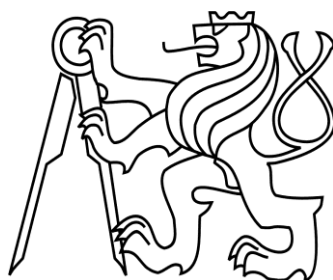


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra technických zařízení budov



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Praha 2019

Fedorchenko Kristina

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra technických zařízení budov

**VÝPOČET TEPELNÉHO VÝKONU A
NAVRHOVÁNÍ OTOPNÝCH TĚLES V
INFORMAČNÍM MODELU BUDOVY (BIM)**

CALCULATION OF HEAT LOSSES AND DESIGN OF HEATING
RADIATORS IN BUILDING INFORMATION MODEL

Autor: Fedorchenko Kristina
Studijní program: Architektura a stavitelství
Studijní obor: Architektura a stavitelství
Katedra: Katedra technických zařízení budov
Rok zpracování: 2019
Vedoucí práce: Ing. Stanislav Frolík, Ph.D.



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Fedorchenko Jméno: Kristina Osobní číslo: 458780

Zadávací katedra: Katedra technických zařízení budov K11125

Studijní program: (B3502) Architektura a stavitelství

Studijní obor: (3501R011) Architektura a stavitelství

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Výpočet tepelného výkonu a navrhování otopných těles v informačním modelu budovy (BIM)

Název bakalářské práce anglicky: Calculation of heat losses and design of heating radiators in building information model

Pokyny pro vypracování:

Teoretická část:

Výpočet tepelného výkonu a navrhování otopných těles v souvislosti s použitím informačního modelu budovy

Praktická část:

1) Vytvoření nástroje pro výpočet tepelného výkonu jednozónového modelu.

2) Návrh otopných těles v informačním modelu budovy.

2) Ověření nástroje se standarním ručním výpočtem tepelného výkonu budovy bytového domu.

Seznam doporučené literatury:

ČSN EN 12831 Energetická náročnost budov - Výpočet tepelného výkonu, ČSN EN ISO 6946 Stavební prvky a stavební konstrukce - Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla - Výpočtová metoda

prof. Ing. Karel Kabele: Technická zařízení budov, ČVUT (2013)

Jiří Bašta, prof. Ing. Karel Kabele: Otopné soustavy teplovodní (2008)

Jiří Bašta: Otopné plochy - Otopná tělesa (2016)

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Stanislav Frolík, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 21.2.2019 Termín odevzdání bakalářské práce: 20.5.2019

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

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“.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Prohlášení

Prohlašuji, že na této bakalářské práci jsem pracovala samostatně pod odborným vedením Ing. Stanislava Frolíka, Ph.D. a informace jsem čerpala z literatury uvedené dále.

Nemám námitek proti použití 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 autorského zákona.

V Praze dne 22. května 2019

.....
Fedorchenko Kristina

Poděkování

Chtěla bych poděkovat svému vedoucímu bakalářské Ing. Stanislavu Frolíku, Ph.D. za odborné vedení, za pomoc a rady při zpracování této práce. Děkuji také Ing. Romanu Macháčkovi za konzultace v softwarech Autodesk Revit a Microsoft Visual Studio.

Obsah

Abstrakt	7
Seznam použitých zkratek	8
Úvod	9
1 Současný stav poznání	11
1.1 BIM	11
1.1.1 Definice BIM	11
1.1.2 Management BIM modelů	13
1.1.4 Využití BIM	15
1.1.5 BIM software	16
1.1.6 Porovnání BIM projektování s klasickým přístupem projektování staveb.....	18
1.2 TZB v BIM.....	24
2 Výpočet tepelných ztrát	26
2.1 Rozdíl s předchozí normou	26
2.2 Současná norma ČSN EN 12831-1	27
2.3 Návrhový tepelný výkon pro vytápěný prostor	27
2.3.1 Univerzální metoda	27
2.3.2 Zjednodušená metoda.....	28
2.4 Návrhové tepelné ztráty prostupem vytápěného prostoru	28
2.4.1 Univerzální metoda	28
2.4.2 Zjednodušená metoda.....	35
2.5 Celková návrhová tepelná ztráta větráním	37
2.5.1 Univerzální metoda	37
2.5.2 Zjednodušená metoda.....	45
2.6 Dodatečný zátopový výkon pro prostory s přerušovaným vytápěním	47
2.6.1 Univerzální metoda	47
2.6.2 Zjednodušená metoda.....	47
2.7 Časová konstanta.....	49
2.8 Teplotně nekorigované měrné tepelné toky	49
2.9 Vliv systému pro sdílení tepla ve vysokých místnostech.....	50
2.9.1 Průměrné vnitřní povrchové teploty.....	51
2.9.2 Průměrná teplota vnitřního vzduchu	52
3 Použití výpočtu tepelných ztrát ve vytvořeném nástroji	54
4 Aplikace nástroje na řešený příklad	66
4.1 Vstupní hodnoty	66
4.2 Ruční výpočet.....	72
4.3 Použití připraveného doplňku	73
5 Výstupy	78
6 Závěr	84
7 Použité zdroje	85
7.1 Literatura	85
7.2 Internetové zdroje.....	86

Abstrakt

Předmětem bakalářské práce je vytvoření nástroje pro výpočet tepelného výkonu jednozónovým modelem pro vytápěný prostor a návrh otopných těles v informačním modelu budovy. Pro ověření nástroje jako vzorový objekt bude použit model bytového domu Smíchov. Součástí práce je seznámení s informačním modelováním budov (BIM), porozumění tomu, jak je BIM vnímán, užíván a čím může ulehčit činnosti projektanta při výpočtu tepelných ztrát a navrhování otopných těles. Důležitá část bakalářské práce je seznámení s problematikou výpočtu tepelných ztrát včetně podrobného rozboru a vymezení základních pojmů. Cílem práce je poukázání na vhodnost použití BIM nástroje na výpočet tepelných ztrát a navrhování otopných těles pro českou legislativu.

Klíčová slova

Výpočet tepelných ztrát, vytápění, návrh otopných těles, informační model budovy, BIM

Abstract

The subject of this bachelor thesis is a creation of a program tool for the calculation of heat loss, and designing of heating element in one-zone room in the Building Information Modeling. I shall use a BIM model of an apartment house Smíchov for which the design will be made to test the tool. There will be a chapter about Information Building Modeling (BIM), how it is perceived and used and how it can make engineers work on calculation of heat loss and design of heating elements easier. Another important part of my thesis is an introduction to heat loss calculation and a detailed analysis of it. The aim of my thesis is to show BIM as a suitable tool for heat loss calculation and for a design of heating elements in accordance with Czech legislation.

Keywords

Heat loss calculation, heating, design of heating elements, Building Information Modeling, BIM

Seznam použitých zkratk

BEP	BIM Execution Plan
BIM	Building Information Modeling
BMP	BIM Management Plan
BOZP	Bezpečnost a ochrana zdraví při práci
CZ BIM	Odborná rada pro BIM
ČKAIT	Česká komora autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě
ČR	Česká Republika
ČVUT	České vysoké učení technické v Praze
DWG	Drawing (datový formát výkresů)
HIP	Hlavní inženýr projektu
IT	Informační Technologie
LOD	Level of Development nebo také Level of Detail
OT	Otopné těleso
SW	Software
TZB	Technická Zařízení Budov
VDC	Virtual Design and Construction
WAN	Wide Area Network
ZTI	Zdravotně technické instalace

Úvod

Technologie BIM (Building information modeling) je inovativním přístupem k projektování, výstavbě a údržbě budov a infrastruktury. Model vytvořený ve fázi konceptu obsahuje veškeré informace o architektonickém návrhu, ke kterému je možnost snadného přidání technologických a ekonomických informací o objektu a zajistit tak jejich propojení a závislost. Všechny informace o budově mohou být obsažené v jednom modelu. Výhoda přístupu je, že stavební objekt je skutečně vnímán jako celek. Změna v jednom parametru znamená automatickou změnu ve zbývajících souvisejících parametrech, výkresech, vizualizacích, specifikacích a dílčích komponentách. [1]

Využití technologie BIM pro tvorbu dokumentace je stále málo implementované, ačkoli koncepce modelování v BIM existuje od roku 1970.

Termín „Informační model budovy“ se poprvé objevil v článku G.A. van Nedervina a F. P. Tolmana v mezinárodním vědeckém časopisu „Automation in Construction“ v 70. letech. Termín „Stavební informační modelování“ (včetně zkratky „BIM“) se široce začal používat až o 10 let později. Velký přelom v BIM popularizaci nastal v roce 2002, když společnost Autodesk vydala dokument nazvaný Building Information Modeling a posléze software Revit. Brzy další dodavatelé softwaru také začali oznamovat svou účast v této oblasti. Díky umístění materiálů od společností Autodesk, Bentley Systems a Graphisoft, stejně jako dalších pozorovatelů v průmyslu v roce 2003 Jerry Lyserin pomohl popularizovat a standardizovat termín jako obecný název pro digitální reprezentaci procesu výstavby. [2,3]

Za poslední desetiletí se BIM rozvinul od technických konceptů do modelování budovy, které zahrnuje všechny fáze životního cyklu stavby. Změna přístupu k projektování má velký vliv na celý obor stavebního stavitelství. Dokonce došlo i ke změně České legislativy, ve které se objevil pojem BIM.

