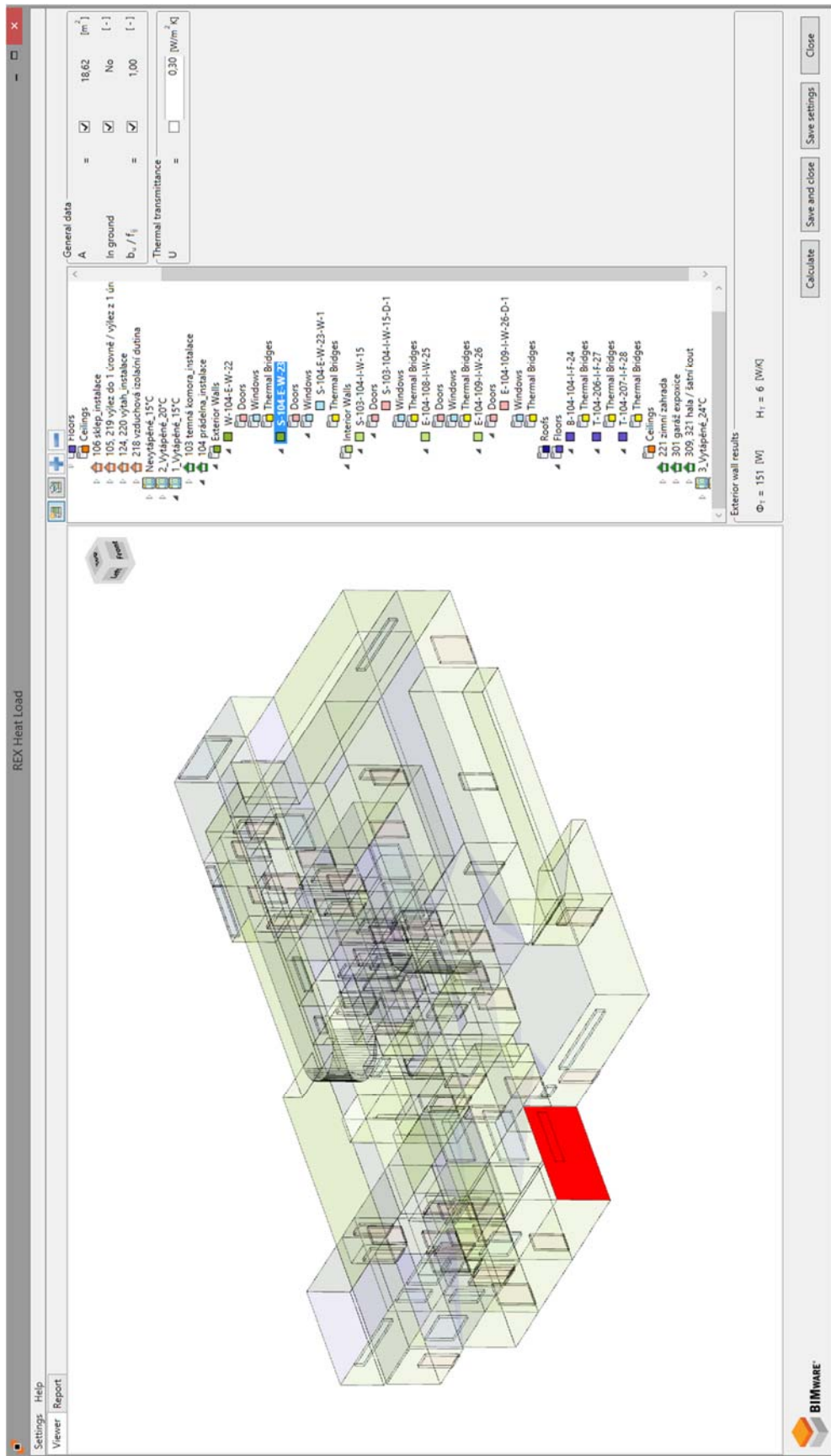
Následující obrázky mapují postup a definice parametrů pro výpočet ukázkové místnosti. Prostředí se dělí na tři základní části, vlevo vidíme model, případně danou část konstrukce, uprostřed je přehledně vidět rozdělení konstrukce na jednotlivé části, se kterými se počítá, v pravé části jsou editovatelné položky, obsah se mění, jak se prochází jednotlivými stavebními částmi, ve stejném sloupci dole, pak máme rychlý přehled mezivýsledků pro danou stavební část.