Ministerstvo průmyslu a obchodu ve spolupráci s Ministerstvem dopravy a Odbornou radou pro BIM dne 2. listopadu 2016 vypracovalo koncepci na základě usnesení vlády č. 958, o významu metody BIM (Building Information Modelling) pro stavební praxi v České republice. Vznikl plán pro vypracování veřejných zakázek.

O rok později vláda České republiky schválila zavádění metody BIM v ČR. Podle plánu nové vyhlášky bude technologie povinná pro zpracovávání nadlimitních veřejných zakázek od roku 2022. V roce 2019 došlo k několika změnám ohledně zavádění BIM, které vedly k souhlasu o využití dat v 3D modelu a koordinaci mezi projektanty. [4]

Aby bylo užívání technologie efektivní, projektant každé profese musí ovládat software. Klíčovým faktorem pro úspěšnou implementaci BIM pro ČR je schopnost a motivace českých projektantů naučit se tvořit funkční 3D a informační model.

Významná část bakalářské práce se zabývá vývojem nástroje pro zjednodušení výpočtu tepelných ztrát a navrhování otopných těles v softwaru, který je určen pro projektování v BIM. Software pro který byla aplikace vytvořena je Revit od společnosti Autodesk. Základem pro napsání této práce byla má znalost softwaru Revit, zkušenosti s prací v BIM a v programovacích nástrojích.

V bakalářské práci je popsáno, co je to BIM a vysvětleno, proč je důležité zlepšovat své znalosti v této technologii a nabírat nové zkušenosti. Navíc je uveden postup výpočtu tepelných ztrát podle aktuální české normy, který byl použit jako základ pro vývoj aplikace.

1 Současný stav poznání

1.1 BIM

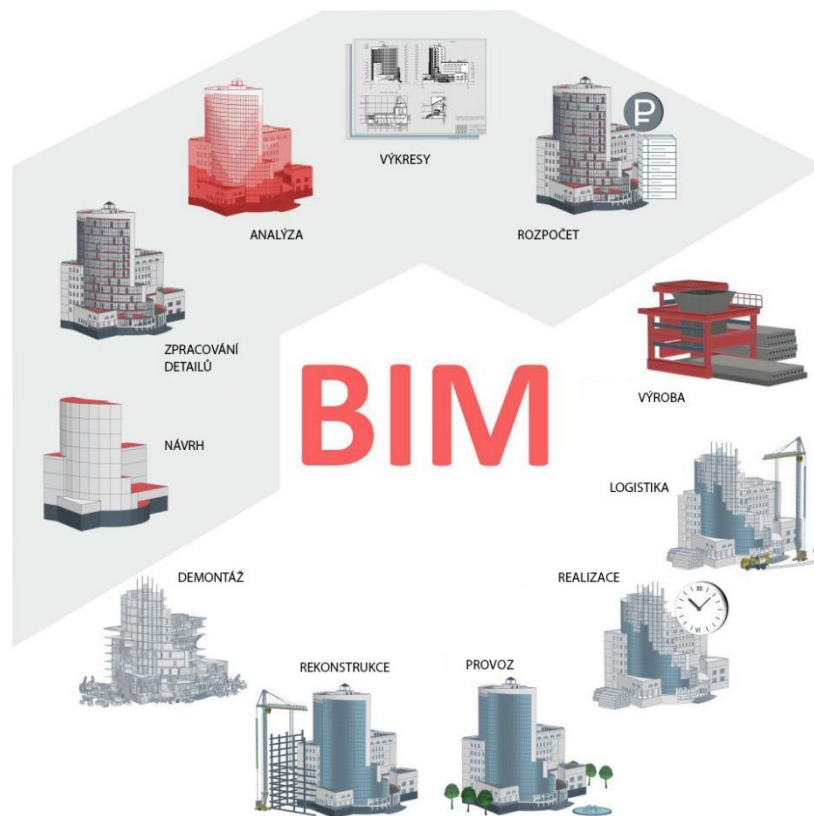
1.1.1 Definice BIM

Informační model budovy (v angličtině Building Information Modeling nebo Building Information Management, zkrácené BIM) je model budovy, který obsahuje parametry pro popis návrhových a konstrukčních procesů. V průběhu práce s jedním modelem budovy a výměně informací o objektu mezi všemi účastníky, kteří jsou do životního cyklu budovy zapojeni. Od myšlenky investora a prvních architektonických návrhů po demolici stavby.

Trojrozměrný model budovy nebo jiného stavebního objektu je spojený s informační databází, ve které mohou být každému prvku v modelu přiřazeny další parametry. Výhoda tohoto přístupu je, že stavební objekt je skutečně vnímán jako celek. Změna parametru jedné komponenty znamená automatickou změnu dalších parametrů dané komponenty nebo komponent a pohledů s ní souvisejících, tj. změny se výkresy, vizualizace, výkazy, harmonogram atd.

Národní projektový výbor Spojených států pro normy informačního modelování poskytuje následující definici:

“Building Information Modeling (BIM) je digitální reprezentace fyzikálních a funkčních vlastností objektu. BIM je zdroj informací o objektu, který slouží jako spolehlivý základ pro rozhodování v průběhu jeho životního cyklu, který je definován od prvního konceptu návrhu stavby až po demolici.” [5]



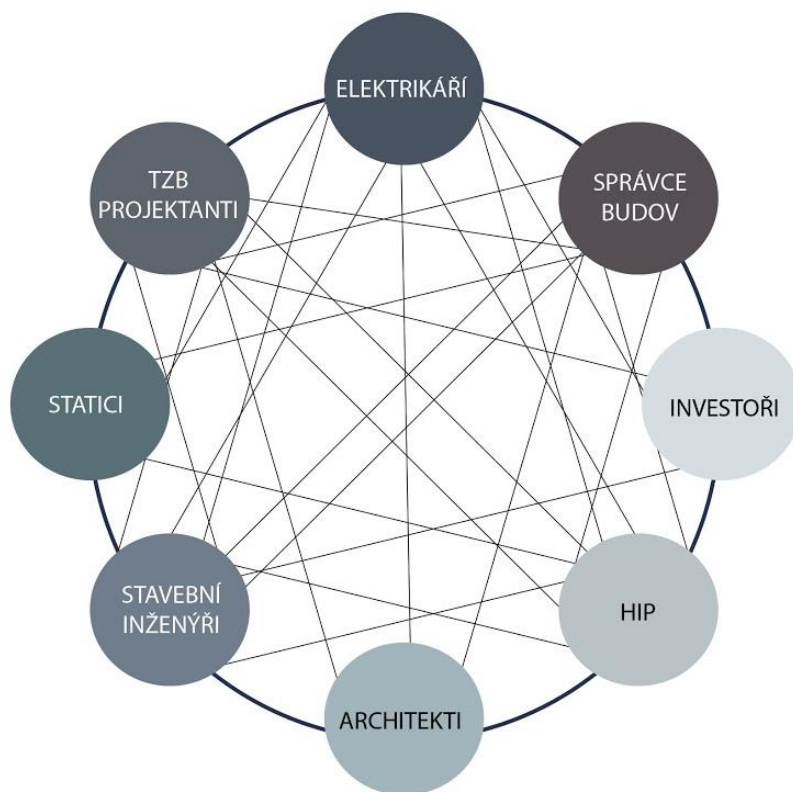
Obr.1 Životní cyklus stavby v BIM (Zdroj: [6])

Klasický přístup k navrhování budov je založen na dvourozměrných technických výkresech (půdorysy, řezy, pohledy atd.). Projektování stavebních modelů a přidávání informací k nim souvisejících v BIM umožňuje kombinaci třech hlavních prostorových rozměrů (šířku, výšku a hloubku) s časovým rozměrem jako dimenzí čtvrtou (4D) a cenou jako pátou (5D). Později byl zaveden šestý rozměr (6D), představující aspekty životního prostředí a udržitelnosti budov, a sedmý rozměr (7D), pro správu objektů po celou dobu jejich životnosti. Informační modely tak neobsahují pouze geometrické informace, ale také informace negeometrické. Zohledňují mnoho faktorů, například prostorové vztahy, analýzu osvětlení, geografické informace, počet a vlastnosti stavebních prvků, údaje o výrobcích a pod.[7]

Software využívající tuto technologii umožňuje informace ve stavebním modelu využívat pro další účely. Vložené údaje jsou automaticky konzistentní a jsou založeny na stejné definici v každé instanci objektu. Software využívající BIM technologii popisuje prvky stavby pomocí komponent, které mohou být i parametrické a jsou umístěny v modelu stavby. Jednou z vlastností každé komponenty je, že když někdo

provede změnu jejího parametru nebo změnu komponenty závislé na komponentě původní, pak se původní komponenta změní také.

Pro osoby zapojené do BIM procesu, je umožněno sdílení informačního virtuálního 3D modelu pro profese od návrhového týmu, který tvoří architekti, geodeti, stavebních inženýři až po generálního dodavatele a subdodavatele a posléze s vlastníky a provozovateli. Přitom každá profese přidává data do jediného společného sdíleného modelu. To snižuje možnost ztráty informací, která v klasickém přístupu nastává, když po schválení dokumentace pro stavební povolení začíná pracovat na dokumentace pro provedení stavby nový tým projektantů nebo když se informace poskytují dalším zúčastněným osobám jako je například investor či majitel projektu.

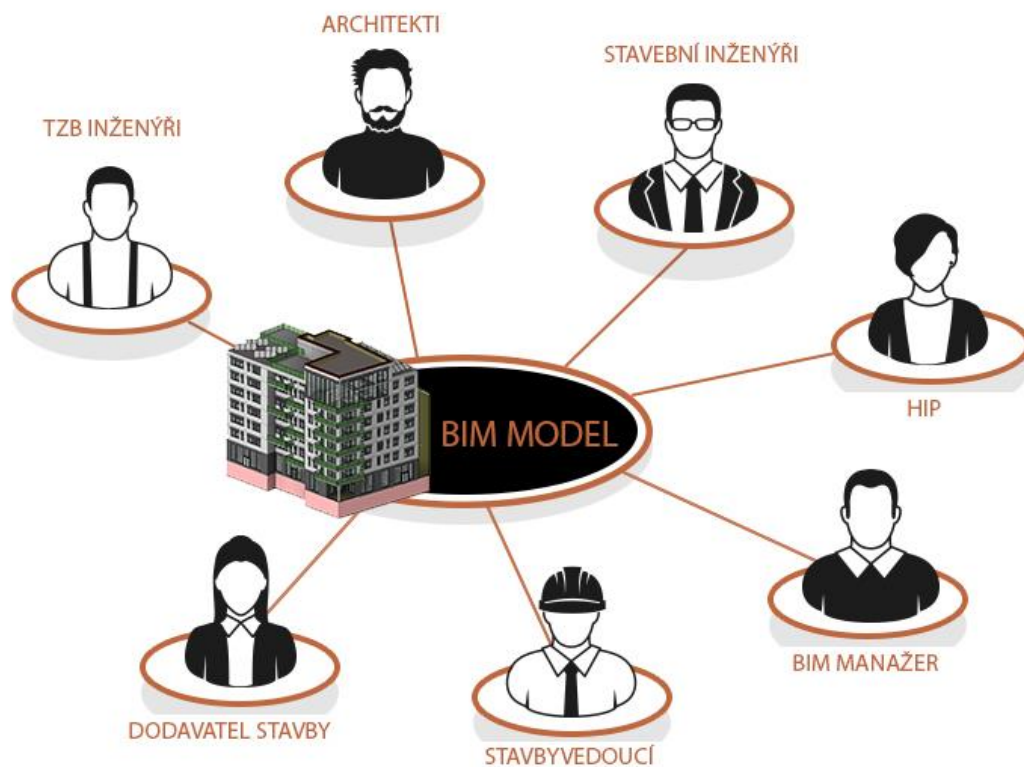


Obr.2 Spolupráce mezi profesemi na sdíleném informačním modelu (Vlastní zdroje)

1.1.2 Management BIM modelů

Tvorba informačního modelu začíná ideologickým konceptem projektu a končí provozem a demolicí budovy. Pro zajištění efektivního řízení informačních procesů v průběhu tohoto životního cyklu budovy může být jmenován manažer BIM, který

primárně spolupracuje s HIP. Manažer BIM do procesu vstupuje ve fázi předběžného návrhu budovy pro vývoj a sledování objektově orientovaného návrhu BIM v souladu s předpovězeným a kvantifikovaným výkonným opatřením, které podporuje interdisciplinární informační modelování budov. Dohlíží na správnost procesů a dat modelů, které popisují národní standardy a vnitrofiremní zvyklosti. BIM manažer pracuje se sdíleným modelem stavby, který sdílí se všemi projektanty, kteří se na tomto projektu podílejí. Usiluje o to, aby si všichni uživatelé modelu osvojili metodiku tvorby a užívání popsané v BMP plánu, který se definuje před založením sdíleného modelu. [9]



Obr.3 Životní cyklus stavby v BIM (Zdroj: [10])

1.1.4 Využití BIM

1.1.4.1 Ve stavebnictví

Hlavní zúčastněné profese, jako je architektura, stavební inženýrství, elektrotechnika, technické zařízení budovy, požárně bezpečnostní řešení stavby a další, by měly být korektně koordinovány, protože konstrukční elementy (například potrubí) nesmí kolidovat s vedením další profese nebo s konstrukcí objektu. Informační modelování budov pomáhá včas odhalit kolize a rozpory dílčích profesí a identifikovat přesná místa těchto problémů již ve fázi návrhu stavby.

Software využívající tuto technologii umožňuje podívat se na zařízení jednotlivých profesí ve virtuálním modelu před jejich realizací za účelem zvýšení bezpečnosti umístování zařízení a analýzy vlivů dalších potenciálních problémů. V libovolné fázi návrhu mohou subdodavatelé do modelu vkládat kritické informace a poznámky, které budou oznámeny dalším účastníkům procesu. Náklady tak mohou být minimalizovány a stavební materiály budou dodávány v době jejich potřeby, což usnadní celkovou realizaci stavby.

Počet, obecné vlastnosti stavebních materiálů a objem práce lze snadno určit ve fázi návrhu. Vizualně mohou být veškeré systémy infrastruktury, sestavy a sekvence zobrazeny v relativním měřítku s celým projektovaným objektem nebo skupinou projektovaných objektů. BIM také zabraňuje chybám pomocí detekce kolizí, což znamená, že počítačový model vizualně identifikuje specifická místa, kde se jednotlivá vedení, např. železobetonové konstrukce, potrubí nebo kabelové lávky kříží.

1.1.4.2 V provozu zařízení

Technologie zabraňuje ztrátě informací o objektu jak projektového a stavebního týmu, tak ztrátě informací od vlastníka či provozovatele budovy. Software umožní každé skupině zúčastněných osob přidávat vlastní informace a odkazovat na všechny použité informace během změn v informačním modelu.

Každý, kdo spolupracuje na sdíleném informačním modelu, vidí, kdo a proč změnu provedl. To může majiteli/provozovateli objektu přinést značné výhody. Například vlastník může ve své budově nalézt důkazy a příčiny úniku vody. Místo toho, aby fyzicky prozkoumával budovu obvyklými způsoby, může odkazovat na informační model a vidět, že v podezřelém místě je zařízení, ze kterého by mohla voda unikat. V parametrech komponenty má uložené informace o dimenzi zařízení, výrobci, výrobním čísle zařízení a jakékoliv další informace, které byly v minulosti do modelu

zapsány, v závislosti na odpovídajících výpočetních zdrojích, které jsou k dispozici pro obsluhu takového modelu.

Dynamické informace o budově, jako jsou měření senzorů a řídicí signály ze stavebních systémů, mohou být také začleněny do softwaru BIM pro podporu analýzy provozu a údržby budov. [11]

Technologie se také využívá pro vytvoření modelu stávajících staveb. Pro zaměření těchto staveb mohou být použity technologie, jako je například použití trojrozměrného laserového skenování a fotogrammetrických metod (jak jednotlivě, tak v kombinaci) pro získání přesných rozměrů objektu, které lze použít jako základ pro informační model. Modelování historické budovy vyžaduje předpoklady o znalosti konstrukčních norem, stavebních předpisech, stavebních metodách a materiálech používaných v daném historickém období. 3D modelování funkčního objektu historické budovy je složitější než projektování nového modelu během návrhu.

Jednou z výzev pro údržbu a řízení stávajících objektů je pochopení toho, jak lze BIM využít. Porozumění a implementace metod správy budov a principy údržby, které se propisují v celém životním cyklu stavebního objektu.

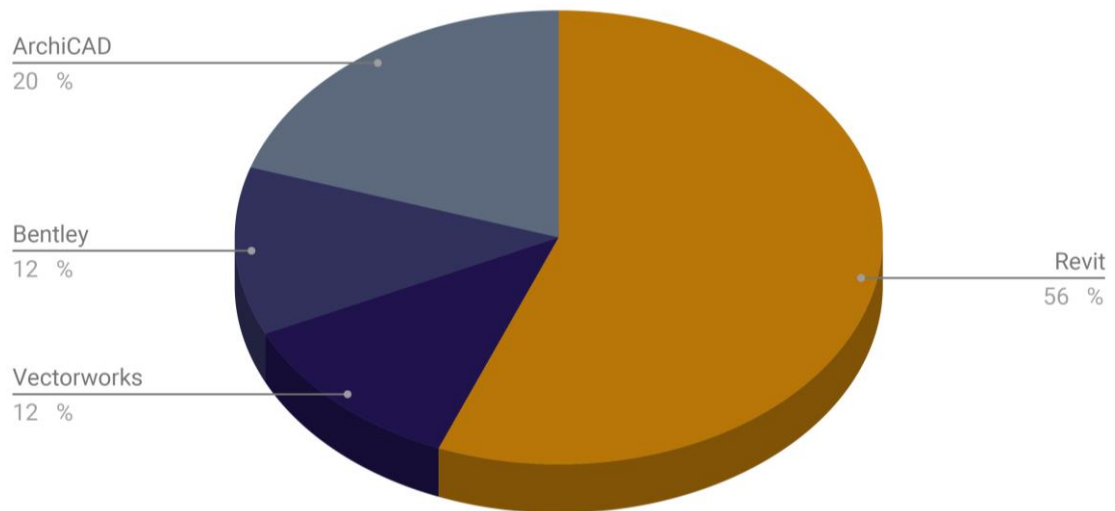
1.1.5 BIM software

První softwarové nástroje umožňující modelování budov ve 2D prostředí se objevily koncem 70. a počátkem 80. let a zahrnovaly produkty, jako je Chuck Eastman Building Description System a série GLIDE, RUCAPS, Sonata, Reflex a Gable 4D. Dřívější aplikace a vybavení potřebné k jejich uvedení do provozu byly drahé, což omezovalo jejich široké rozšíření. ArchiCAD Radar CH, vydaný v roce 1984, byl prvním simulačním softwarem dostupným na osobním počítači. [12]

Vzhledem k obtížnosti shromažďování všech nezbytných informací při práci s informačním modelem na stavebním projektu některé společnosti vyvinuly software speciálně navržený pro práci využívající informací obsažených v modelu. Tento software se liší od projekčních nástrojů využívající 2D CAD problematiku, jako je například AutoCAD, tím, že umožňují přidat další informace do modelu budovy jako je čas, náklady, informace o výrobcích, informace o udržitelnosti a údržbě apod.