Obrázek 12 – Vstupní údaje pro výpočet tepelných ztrát větráním

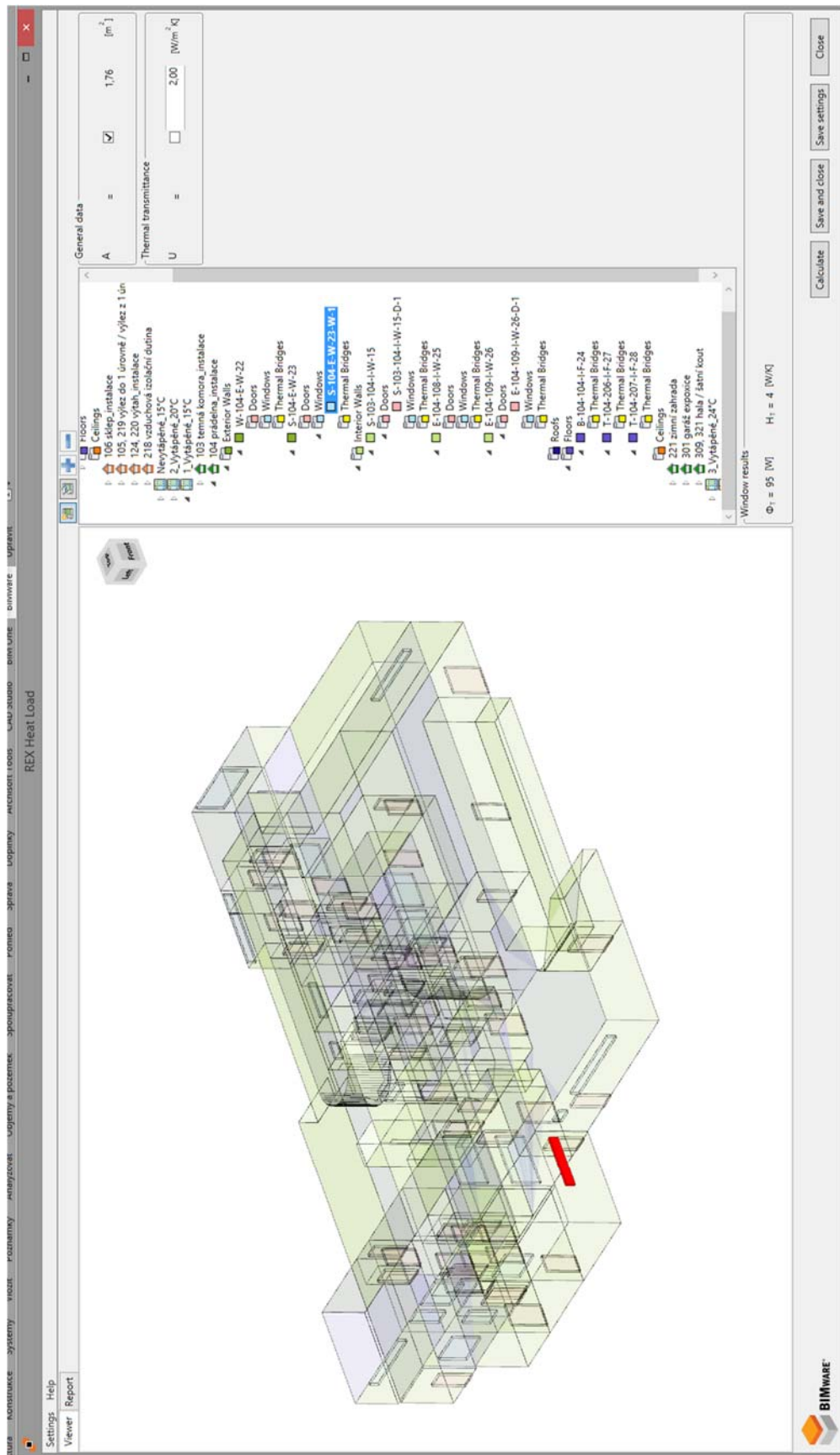


Obrázek 13 – Tepelná ztráta vnější zdi



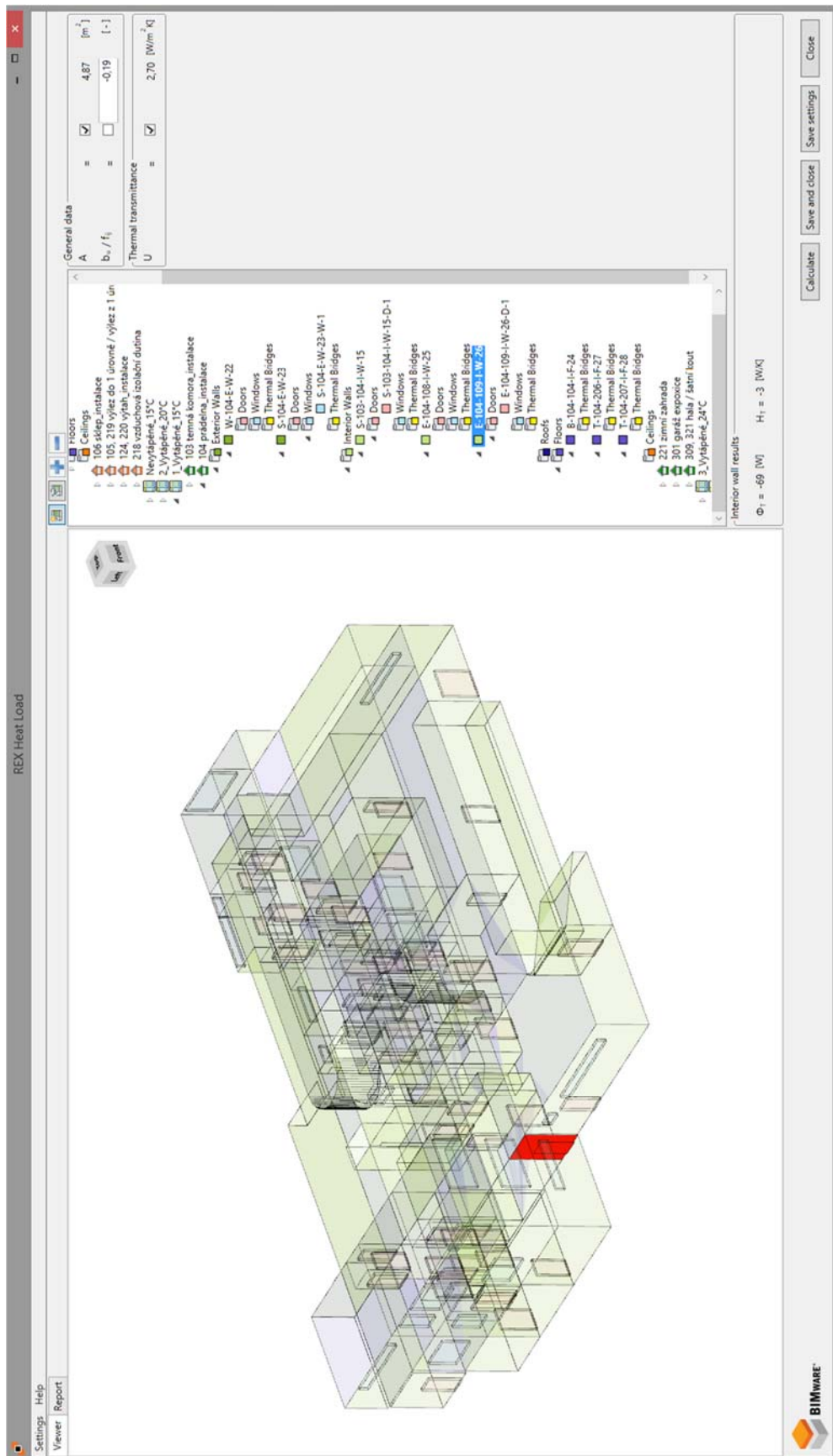
Obrázek 14 – Tepelná ztráta vnější zdi s oknem