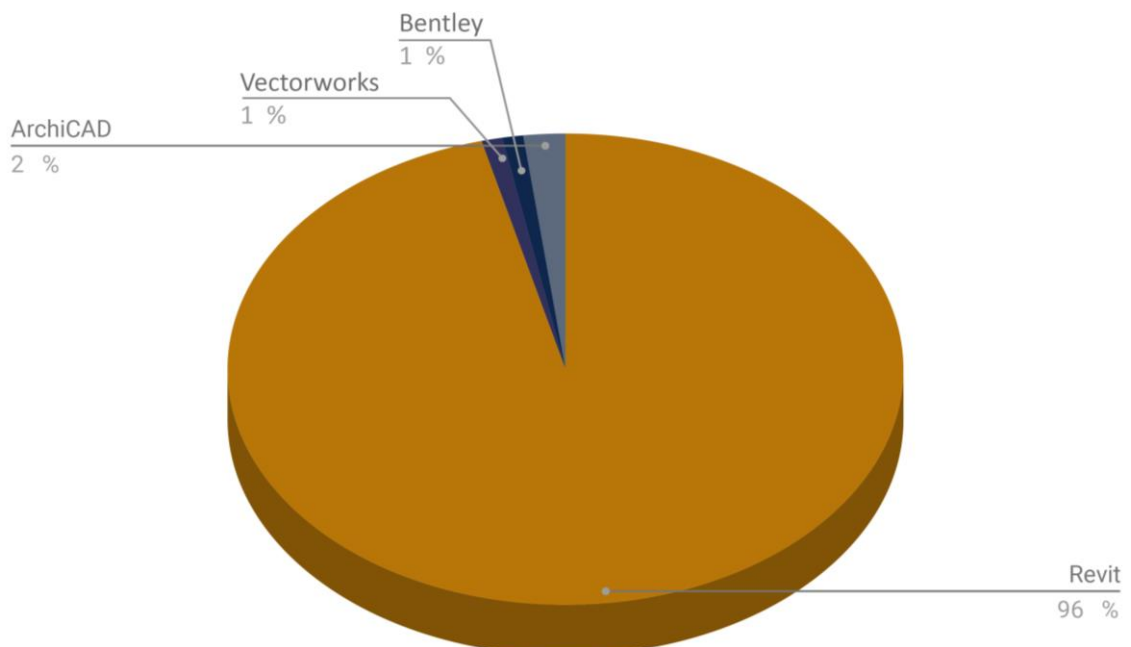
Nejpoužívanější softwary umožňující práce v informačním modelování budov jsou Autocad, Revit, Bentley a Vectorworks. V této bakalářské práci bude pro tvorbu informačního modelu budovy využít software Revit od společnosti Autodesk. Revit nese veškeré výhody a nevýhody, které jsou zmíněné v příští kapitole. Motivací pro volbu tohoto softwaru byl fakt, že Revit je nejpoužívanějším softwarem využívající

BIM technologii ve světě, což umožňuje spolupráci s největším počtem lidí (56 % lidí, které využívají BIM technologii, jsou uživatelé Revitu).



Obr.4 Diagram používání softwarů využívajících BIM technologii projektanty (Zdroj: [15])

Využití technologie pro profesi TZB, pod kterou spadá topenářská část, tvoří uživatelé softwaru Revit 96 %.



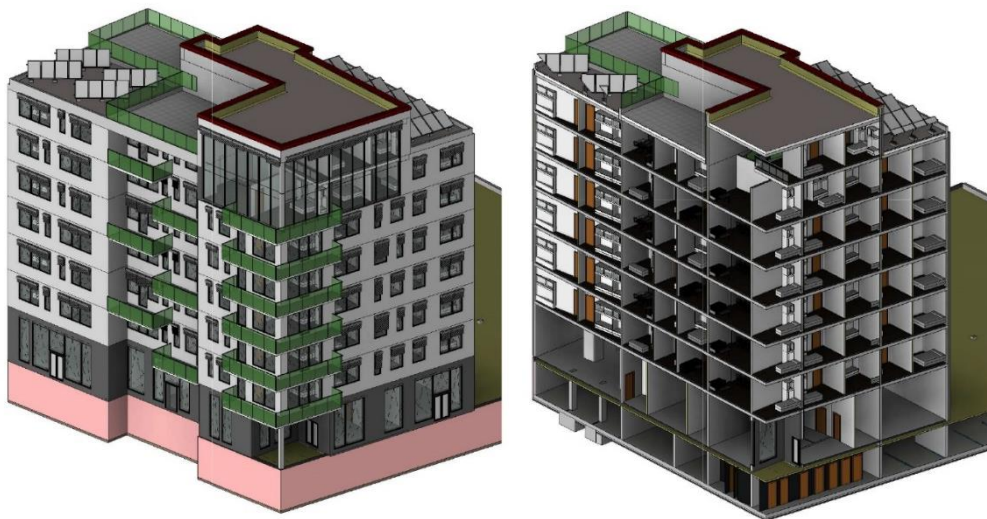
Obr.5 Diagram používání softwarů využívajících BIM MEP technologii projektanty (Zdroj: [15])

Software Revit také plně podporuje komunikaci se všemi dalšími produkty společnosti Autodesk, což umožňuje projektantům načítat stavební modely vytvořené v Revitu do jiných softwarů a využívat potenciál BIM modelů naplno.

Revit je poměrně flexibilní program. Ve srovnání s Archicadem projektant nemusí mít znalosti programování, aby vytvořil nové komponenty. Komponenty, popisky a symboly je jednoduché samostatně vymodelovat a přidat jim dynamické parametry.

1.1.6 Porovnání BIM projektování s klasickým přístupem projektování staveb

V současné době klasickým přístupem projektování staveb nazýváme přístup navrhování budov založený na dvourozměrných technických výkresech. Program AutoCAD 2D je jeden z nejpoužívanějších programů v klasickém projektování. Je zaměřen na řešení problémů, jako je přenesení ručního kreslení do počítače pro zrychlení tvorby výkresu a jeho úpravu. Software využívající BIM technologii jsou vhodné ne jenom pro tvorbu výkresů ale především pro porozumění celému stavebnímu objektu, který je rozsáhlý z hlediska informací. Programy, ve kterých je možné vytvářet Informační model budovy, mají potřebnou funkcionalitu a výkon pro automatické vykreslení pracovní dokumentace a automatickou tvorbu nových výkresů (půdorysů, řezů nebo pohledů), s jediným rozdílem, že model bude udělán poctivě. [13]



Obr.6 Informační model budovy a výřez informačním modelem budovy (Vlastní zdroje)

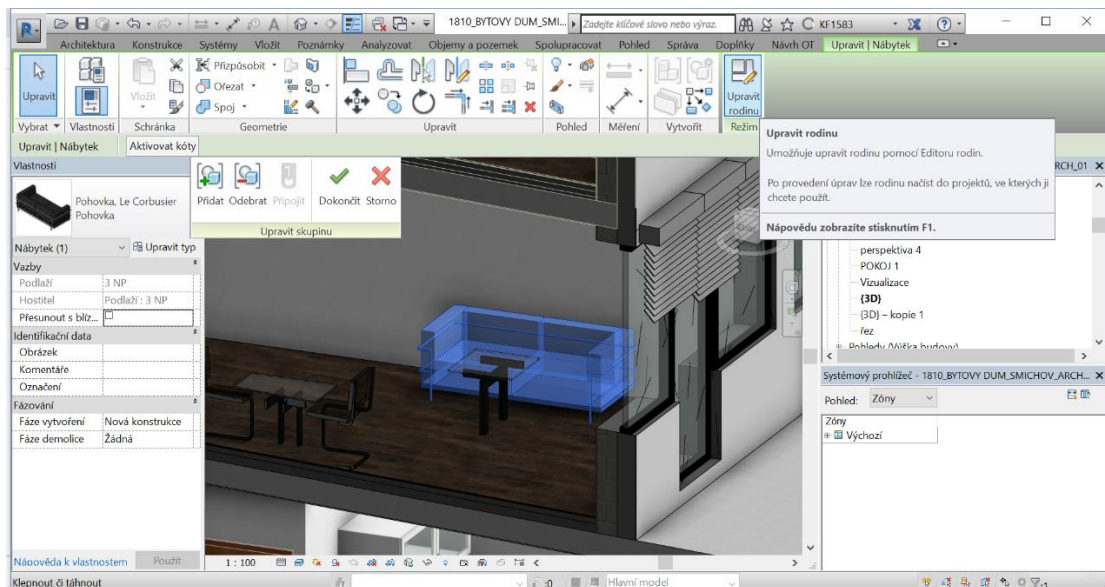
Nutné mít na paměti, že vedle softwaru využívající BIM technologii a 2D CAD softwaru také existuje software pouze pro tvorbu 3D modelu. Výsledek tohoto softwaru ovšem nelze nazývat informačním modelováním, protože se model skládá

pouze z informací geometrických. Může se jednat jen o 3D reprezentaci a model tak nenese žádné další informace o stavebních prvcích a podobně. Pro správné vytvoření a následné využívání informačního modelu je zapotřebí, aby model obsahoval i negeometrické informace.

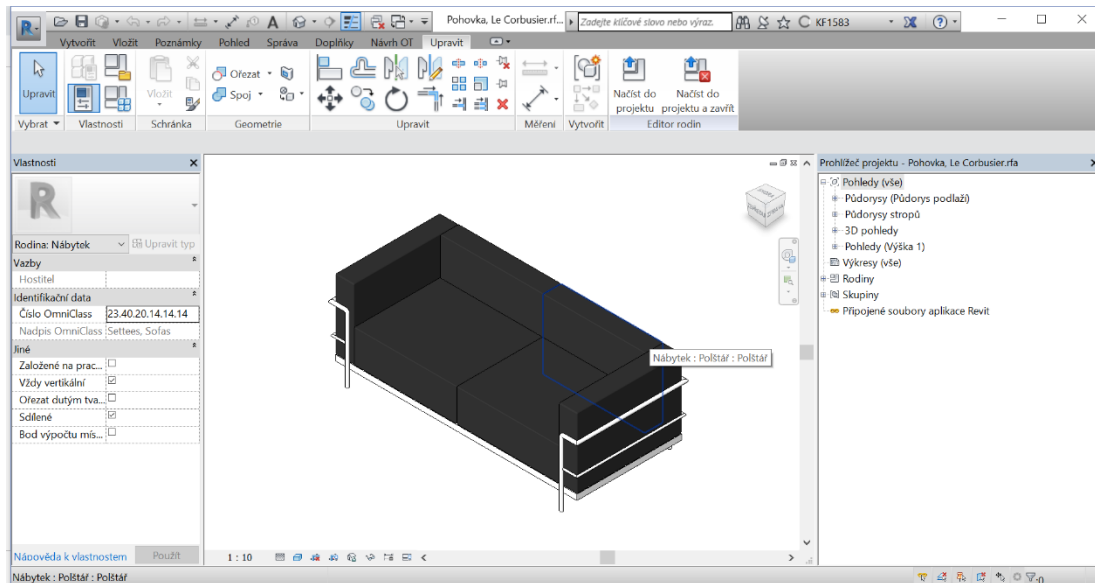
1.1.6.1 Výhody BIM

Výhodou technologie je, že software poskytuje knihovny komponent, které lze stáhnout zdarma či za úplatu buďto přímo z oficiálních stránek výrobce softwaru nebo od firem, které tyto objekty vytvářejí. Komponenty obsahují stavební prvky od stěn a oken po lampy a elektrické zásuvky.

Pokud knihovna komponent potřebný prvek neobsahuje (například atypický typ nábytku), uživatel může daný prvek vymodelovat sám pomocí modelovacích nástrojů, které software poskytuje a načíst si jej do stavebního modelu. Tento prvek si může pro budoucí potřebu přidat do své knihovny prvků.

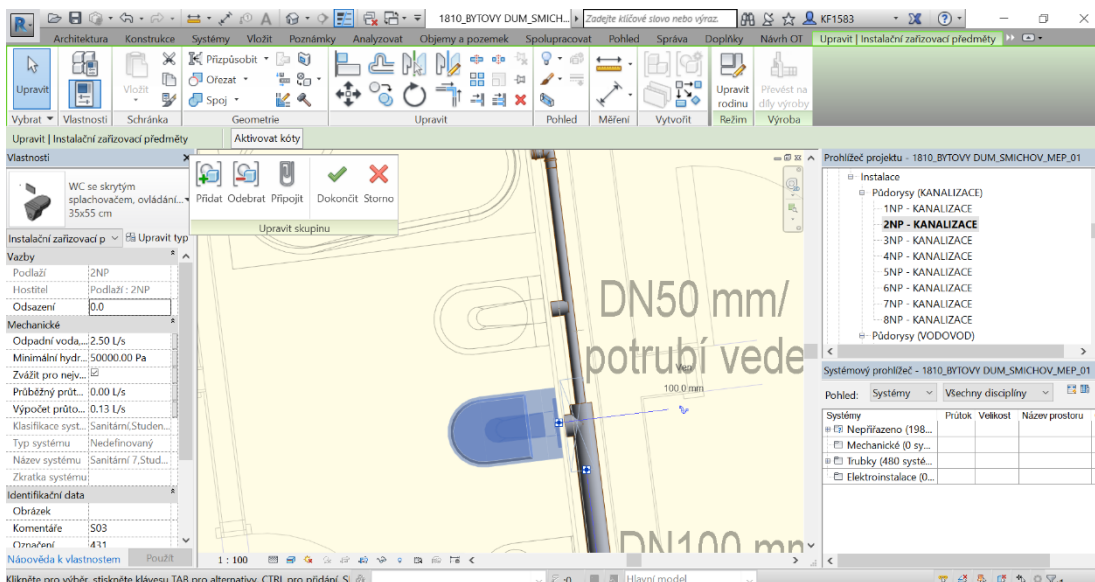


Obr.7 Výběr rodiny v informačním modelování budov (Vlastní zdroje)



Obr.8 Komponenta v informačním modelování budov (Vlastní zdroje)

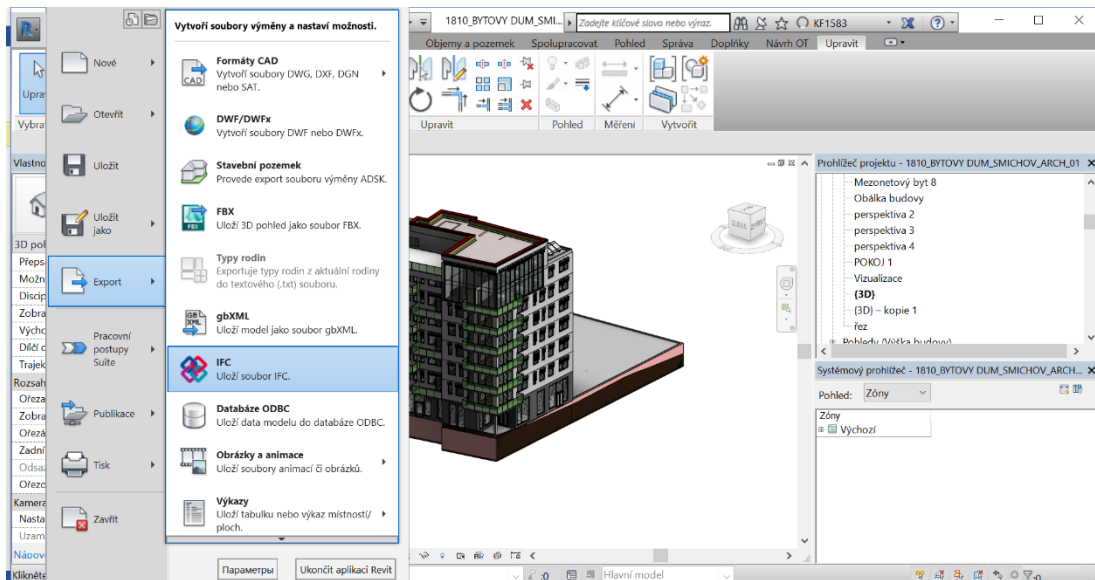
Jak již bylo zmíněno, jedna z největších výhod BIM technologie je umožnění práce ve stejnou dobu na jednom sdíleném modelu více lidem různých profesí. Výpočetní práce některých profesí jsou díky BIM jednodušší, než ruční výpočty, protože software umožňuje automatické výpočty pomocí vložených parametrů do modelu. Například pro výpočet dimenze vodovodního potrubí stačí pouze vložit do programu komponentu zařizovacího předmětu (která v sobě obsahuje informace o jmenovitém výtoku vody). Následně komponentu propojit s potrubím a automaticky dojde k výpočtu celkového průtoku a potřebné dimenze potrubí.