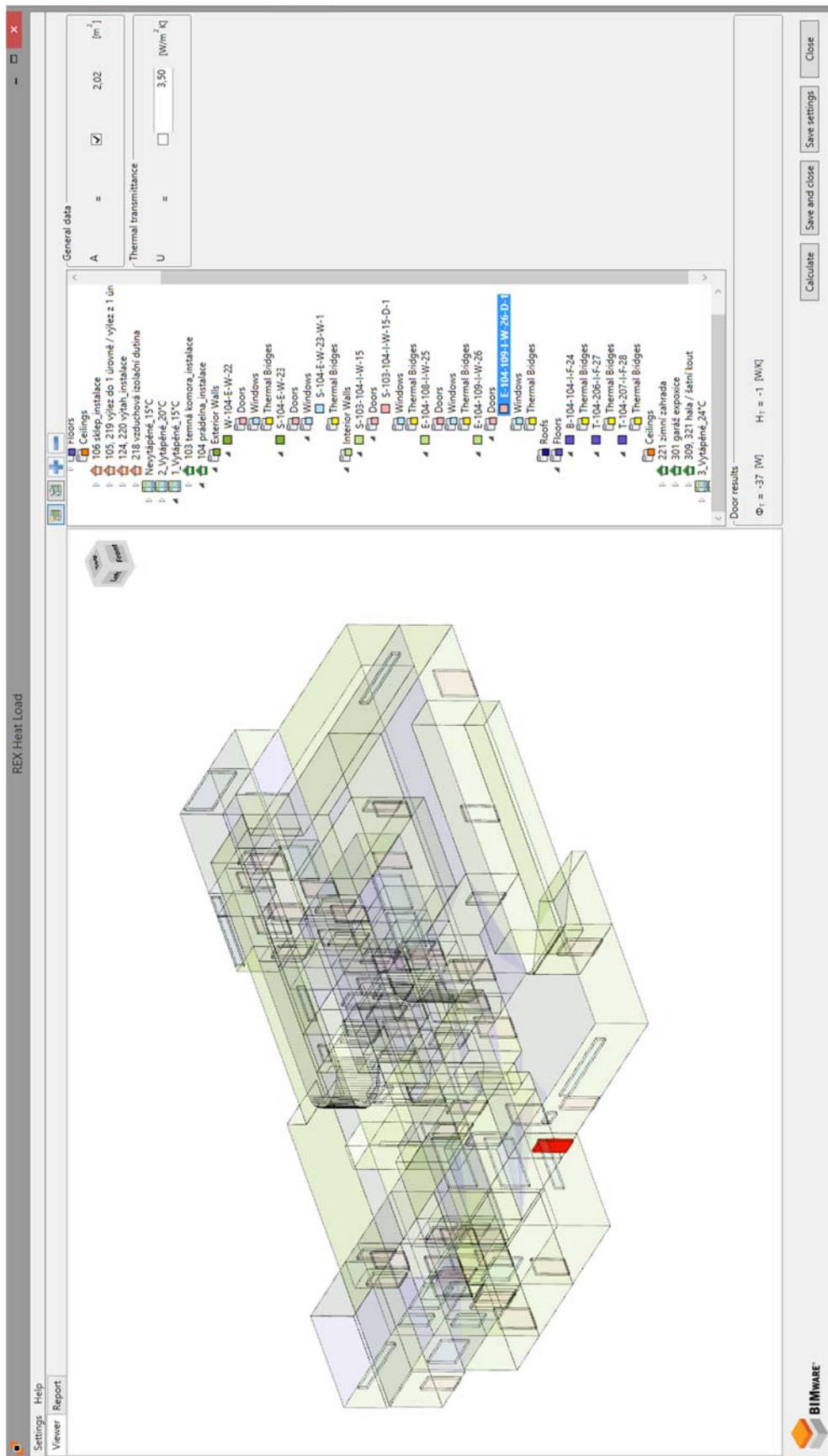


Obrázek 15 – Tepelná ztráta vnějšího okna

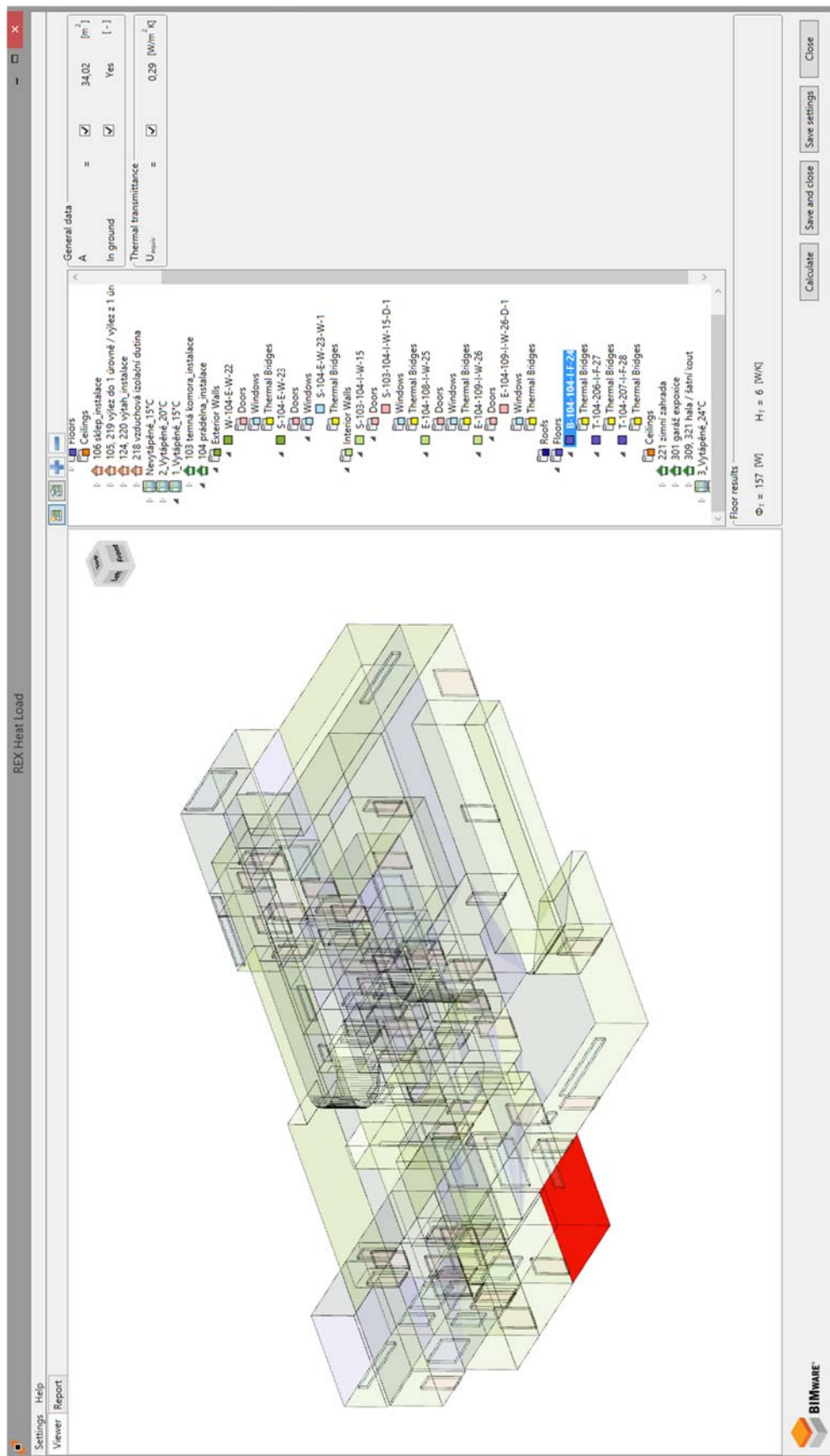




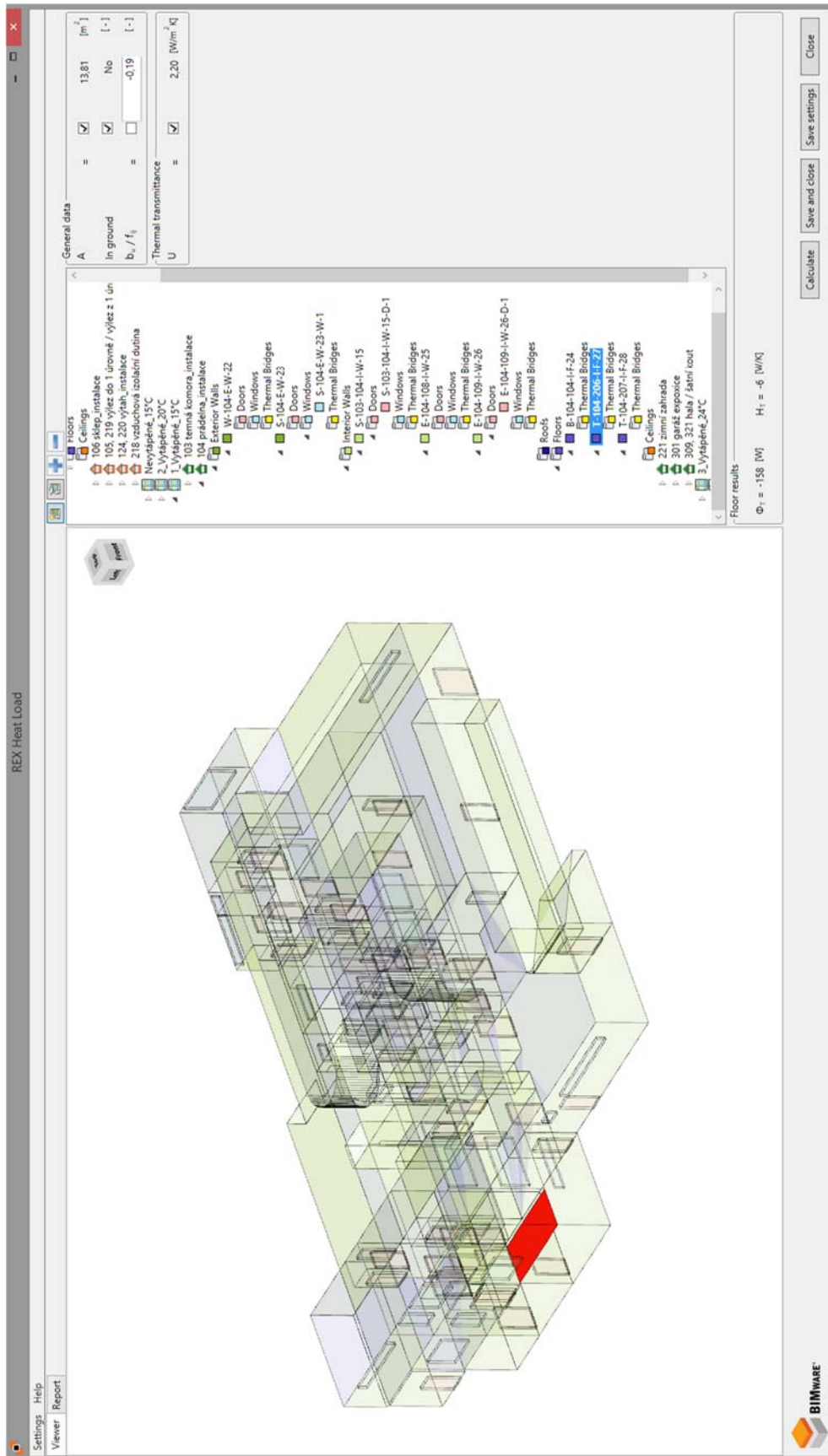
Obrázek 16 – Tepelný zisk mezi danou místností a vedlejší místností vytápěnou na vyšší teplotu pro příčku



Obrázek 17 - Tepelný zisk mezi danou místností a vedlejší místností vytápěnou na vyšší teplotu pro dveře

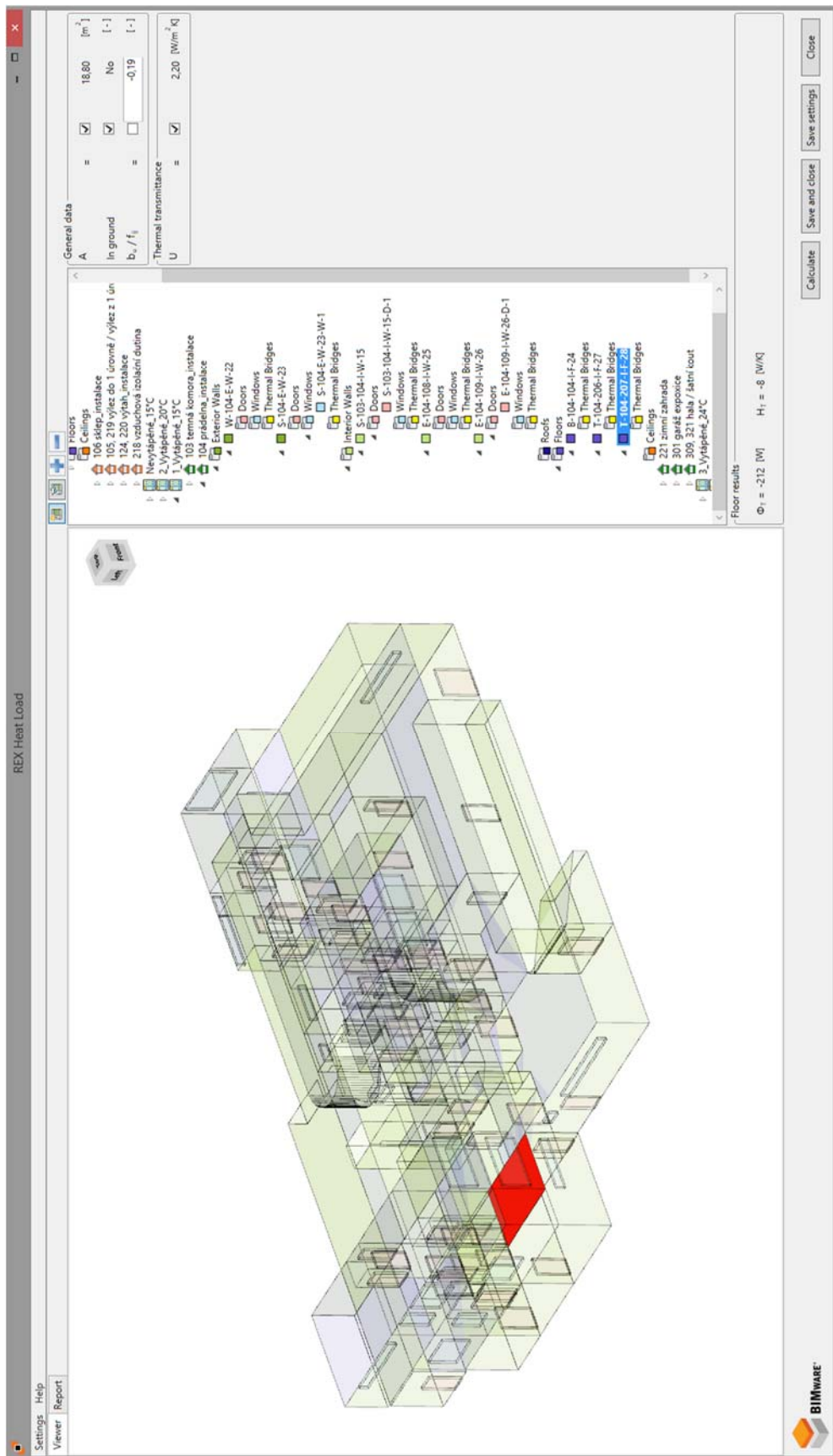


Obrázek 18 – Tepelná ztráta podlahy na zemině



Obrázek 19 - Tepelný zisk mezi danou místností a vedlejší místností vytápěnou na vyšší teplotu pro strop





Obrázek 20 - Tepelný zisk mezi danou místností a vedlejší místností vytápěnou na vyšší teplotu pro strop

## 2.5 Porovnání s výchozím nástrojem *Revitu*

*Revit* není mířen na český trh a to přináší řadu problémů plynoucích z jiných metodických postupů používaných např. v USA. Ať už se jedná o samotné pravidla zobrazování/modelování, používaných jednotek nebo v tomto případě hlavně analytických nástrojů.

Výpočet tepelné zátěže v *Revitu* je podobný metodickému návrhu dle normy ČSN EN ISO 13790, zejména tedy možností zahrnutí i tepelných solárních nebo vnitřních zisků, tzn., umí zohlednit přírůstek tepla od lidí, osvětlení i tepelného zisku od spotřebičů, a to vše jak pro režim vytápění, chlazení, či např. pouze větrání apod. K tomuto účelu obsahuje program databázi typů prostorů s předdefinovanými hodnotami, např. potřebné výměny vzduchu, počet osob, intenzity svícení atd. Samozřejmě je možné vše nastavit ručně. Lze nadefinovat geografickou polohu objektu, nejbližší meteorologickou stanici, typ vytápění v objektu, typ vzduchotechnického zařízení, třídu těsnosti budovy atd., tyto údaje pak vstupují a ovlivňují výsledek. Tyto parametry jsem nadefinoval tak, aby odpovídali mému návrhu dle ČSN EN 12831.

Velký problém je odlišnost ve vyčíslování objemů a povrchů, které vstupují do výpočtu, většinou ale na stranu bezpečnou, dále zanedbání vnitřních dveří nebo prostup tepla do zeminy, zejména pak stanovování U-hodnot. V tomto ohledu *Revit* nabízí dvě možnosti, buď přebírá tyto hodnoty z nadefinovaných materiálových charakteristik, nebo přiřazuje U-hodnoty z analytické databáze pro typ konstrukce, např. stěna vnější, střecha, atd. Jelikož databáze není obsáhlá, je problém najít potřebný typ s požadovanou U-hodnotou. Tento problém jsem vyřešil dopsáním kódu v kořenovém adresáři programu, kde si nadefinuji potřebné U-hodnoty pro daný typ konstrukce, včetně součinitelů při přestupu tepla do okolí, protože něco jako přírůstek k daným U-hodnotám *Revit* nedělá. Mě se tento problém netýkal, jelikož jsem objekt navrhoval na doporučené hodnoty, které již v sobě tyto součinitele zahrnují.

Většina problémů jde ale vyřešit méně či více příjemným způsobem a ve finále mě výsledek mile překvapil, viz závěrečné shrnutí.

## 2.5.1 Protokol výpočtu ukázkové místnosti

### Souhrn zóny – Prádelna\_15°C\_vnitřní

<b>Vstupy</b>	
Plocha (m <sup>2</sup> )	26
Objem (m <sup>3</sup> )	66,50
Nastavená hodnota chlazení	23 °C
Nastavená hodnota vytápění	15 °C
Přívod vzduchu, teplota	14 °C
Počet osob	0
Pronikání (m <sup>3</sup> /h)	0,00
Typ výpočtu objemu vzduchu	Ústřední vytápění: radiátory
Relativní vlhkost	- (Calculated)
<b>Psychrometrie</b>	
Psychrometrická zpráva	None
Vstupní teplota suchého teploměru chladicí cívky	-
Vstupní teplota mokrého teploměru chladicí cívky	-
Výstupní teplota suchého teploměru chladicí cívky	-
Výstupní teplota mokrého teploměru chladicí cívky	-
Teplota suchého teploměru smíšeného vzduchu	-
<b>Vypočítané výsledky</b>	
Maximální zátěž celkovým chlazením	-
Maximální chlazení, měsíc a hodina	-
Maximální zátěž zjevným chlazením	-
Maximální zátěž skrytým chlazením	-
Maximální tok vzduchu, chlazení	-
Maximální zátěž vytápěním (W)	1 013
Maximální tok vzduchu, vytápění (m <sup>3</sup> /h)	99,74
Maximální tok vzduchu, ventilace	-
<b>Kontrolní součty</b>	
Chlazení, hustota zatížení	-
Chlazení, hustota průtoku	-
Chlazení, průtok/zatížení	-
Chlazení, plocha/zatížení	-
Vytápění, hustota zatížení (W/m <sup>2</sup> )	39,61
Vytápění, hustota průtoku (L/(s·m <sup>2</sup> ))	1,08
Hustota ventilace	-
Ventilace na osobu	-
Teplododní vytápění, průtok	0.345682

Tabulka 11 – Celková tepelná ztráta místnosti prostupem tepla a větráním

### Prádelna\_15°C\_vnitřní Prostory

Název prostoru	Plocha (m <sup>2</sup> )	Objem (m <sup>3</sup> )	Maximální zátěž chlazením	Chlazení, tok vzduchu	Maximální zátěž vytápěním (W)	Vytápění, tok vzduchu (m <sup>3</sup> /h)
<a href="#">104 prádelna instalace</a>	26	66,50	0	-	76	99,74