Obr.9 Technické údaje průtoku (Vlastní zdroje)

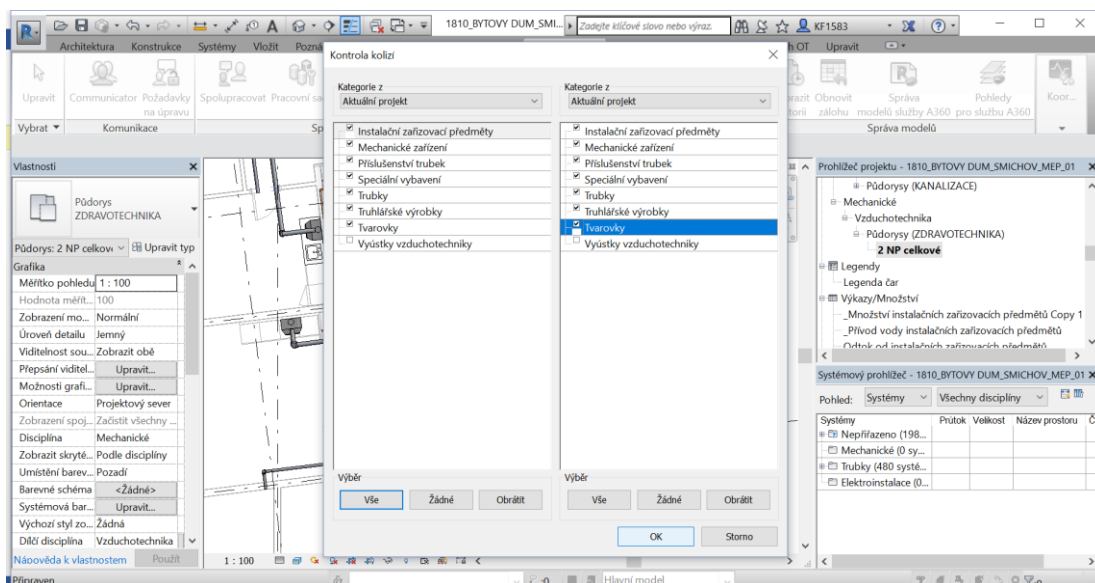
Model lze využít pro vytvoření analytického modelu, výpočet a umístění kusů potřebné výztuže v konstrukcích.

Pakliže software v sobě nemá implementovaný postup pro některý konkrétní výpočet (například výpočty, které stanovují lokální normy) je možné vyexportovat potřebná data z modelu do software, které daná profese využívá a výpočet provést v nich.

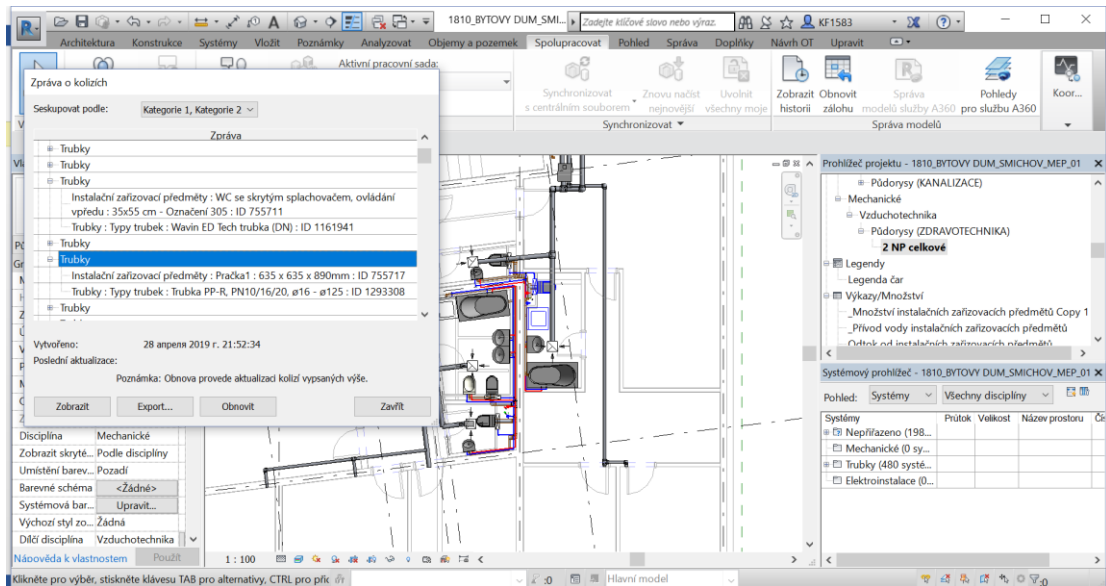


Obr.10 Převod do IFC (Vlastní zdroje)

Pro koordinaci profesí lze model stavby využít pro zjištění kolizí jednotlivých profesí. Pakliže se rozvody některých profesí kříží mezi sebou nebo s nosnými konstrukcemi, je v software možné spustit algoritmus, který kolize zjisti a vytvoří záznam, ve kterém jsou vypsané konkrétní prvky, které se kříží nebo je rovnou uživateli zobrazí.

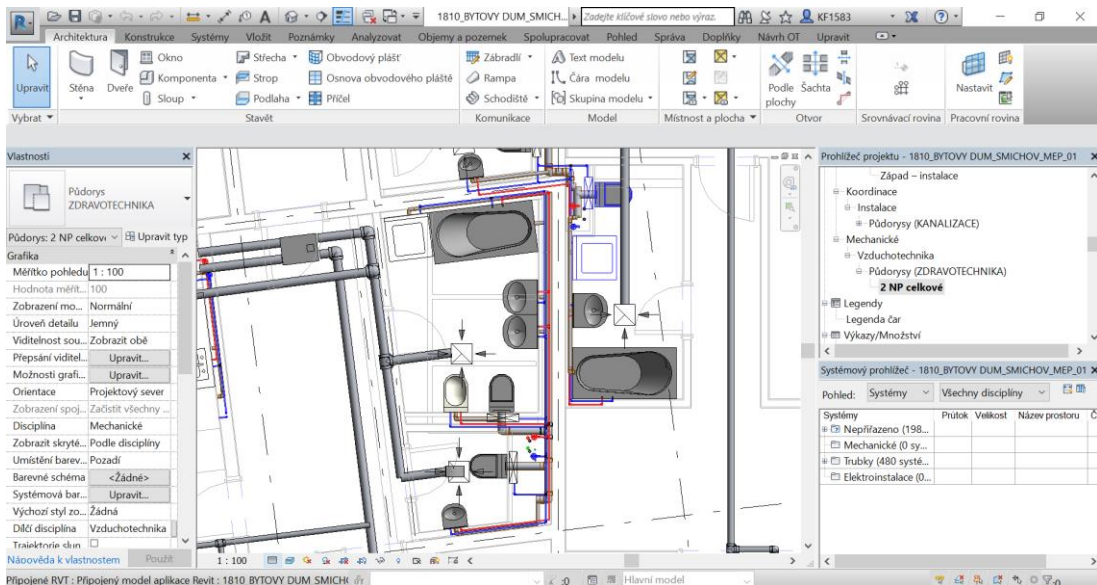


Obr.11 Hláška kolize [1] (Vlastní zdroje)

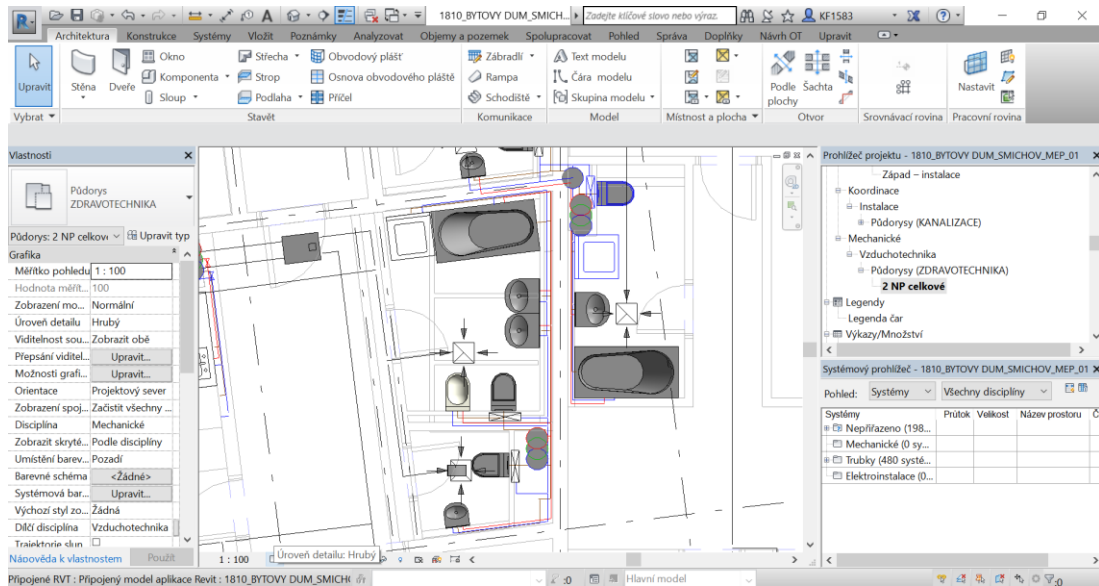


Obr.12 Hláška kolize [2] (Vlastní zdroje)

Další výhodou je, že v softwaru využívající informačního modelu budovy lze pracovat s různou úrovní podrobností (ve výkresech a informačních detailech). V pohledech je možné filtrovat nepotřebné komponenty a informace, což pomáhá při odevzdávání různých stupňů projektové dokumentaci stavebního objektu.