Tabulka 12 – Tepelná ztráta prostupem tepla

Cooling Components	Total (W)	Percentage	Sever (W)	Jih (W)	Východ (W)	Západ (W)	Severovýchod (W)	Jihovýchod (W)	Severozápad (W)	Jihozápad (W)
Stěna	0		0	0	0	0	0	0	0	0
Okno	0		0	0	0	0	0	0	0	0
Dveře	0		0	0	0	0	0	0	0	0
Střecha	0		-	-	-	-	-	-	-	-
Světlík	0		-	-	-	-	-	-	-	-
Příčka	0		-	-	-	-	-	-	-	-
Pronikání	0		-	-	-	-	-	-	-	-
Ventilace	-		-	-	-	-	-	-	-	-
Osvětlení	0		-	-	-	-	-	-	-	-
Napájení	0		-	-	-	-	-	-	-	-
Lidé	0		-	-	-	-	-	-	-	-
Volný prostor	-		-	-	-	-	-	-	-	-
Teplo ventilátoru	-		-	-	-	-	-	-	-	-
Ohřev	-		-	-	-	-	-	-	-	-
Celkem	-		0	0	0	0	0	0	0	0
Heating Components	Total (W)	Percentage	Sever (W)	Jih (W)	Východ (W)	Západ (W)	Severovýchod (W)	Jihovýchod (W)	Severozápad (W)	Jihozápad (W)
Stěna	276	17,20%	0	0	0	0	0	0	132	143
Okno	95	5,93%	0	0	0	0	0	0	0	95
Dveře	0	0,00%	0	0	0	0	0	0	0	0
Střecha	0	0,00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Světlík	0	0,00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Příčka	-295	-18,40%	-	-	-	-	-	-	-	-
Pronikání	0	0,00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Ventilace	937	58,47%	-	-	-	-	-	-	-	-
Osvětlení	0	0,00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Napájení	0	0,00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Lidé	0	0,00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Celkem	1 013	100%	0	0	0	0	0	0	132	238

Tabulka 13 – Celkové tepelné ztráty prostupem tepla a větráním po částech



## 2.6 Shrnutí

### 2.6.1 ČSN EN 12831 prostřednictvím *REX Heat Load*

#### Výhody

- vystihuje návrh dle platné české legislativy
- plné možnosti editace každé stavební části zvlášť
- urychlí návrh oproti ručnímu výpočtu
- jednoduché prostředí
- definice tepelných mostů
- kontrola vstupních dat a výstupů
- změna v modelu se ihned projeví ve výstupech

#### Nevýhody

- nutný kvalitně a přesně zhotovený model
- občasné technické problémy
- po spuštění nepoužitelný defaultní nástroj *Revitu*
- nutná kontrola všech stavebních částí v prostředí doplňku
- pouze omezené možnosti návrhu dle ČSN EN 12831

### 2.6.2 ANSI /ASHRAE prostřednictvím výchozího nástroje *Revitu*

#### Výhody

- kvalitní nástroj na zahraničním trhu
- jednoduché prostředí
- změna v modelu se ihned projeví ve výstupech
- úspora času

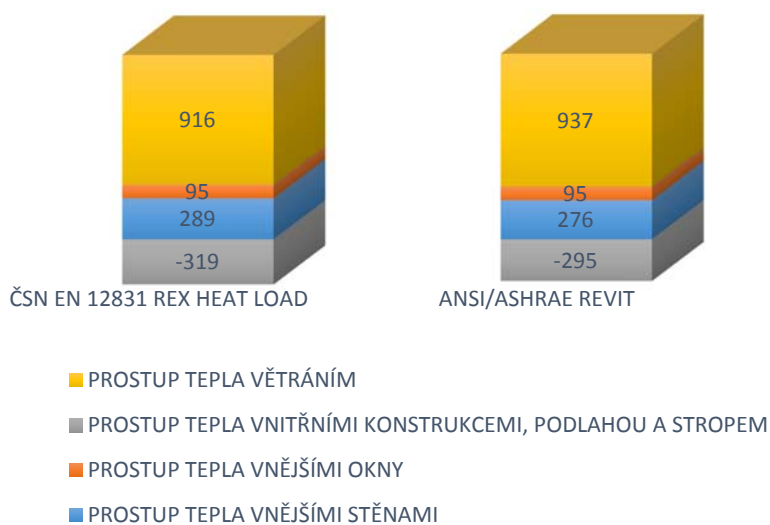
#### Nevýhody

- špatná kontrola vstupních dat a výstupů
- nutný kvalitně a přesně zhotovený model
- nevystihuje návrh dle platné české legislativy
- odlišnosti ve vstupních datech a výstupech vlivem návrhu založených na v Česku neuznávaných normách
- nepříjemná úprava U-hodnot
- prostup tepla zeminou

### 2.6.3 Porovnání výsledků

Hodnoty v následujícím grafu jsou převzaty z obrázků 12 až 20 a tabulek 11 až 13

## CELKOVÉ TEPELNÉ ZTRÁTY



Graf 1 – Porovnání výstupů celkových tepelných ztrát

### 2.6.4 Závěr

Výsledky jsou překvapivě velmi podobné, liší se v řádech do 5 % ve prospěch výchozího nástroje *Revitu*, tzn. v tomto případě na straně bezpečného návrhu. To je velmi uspokojivé a na základě této skutečnosti lze konstatovat, že užití tohoto nástroje je v koncepční fázi projektování vhodné. U rozsáhlého projektu by mohly být změny patrnější, ať už na jednu či druhou stranu. Proto bych se u projektů, kde záleží na přesném výsledku, raději držel *REX Heat Load* nebo obdobných programů na obdobné bázi.

### 3 Návrh otopných ploch

Při návrhu otopných ploch se držím předlohy a v objektu dimenzuji litinové radiátory značky *VIADRUS*, které se oproti klasickým vyznačují značnými tepelnými úsporami a dlouhou trvanlivostí. Konkrétně se jedná o typ *HELLAS*, který je určen pro teplovodní soustavy ústředního vytápění se samotížným i nuceným oběhem otopné vody, nejvyšší pracovní teplota je 115 °C s maximálním pracovním přetlakem do 0,6 MPa. Tato otopná tělesa je možno používat v prostředí s rozmezím teplot od +2 °C do 35 °C.

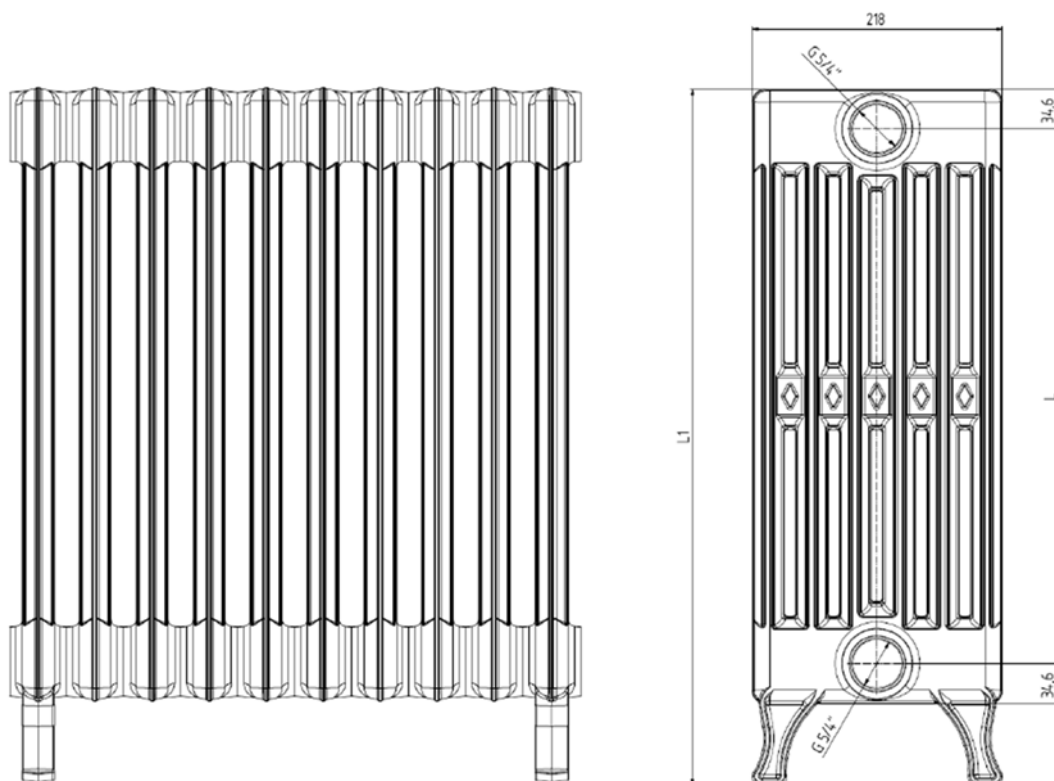
Návrh otopných těles je proveden pro teplotní spád 75/65 °C na základě spočtených hodnot tepelných ztrát jednotlivých místností, dimenzujeme dle tabulky výrobce (viz příloha A). Mimo hlavní obytnou část jsou veškeré vytápěné místnosti vytápěny litinovými radiátory.

#### 3.1 Tepelně technické parametry

Technické parametry, které uvádí následující tabulka jsou experimentálně ověřeny dle ČSN EN 442-2 pro teplotnosnou látku vodu. Hodnoty platí pro teplotní spád 75/65 °C a pro připojení těles jednostranně z boku s přívodem teplotnosné látky nahoře. Další stanovené hodnoty uvádí tabulka v příloze A.

Vlastnost	Označení	HELLAS 270	HELLAS 270 s nohou	HELLAS 470	HELLAS 470 s nohou
identifikační číslo		65	66	63	64
celková výška	L1 (mm)	340	410	540	610
rozteč	L (mm)	270	270	470	470
hloubka	B (mm)	218	218	218	218
šířka	H (mm)	50	50	50	50
připojovací závit	"	5/4"	5/4"	5/4"	5/4"
hmotnost	M (kg/ks)	4,85	5,35	7,21	7,71
vodní objem	V (dm <sup>3</sup> /ks)	0,85	0,85	1,16	1,16
tepelný výkon	Q <sub>Tn</sub> (W/čl)	70	70	108	108
teplotní exponent		1,3191	1,3191	1,3535	1,3535

Tabulka 14 – Hlavní tepelně-technické parametry otopných těles Hellas



Obrázek 21 – Hlavní rozměry článků Hellas

### 3.2 Montáž

Samotné otopné litinové těleso sestává z jednotlivých článků, spojovaných do soustav pomocí vsuvek s vnějším pravolevým závitem G5/4“, ve variantách pro velikost tělesa 270 nebo 470 mm. Podle potřebného tepelného výkonu stanovujeme počet článků, či otopných ploch. Pro připojení otopných těles řady *HELLAS* k rozvodnému potrubí se používají růžice s vnějším závitem G 5/4“ a s vrtáním G 3/8“, G 1/2“, G 3/4“ a G 1“.

Součástí radiátoru je integrovaný termostatický ventil „*VIADRUS ITV*“ s nastavitelnou ventilovou vložkou „*V*“ a termostatickou hlavicí *RAE 5054* Jsou užity přímé regulační šroubení 1/2“

Pro uzavření vsuvkových otvorů otopného tělesa na straně protilehlé přípojce jsou určeny zátky plné s rozměrem levého vnějšího závitu G 5/4“. Horní zátky může být opatřena vrtáním s excentricky umístěným závitem G 1/4“ pro odvzdušňovací ventil. Vhodné je použití automatických odvzdušňovacích ventilů.

Před spojením jednotlivých souprav musí být očištěny dosedací plochy zděří článků a spoje je doporučeno utěsnit těsněním *TEMASIL*, který je standardně používán ve výrobě a je vhodný pro teplovodní i parní systémy.

Radiátory jsou dodány s nožkami a nemusí se tedy osazovat a kotvit na zeď.

Při provádění montáže, pájení, kontrole svárů, tlakové a topné zkoušce a při proplachu potrubí je nutné dodržovat vyhlášku bezpečnosti práce příslušné technické normy. Po spuštění zařízení provede dodavatel topnou a tlakovou zkoušku, o které bude vypracován protokol.

Veškeré další potřebné informace jsou k nalezení na stránkách výrobce.

### **3.3 Rozvodné potrubí**

Pro rozvádění topného média je navržena uzavřená, dvoutrubková otopná soustava s nuceným oběhem. Rozvody ústředního vytápění jsou provedeny z ocelových bežešvých závitových trubek, které budou spojovány svařením. Potrubí je vedené podél zdi v podlaze a u stropu.

Každá stoupačka je opatřena kulatým kohoutem s vypouštěcím kohoutem v nejnižším místě a odvzdušňovacím ventilem v místě nejvyšším. Horizontální rozvody vedené pod stropem v prvním nadzemním podlažím jsou spádovány min. 0,33 % a v nejnižším místě opatřeny kulatými kohouty s vypouštěcími kohouty.

Veškeré trubní rozvody vedené v prvním podlaží, zdi nebo v podlaze jsou opatřeny návlekovou izolací tloušťky dle dimenze potrubí, splňující vyhlášku 193/2007 Sb.

Na delších úsecích bude potrubí ukotveno do konstrukce podlahy, zdi nebo stropu pevnými body.

Veškeré potrubí pro vytápění radiátory je vedeno do rozdělovače/sběrače v kotelně v prvním podlaží. Návrh kotelny a zdroje tepla není dále řešen.

### **3.4 Návrh otopných těles pro teplotní spád 75/65**

V následující tabulce jsou uvedena otopná tělesa navržena pro teplotní spád 75/65 °C. Hlavní obytná místnost spolu s knihovnou bude stanovena zvlášť pro teplovzdušné vytápění, proto je řádek nevyplněný, viz kapitola 4.2.

Označení místnosti	Celkový tepelný výkon		Typ tělesa	Počet článků	Výkon otopných ploch	
	$\Phi_{HL,f}$	W			$Q_{ot,f}$	W
103 temná komora_instalace	444,09		Hellas 470 s nohou	4	528,00	
104 prádelna_instalace	981,60		Hellas 470 s nohou	8	1000,00	
109 expozice a dokumentační centrum	5736,20		3 x Hellas 470 s nohou	3 x 20	6375,00	
111 expozice a dokumentační centrum	4918,89		4 x Hellas 470 s nohou	4 x 13	5592,00	
201 kancelář dokumentačního centra	1305,50		Hellas 470 s nohou	15	1606,00	
202 koupelna	757,15		Hellas 470 s nohou	12	1156,00	
206 ostraha	753,49		Hellas 470 s nohou	10	1087,00	
207 kuchyň_instalace	3499,92		Hellas 470 s nohou	40	4250,00	
210 příprava jídel_instalace	3055,56		Hellas 470 s nohou + Hellas 270 s nohou	15 + 24	3578,00	
213, 214 hlavní obytná místnost_instalace / knihovna	8037,09		místnost vytápěna ohřevným vzduchem	-	-	
215 promítací místnost	887,52		Hellas 470 s nohou	10	1087,00	
221 zimní zahrada	69,23		Hellas 470 s nohou	4	528,00	
301 garáž expozice	1189,70		Hellas 470 s nohou	12	1473,00	
303 denní místnost průvodců a prodej vstupenek	1642,15		Hellas 470 s nohou	18	1918,00	
304 kancelář vedení	1148,03		Hellas 470 s nohou	15	1606,00	
306 koupelna	835,77		Hellas 470 s nohou	12	1156,00	
309, 321 hala / šatní kout	1062,65		2 x Hellas 470 s nohou	2 x 6	1528,00	
310 koupelna rodičů_instalace	1081,72		Hellas 470 s nohou	15	1435,00	
312 pokoj pána_instalace	1199,76		Hellas 470 s nohou	15	1606,00	
313 pokoj pani_instalace	1494,75		Hellas 470 s nohou	18	1917,00	
315 pokoj hochů_instalace	1461,95		Hellas 470 s nohou	18	1917,00	
316 pokoj slečny_instalace	871,67		Hellas 470 s nohou	12	1295,00	
317 pokoj vychovatelky_instalace	1125,46		Hellas 470 s nohou	15	1606,00	
319 koupelna dětí_instalace	1008,40		Hellas 470 s nohou	15	1435,00	

Tabulka 15 – Návrh otopných těles pro teplotní spád 75/65 °C

## 4 Větrání hlavní obytné místnosti

Do prostoru je vháněn vzduch z průduchů za vstupem u přípravný jídel a podél zimní zahrady. Odtah vzduchu je zajištěn průduchem v blízkosti schodiště. Předpokládá se rovnotlaká vzduchová výměna pouze v rámci tohoto prostoru, tzn., že množství přiváděného vzduchu je stejné jako množství odváděného a ostatní prostory tedy nejsou tímto faktem ovlivněny. Použitý vzduch se mísí ve směšovací komoře s čerstvým vzduchem zvenčí. Podíl cirkulačního vzduchu je v rozmezí 10 - 15 % z celkového množství přiváděného čerstvého vzduchu. Tím je dodržena hygienická norma na požadovanou výměnu vzduchu a současně dochází k využití všech energetických zisků v objektu. Množství potřebného vzduchu je stanoveno dle doporučených hodnot z ČSN EN 15665. Následující tabulka uvádí základní případy.