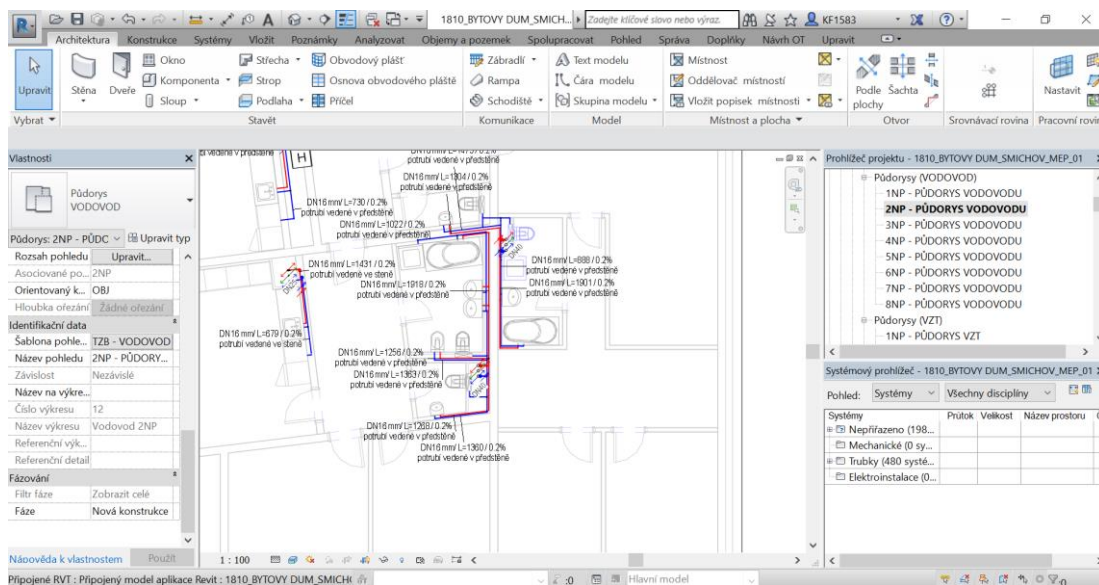


Obr.13 Různé úrovně podrobností [1] (Vlastní zdroje)

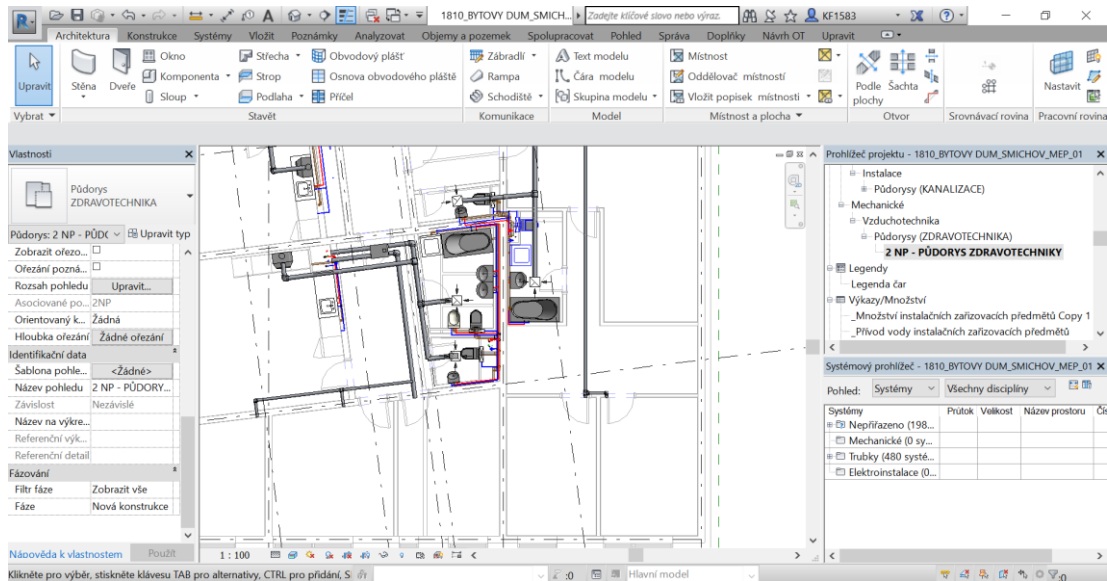


Obr.14 Různé úrovně podrobností [2] (Vlastní zdroje)

Je možné mít různé typy výkresů ve sdíleném modelu, což umožní rychle pracovat s různými profesemi zvlášť nebo dohromady pomocí jednoho modelu.



Obr.15 Půdorys vodovodu (Vlastní zdroje)



Obr.16 Půdorys zdravotechiky (Vlastní zdroje)

1.1.6.2 Nevýhody BIM

Jako každá technologie, i využití BIM má své nevýhody, o kterých je potřeba vědět. Software využívající tuto technologii vlastní nadnárodní společnosti a jejich trh je tak rozsáhlý, že většinou podporují pouze výpočetní postupy a normy velkých států. České lokální normy tak často chybí. Vzorce a výpočty v různých zemích jsou ale podobné. Pokud se však liší, některé softwarové produkty uživatelům nabízí tyto výpočty opravit podle jejich potřeb.

Potřeba prvky skutečně modelovat může zabrat více času, než při vykreslení při klasickém přístupu k projektování.

Dalším rizikem je, že projektant musí umět ovládat software, který využívá tuto technologii a nepřetržitě se v této problematice vzdělávat, což může řadu projektantů odradit. [14]

1.2 TZB v BIM

Hlavním cílem této bakalářské práce je automatizace výpočtu tepelných ztrát a návrh otopných těles. Výpočet tepelných ztrát a návrh otopných těles spadají pod část vytápění oboru Technického zařízení budov (TZB).

Technické zařízení budov je profesionální inženýrská disciplína, která se snaží o dosažení bezpečného a pohodlného vnitřního prostředí budovy a prostředí kolem něj. Údržba budovy, minimalizace jejích vlivů na životní prostředí a všechno ostatní, co souvisí se stavebnictvím, mechanickými elementy a přírodou je starostí lidí, zabývajících se Technickým zařízením budov.

Inženýři technického zařízení budov jsou zodpovědní za návrh, instalaci a provoz technických služeb v budovách (včetně mechanických, elektrických a zdravotnických systémů, označovaných také jako MEP nebo HVAC), aby byl zajištěn bezpečný, pohodlný a ekonomický provoz. Stavební inženýři TZB úzce spolupracují s projektanty jiných stavebních profesí, jako jsou architekti, statici a stavaři a další specialisté. Stavební inženýři TZB ovlivňují architektonické řešení budov ve vztahu k energetické účinnosti a vnitřnímu prostředí přes integrace lokální energetické výroby (např. fotovoltaiky integrované s fasádou), šetření celkové energie (např. rekuperace a navrhování pasivních domů a budov s nulovou spotřebou energie) a atd..

Jak je zmíněno v předchozích kapitolách. Projektování v BIM pomáhá usnadnit koordinaci technických profesí mezi sebou. Práce na sdíleném modelu umožňuje více uživatelům upravovat jeden model a možnost synchronizace informačního modelu dovoluje aktualizovat změny ostatních uživatelů bez zastavení práce ostatních projektantů na tomto modelu.

Profesionální znalosti stavebního TZB inženýra většinou zahrnuje výborné porozumění své specializaci a dobrou orientaci v jiných profesích. V rámci široké oblasti inženýrských služeb ve stavebnictví vznikají nové role například specializace v oblasti obnovitelných zdrojů energie, udržitelnosti, nízkouhlíkových technologií, energetického managementu, automatizace budov a informačního modelování budov (BIM), ve kterých by se TZB projektant měl také vyznat. [16]

V českém prostředí má profese TZB v BIM problematice jeden nedostatek. Tím je absence nástrojů provádějící podrobné výpočty přímo v informačním modelu dle platné legislativy. Pro návrh kotle, expanzní nádoby nebo nastavení a výběr armatur je potřeba využívat externí jiný software, jako například TechCON.

2 Výpočet tepelných ztrát

2.1 Rozdíl s předchozí normou

Současná aktuální norma, podle které bude proveden výpočet praktické části bakalářské práce, je ČSN EN 12831-1 Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu – Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3–3 od roku 2018. Před touto normou, v letech 2018 a 2019 byla vydána nová norma: ČSN EN 12831-1 Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu – Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3–3 v angličtině, která byla zrušena v roce 2018, a ČSN EN 12831-3 Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu – Část 3: Tepelný výkon pro soustavy teplé vody a charakteristika potřeb, Modul M8–2, Modul M8–3, která byla zrušena v roce 2019. Před tím od roku 2005 do roku 2018 byla platná norma evropská ČSN EN 12831, která byla napsaná v angličtině. Poslední napsaná norma v českém jazyce, která obsahuje velké rozdíly oproti té současné a kterou se doposud řídili projektanti v České Republice, je norma ČSN EN 12831 Otopné soustavy v budovách – Výpočtová metoda pro tepelné ztráty.

První rozdíl je, že se norma dělí na dvě části: zjednodušenou a univerzální.

Velký rozdíl nastává ve výpočtu tepelné ztráty prostupem tepla. Dříve se tepelná ztráta místnosti prostupem tepla počítala pomocí třech přírážek: přírážky na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí, přírážky na urychlení zátoku a přírážky na světovou stranu. V nové normě jsou tyto přírážky zanedbány a veličiny se stejnou hodnotou se objevují později jako součást jiných veličin. Například v nové normě se objevila nová hodnota zátokový výkon místnosti, která má stejný význam jako přírážka na urychlení zátoku.

Tepelná ztráta prostupem zeminou, v zjednodušené metodě nové normy má stejný postup výpočtu jako tepelná ztráta prostupem do nevytápěného prostoru nebo do prostoru s jinou teplotou.