Obytný dům - Společné prostory, technické podlaží	4 m <sup>3</sup> /(h.m <sup>2</sup> ) podlahové plochy
Administrativní budovy - Schodiště, chodby, komunikace	3 m <sup>3</sup> /(h.m <sup>2</sup> ) podlahové plochy
Obchodní budovy – prodejní plochy	8 m <sup>3</sup> /(h.m <sup>2</sup> ) podlahové plochy
Garáže	300 m <sup>3</sup> /h na stání
Vzdělávací budovy - chodby, komunikace	3 m <sup>3</sup> /(h.m <sup>2</sup> ) podlahové plochy

Tabulka 16 - Doporučené hodnoty množství vzduchu

Plocha místnosti: 244 m<sup>2</sup>

Doporučené množství vzduchu pro obytnou místnost: 4 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>

Doporučené množství vzduchu: 976 m<sup>3</sup>/h

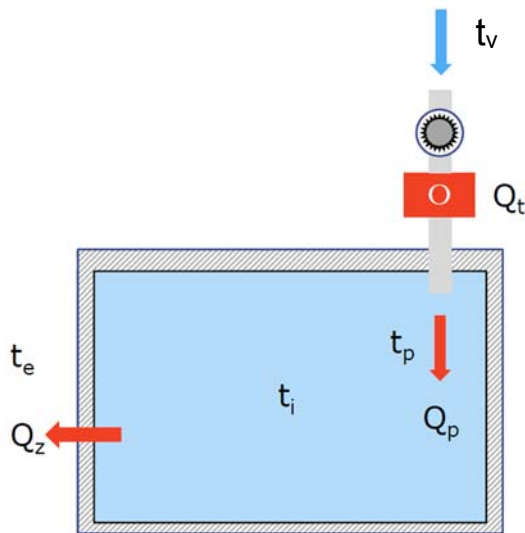
### 4.1 Chlazení v letních měsících

V létě se použitý vzduch mísí s čerstvým, částečně chladí a vlhčí a vhání zpět do místnosti. Ovšem vzhledem k velikosti prostoru a značným solárním ziskům má přiváděný vzduch zanedbatelný vliv na teplotě výsledného vnitřního prostředí. Avšak prostor je tímto vzduchem větraný doporučeným množstvím, viz výše.

### 4.2 Teplovzdušné vytápění hlavní obytné části v zimních měsících

Hlavní obytná místnost spolu s knihovnou je v zimě vytápěna 42 °C ohříváním vzduchem. Použitý vzduch je odveden, smíchán s čerstvým a zahřátý na výše uvedenou teplotu vháněn zpět do místnosti.

Je zřejmé, že tepelný výkon dodaného vzduchu musí být minimálně stejný jako tepelné ztráty prostoru prostřednictvím prostupu a infiltrace vnějšího vzduchu. Viz následující obrázek.



kde:

$t_v$  je teplota směsi vzduchu na vstupu do ohřivacího systému ( $^{\circ}\text{C}$ ),

$Q_t$  je výkon nutný na ohřev vzduchu na teplotu  $t_p$  (W),

$Q_p$  je výkon přiváděného vzduchu (W),

$t_p$  je teplota přiváděného vzduchu ( $^{\circ}\text{C}$ ),

$t_i$  je vnitřní teplota ( $^{\circ}\text{C}$ ),

$Q_z$  je tepelná ztráta místnosti (W),

$t_e$  je venkovní teplota ( $^{\circ}\text{C}$ ),

Obrázek 22 – Bilance tepelné zátěže

#### 4.2.1 Potřebné množství vzduchu na pokrytí tepelných ztrát

$$V_p = \frac{Q_z}{\rho \cdot c_a \cdot \Delta t} \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (26)$$

kde:

$V_p$  je množství přiváděného vzduchu ( $\text{m}^3/\text{h}$ ),

$\rho$  je hustota vzduchu ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ),

$c_a$  je měrná tepelná kapacita vzduchu ( $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ),

$\Delta t$  je rozdíl teplot mezi přiváděným a interiérovým vzduchem(-),

$Q_z$  je tepelná zátěž, nebo ztráta interiéru (W),

po dosazení:

$$V_p = \frac{(4593,08+3444,01) \cdot 3600}{1,112 \cdot 1013 \cdot 22} = 1085,12 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \gg 1100 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$$

#### 4.2.2 Výkon nutný pro ohřev vzduchu na teplotu $t_p$

$$Q_t = V_p \cdot \rho \cdot c_a \cdot (t_p - t_v) \quad (\text{W}) \quad (27)$$



kde:

- $Q_t$  je výkon nutný pro ohřev vzduchu (W),  
 $V_p$  je množství přiváděného vzduchu ( $\text{m}^3/\text{h}$ ),  
 $\rho$  je hustota vzduchu ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ),  
 $c_a$  je měrná tepelná kapacita vzduchu ( $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ),  
 $t_p$  je teplota přiváděného vzduchu ( $^\circ\text{C}$ ),  
 $t_v$  je teplota směsi vzduchu na vstupu do ohřívacího systému ( $^\circ\text{C}$ ),

Teplotu  $t_v$  určíme z kalorimetrické rovnice, známe poměr venkovního a odváděného vzduchu pro smísení.

$$m_i \cdot c_i \cdot (t_v - t_i) = m_e \cdot c_e \cdot (t_v - t_e) \quad (-) \quad (28)$$

po úpravě:

$$\rho_i \cdot V_i \cdot c_i \cdot (t_v - t_i) = \rho_e \cdot V_e \cdot c_e \cdot (t_v - t_e) \quad (-)$$

$$t_v = \frac{\rho_e \cdot V_e \cdot c_e \cdot t_e + \rho_i \cdot V_i \cdot c_i \cdot t_i}{\rho_i \cdot V_i \cdot c_i + \rho_e \cdot V_e \cdot c_e}$$

kde:

- $t_v$  je teplota směsi vzduchu na vstupu do ohřívacího systému ( $^\circ\text{C}$ ),

index  $e$  značí venkovní vzduch a index  $i$  vnitřní odváděný vzduch.

po dosazení:

$$t_v = \frac{1,325 \cdot 0,85 \cdot 1100 \cdot 1007 \cdot (-12) + 1,188 \cdot 0,15 \cdot 1100 \cdot 1010 \cdot 20}{1,188 \cdot 0,15 \cdot 1100 \cdot 1010 + 1,325 \cdot 0,85 \cdot 1100 \cdot 1007} = 13,69^\circ\text{C}$$

$$Q_t = 1100 \cdot 1,2 \cdot 1007 \cdot (42 - 13,69) \cdot 60^{-2} = 10452,996 \text{ W}$$

### 4.2.3 Výpočet dle ČSN EN 12831

Ke srovnání je uveden přístup dle normy ČSN EN 12831, kde vstupuje ohříváný vzduch jako tepelný zisk a po sečtení s tepelnou ztrátou infiltrací vzduchu a prostupem tepla by místnost neměla vykazovat žádné tepelné ztráty.

V následující tabulce je stanovena tepelná ztráta větráním s přihlédnutím na nucené větrání místnosti, resp. teplovzdušným vytápěním. Míňusová hodnota znamená tepelný zisk.

Označení místnosti			213, 214 hlavní obytná místnost_ instalace / knihovna		
Objem místnosti	$V_i$	m <sup>3</sup>	633,09		
Výpočtová venkovní teplota	$\theta_e$	°C	-12		
Výpočtová vnitřní teplota	$\theta_{int,i}$	°C	20		
<b>Nejmenší hygienické požadavky</b>	Nejmenší hygienická intenzita výměny vzduchu	$n_{min,i}$	h <sup>-1</sup>	0,50	
	Nejmenší hygienické množství vzduchu	$V_{min,i}$	m <sup>3</sup> /h	316,55	
<b>Množství vzduchu infiltrací</b>	Nechráněné otvory	–	na jedn.	5	
	Intenzita výměny vzduchu při 50 Pa	$n_{50}$	h <sup>-1</sup>	7	
	Činitel zaclonění	$e_i$	na jedn.	0,03	
	Výškový korekční činitel	$\varepsilon_i$	na jedn.	1,00	
	Množství vzduchu infiltrací $\check{V}_{inf,i} = 2 \cdot V_i \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot \varepsilon_i$	$\check{V}_{inf,i}$	m <sup>3</sup> /h	265,90	
<b>Množství vzduchu, teploty a korekční činitelé</b>	Odváděný vzduch	$\check{V}_{ex,i}$	m <sup>3</sup> /h	1100,00	
	Přiváděný vzduch	$\check{V}_{su,i}$	m <sup>3</sup> /h	1100,00	
	Teplota přiváděného vzduchu	$\theta_{su}$	°C	42	
	Redukční činitel	$f_{v,i}$	na jedn.	-0,69	
	Vzduch dodávaných ze o sousedících místnosti	$\check{V}_{ex,i} - \check{V}_{su,i}$	m <sup>3</sup> /h	0,00	
	Přebytek odváděného vzduchu pro celou budovu $\check{V}_{mech,inf} = \sum \check{V}_{ex,i} - \sum \check{V}_{su,i}$	$\check{V}_{mech,inf}$	m <sup>3</sup> /h	0,00	
	Přebytek odváděného vzduchu pro jednotlivé místnosti	$\check{V}_{mech,inf,i}$	m <sup>3</sup> /h	0,00	
<b>Výpočet tepelné ztráty větráním</b>	Celkové korigované množství vzduchu $\check{V}_i = \check{V}_{inf,i} + \check{V}_{su,i} \cdot f_{v,i} + \check{V}_{mech,inf,i}$	$\check{V}_i$	m <sup>3</sup> /h	-490,35	
	Návrhový součinitel tepelné ztráty	$H_{v,i}$	W/K	-166,72	
	Teplotní rozdíl	$(\theta_{int,i} - \theta_e)$	°C	32	
	Samotný tepelný výkon přiváděného vzduchu	$Q_p$	W	-8228,00	
	Návrhová tepelná ztráta větráním $\Phi_{v,i} = H_{v,i} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e)$	$\Phi_{v,i}$	W	-5335,02	

Tabulka 17 - Výpočet tepelné ztráty větráním pro hlavní obytnou místnost

Z této tabulky si povšimneme hodnoty samotného tepelného výkonu, resp. tepelného zisku. Porovnáme-li hodnoty s tabulkou 10, je zřejmé, že jsou tepelné ztráty pokryty (8228 W > 8037,09 W). Ve skutečnosti vzniká v tomto případě při tomto postupu výpočtu ještě další rezerva na straně bezpečnosti vlivem toho, že při nuceném větrání není uvažováno nejmenší hygienické množství vzduchu, které je větší než množství vzduchu infiltrací a v případě přirozeného větrání je rozhodující.

## **5 Závěr**

Práce demonstruje kompaktnost a komplexnost návrhu prostřednictvím BIM nástrojů, zejména tedy pro vytápění. Poukazuje na úskalí, omezení a problémy které takový návrh doprovází a jak je případně vyřešit nebo nějakým způsobem obejít. Ukazuje jak výstupní data interpretovat, číst v nich, třídít a chápat jejich význam. Porovnává výstupy ze dvou odlišných metod výpočtu stejného problému a na základě toho utváří určitou představu o procesech, které se dějí na pozadí algoritmu. Tato práce je více chápána jako analýza a snaha o pochopení, jak program funguje a napomoci k rozhodování, zda-li je to dobrý nástroj pro provádění kompletních návrhů. Nebylo cílem mít v ruce konkrétní návrh pro daný objekt, ale spíše ověření vhodnosti užití BIM nástroje.

## 6 Seznam použitých veličin

ČSN EN 12831

Značky	Popis značky	Jednotky
<i>a, b, c, f</i>	různé korekční činitelé	—
<i>A</i>	plocha	m <sup>2</sup>
<i>B'</i>	charakteristický rozměr	m
<i>c<sub>p</sub></i>	měrná tepelná kapacita při konstantním tlaku	J/(kg·K)
<i>d</i>	tloušťka	m
<i>e<sub>i</sub></i>	stínící činitel	—
<i>e<sub>x</sub>, e<sub>i</sub></i>	korekční činitelé pro vystavení vlivu povětrnosti (expozici)	—
<i>G<sub>w</sub></i>	korekční činitel pro podzemní vodu	—
<i>h</i>	součinitel přestupu tepla	W/(m <sup>2</sup> ·K)
<i>H</i>	součinitel tepelné ztráty <sup>x)</sup>	W/K
<i>l</i>	délka	m
<i>n</i>	intenzita výměny venkovního vzduchu	h <sup>-1</sup>
<i>n<sub>50</sub></i>	intenzita výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa mezi vnějším a vnitřním prostředím budovy	h <sup>-1</sup>
<i>P</i>	obvod podlahy (vnější hranice A)	m
<i>Q</i>	množství tepla, množství energie	J
<i>T</i>	termodynamická (absolutní) teplota (Kelvinova stupnice)	K
<i>U</i>	součinitel prostupu tepla	W/(m <sup>2</sup> ·K)
<i>v</i>	rychlost větru	m/s
<i>V</i>	objem	m <sup>3</sup>
<i>Ḃ</i>	objemový tok vzduchu	m <sup>3</sup> /s
<i>ε</i>	výškový korekční činitel	—
<i>Φ</i>	tepelná ztráta; tepelný výkon	W
<i>Φ<sub>HL</sub></i>	tepelný výkon	W
<i>η</i>	účinnost	%
<i>λ</i>	součinitel tepelné vodivosti	W/(m·K)
<i>θ</i>	teplota ve stupních Celsia	°C
<i>ρ</i>	hustota vzduchu při <i>θ<sub>nt,i</sub></i>	kg/m <sup>3</sup>
<i>ψ</i>	lineární činitel prostupu tepla	W/(m·K)

Tabulka 18 – Značky a jednotky

a: vzduch	h: výška	o: provozní, funkční
A: funkční část budovy	inf: infiltrace	r: průměrný sálavý
bdg, B: budova	int: vnitřní	RH: zátáp
bf: podzemní podlaží, podlaha ve sklepe	i, j: vytápěný prostor	su: přívod
bw: stěna v podzemním podlaží	k: stavební část	T: přenos
e: vnější, venkovní	l: tepelný most	tb: druh budovy
env: plášť, obálka	m: roční průměr	u: nevytápěný prostor
equiv: ekvivalentní	mech: strojní, nucený	V: větrání
ex: odvod, odtah	min: nejmenší	Δθ: vyšší vnitřní teplota
g: zemina, půda	nat: přirozený	W: voda, okno/stěna

Tabulka 19 - Indexy

## 7 Použité zdroje

### Bibliografie

- [1] ČSN EN 12831: *Tepelné soustavy v budovách – Výpočet tepelného výkonu*, 2005
- [2] ČSN 73 0540-2: *Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky*, 2011
- [3] ČSN 73 0540-3: *Tepelná ochrana budov – Část 3: Návrhové hodnoty veličin*, 2005
- [4] ČSN 73 0540-4: *Tepelná ochrana budov – Část 4: Výpočtové metody*, 2005
- [5] ČSN EN ISO 13370: *Tepelné chování budov - Přenos tepla zeminou - Výpočtové metody*, 2009
- [6] ČSN EN ISO 13790: *Energetická náročnost budov - Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení*, 2009
- [7] ČSN EN 15665: *Větrání budov - Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov*, 2009
- [8] ČSN 73 0548: *Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů*, 1986
- [9] ČSN EN 15251: *Vstupní parametry vnitřního prostředí pro návrh a posouzení energetické náročnosti budov s ohledem na kvalitu vnitřního vzduchu, tepelného prostředí, osvětlení a akustiky*, 2011

### Webové zdroje

- [10] Oborový portál <http://www.tzb-info.cz/>
- [11] Výrobce litinových radiátorů <http://www.viadrus.cz/>
- [12] Oficiální stránky vily Tugendhat <http://www.tugendhat.eu/>

### Technické předpisy

- [13] Zákon č. 406/2000 Sb v aktuálním znění se všemi změnami
- [14] Vyhláška č. 230/2015 Sb., kterou se mění vyhláška č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov
- [15] Vyhláška č. 193/2007 Sb., kterou se stanoví podrobnosti účinnosti užití energie při rozvodu tepelné energie a vnitřním rozvodu tepelné energie a chladu