Výpočet tepelné ztráty větráním se provádí pomocí odlišného výpočtu. Ve zjednodušené metodě se téměř zanedbává vliv infiltrace (více v kapitole 2.5.2). Tepelná ztráta infiltrací se počítá pouze v případě, když n_{50} je výrazně větší než 5 h^{-1} a není zachována minimální požadovaná intenzita větrání $n_{min} = 0,5 \text{ h}^{-1}$ (typická hodnota pro objekty pro bydlení).

Univerzální metoda zahrnuje v sobě více podrobný výpočet a spoustu nových veličin, než bylo u metody před tím. Ale zároveň veličiny jako charakteristické číslo budovy a charakteristické číslo místnosti nemají v novém výpočtu opodstatněný význam. [13-17]

2.2 Současná norma ČSN EN 12831-1

V této kapitole budou popsány veškeré výpočty, které jsou základem pro vývoj nástroje, který tvoří stěžejní část této bakalářské práce. Výpočet celkových návrhových tepelných ztrát v aplikaci bude proveden podle zjednodušené metody z nové české normy ČSN EN 12831-1 Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu – Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3–3 roku 2018. Zjednodušená metoda výpočtu celkové návrhové tepelné ztráty vytápěného prostoru vychází z univerzální metody výpočtu celkové návrhové tepelné ztráty vytápěného prostoru. Obě dvě metody budou v této bakalářské práci popsány, s rozdílem, že zjednodušená metoda bude popsána ve svém plném rozsahu, a z univerzální metody budou popsány pouze nejdůležitější informace a vzorce. Chybějící vzorce a postup výpočtu univerzální metodou lze najít v nové české normě ČSN EN 12831-1.

2.3 Návrhový tepelný výkon pro vytápěný prostor

2.3.1 Univerzální metoda

Návrhový tepelný výkon pro vytápěný prostor je stanoven jako součet trvalých tepelných zisků, tepelných ztrát prostupem tepla konstrukcí a tepelných ztrát větráním. Podle domluvy se zákazníkem i dodatečným zátopovým tepelným výkonem.

Návrhový tepelný výkon pro vytápěný prostor ($\Phi_{HL,i}$) lze vypočítat podle vzorce:

$$\Phi_{HL,i} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} + \Phi_{hu,i} + \Phi_{gain,i} \text{ [W]} \quad (1)$$

ve kterém

$\Phi_{T,i}$ [W] návrhová tepelná ztráta prostupem vytápěného prostoru – součet všech tepelných ztrát prostupem podle 2.4.1

$\Phi_{V,i}$ [W] návrhová tepelná ztráta větráním vytápěného prostoru podle 2.5.1

$\Phi_{hu,i}$ [W] volitelný dodatečný zátopový tepelný výkon vytápěného prostoru v případě přerušovaného vytápění podle 2.6.1

$\Phi_{gain,i}$ [W] trvalé tepelné zisky ve vytápěném prostoru, které se vyskytují při venkovních výpočtových podmínkách, mohou být zohledněné pouze v případech, že jsou vyhodnocené jako trvalé (lze zjistit podle kapitoly B.2.19 normy ČSN EN 12831-1)

2.3.2 Zjednodušená metoda

Zjednodušená metoda výpočtu návrhového tepelného výkonu pro vytápěný prostor vychází z univerzální metody výpočtu návrhového tepelného výkonu pro vytápěný prostor a vždy se liší snížením počtu vstupních údajů.

Upozorňuje se, že zatímco obecná metoda je univerzálním a všestranným přístupem, zjednodušená metoda je omezena na určité případy použití a je omezena okrajovými podmínkami.

V první rovnici pro výpočet tepelné ztráty zjednodušenou metodou je zanedbána hodnota trvalých tepelných zisků. Návrhový tepelný výkon vytápěného prostoru zjednodušené metody je stanoven podle rovnice:

$$\Phi_{HL,i} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} + \Phi_{hu,i} [W] (2)$$

kde je

$\Phi_{T,i}$ [W] návrhová tepelná ztráta prostupem vytápěného prostoru podle 2.4.2

$\Phi_{V,i}$ [W] návrhová tepelná ztráta větráním vytápěného prostoru podle 2.5.2

$\Phi_{hu,i}$ [W] dodatečný zátopový tepelný výkon podle 2.6.2

2.4 Návrhové tepelné ztráty prostupem vytápěného prostoru

2.4.1 Univerzální metoda

2.4.1.1 Celková a dílčí návrhová tepelná ztráta prostupem

Při výpočtu se obecně tepelná ztráta prostupem počítá na základě různých tepelných toků prostupem (do venkovního prostředí, do sousedních místnosti s odlišnou teplotou, do zeminy) a rozdílů teplot způsobujících tepelné ztráty. Tyto měrné tepelné toky (Rovnice (3) a (4)) jsou teplotně upravené tak, že jsou vždycky striktně vázané k rozdílu vnitřní a venkovní výpočtové teploty.

Celkovou návrhovou tepelnou ztrátu ($\Phi_{T,i}$) lze vypočítat podle vzorce (3):

$$\Phi_{T,i} = (H_{t,ie} + H_{t,ia} + H_{t,iae} + H_{t,iaBE} + H_{t,ig}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) [W] \quad (3)$$

ve kterém

$H_{t,ie}$ [W/K] měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí

$H_{t,ia}$ [W/K] měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do sousedního vytápěného prostoru

$H_{t,iae}$ [W/K] měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí přes nevytápěné prostory a přilehlé budovy

$H_{t,iaBE}$ [W/K] měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do sousední funkční části budovy

$H_{t,ig}$ [W/K] měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do zeminy

$\theta_{int,i}$ [°C] vnitřní výpočtová teplota (hodnota dle tabulky B.14 nebo NA.3 normy ČSN EN 12831-1)

θ_e [°C] venkovní výpočtová teplota (hodnota dle tabulky NA.1 normy ČSN EN 12831-1)

Díličí tepelné návrhové ztráty prostupem z vytápěného prostoru do:

- venkovního prostředí ($\Phi_{t,ie}$),
- sousedního vytápěného prostoru ($\Phi_{t,ia}$),
- venkovního prostředí přes nevytápěné prostory prostoru ($\Phi_{t,iae}$),
- přilehlé budovy ($\Phi_{t,iae}$),
- sousední funkční části budovy ($\Phi_{t,iaBE}$),
- zeminy ($\Phi_{t,ig}$),

kteřé jsou součástí celkové návrhové tepelné ztráty prostupem ($\Phi_{T,i}$), musí být stanoveny podle vzorce (4):

$$\Phi_{t,ix} = H_{t,ix} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) [W] \quad (4)$$

ve kterém

$H_{t,ix}$ [W] měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru (kde x je stejný dolní index jako i u návrhové tepelné ztráty prostupem) do:

- venkovního prostředí $H_{t,ie}$,

- sousedního vytápěného prostoru $H_{t,ia}$,
- venkovního prostředí přes nevytápěné prostory a přilehlé budovy $H_{t,iae}$,
- sousední funkční části budovy $H_{t,iaBE}$,
- zeminy $H_{t,ig}$.

2.4.1.2 Měrný tepelný tok prostupem přímo do venkovního prostředí

Součinitel tepelné ztráty z vytápěného (i) do venkovního prostoru (e) obsahuje všechny stavební dělicí konstrukce a lineární tepelné mosty, které oddělují vytápěný prostor od venkovního prostředí, jako jsou stěny, podlaha, strop, dveře, okna.

Součinitel tepelné ztráty z vytápěného prostoru do venkovního prostředí ($H_{t,ie}$) lze vypočítat podle vzorce (5):

$$H_{t,ie} = \sum_k (A_k \cdot (U_k + \Delta U_{TB}) \cdot f_{U,k} \cdot f_{ie,k}) \text{ [W/K]} \quad (5)$$

ve kterém

- A_k [m²] je plocha stavební části (k)
- U_k [W/(m²·K)] je součinitel prostupu tepla stavební části (k), když není možné U_k vypočítat, hodnota dle tabulek B.15 a B.16 normy ČSN EN 12831-1
- ΔU_{TB} [W/(m²·K)] přírážka na vliv tepelných vazeb; pokud jsou tepelné mosty zohledněny jiným způsobem (např. detailní zohlednění v příloze C v normě ČSN EN 12831-1) v souladu s národními předpisy, pak se pro takové stavební části $\Delta U_{TB} = 0$
- $f_{U,k}$ [-] je opravný činitel zohledňující vliv vlastností stavebních částí a povětrnostní vlivy, které nebyly uvažovány při stanovení příslušných U-hodnot
- $f_{ie,k}$ [-] je teplotní opravný činitel podle 2.4.1.5

2.4.1.3 Měrný tepelný tok prostupem do zeminy

Tepelné ztráty částmi stavebních konstrukcí, které mají největší hloubku a přímý nebo nepřímý styk se zeminou (jako například podlahy a základové stěny) jsou závislé na několika činitelích. Pro stanovení činitelů je důležitá plocha a obvod podlahové desky, hloubka nejnižšího podzemního podlaží a tepelné vlastnosti zeminy.

Návrhový ustálený měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru (i) do zeminy (g) ($H_{T,ig}$) je stanoven podle vzorce (6):

$$H_{T,ig} = f_{\theta ann} \cdot \sum_k (A_k \cdot U_{equiv,k} \cdot f_{ig,k} \cdot f_{GW,k}) \text{ [W/K]} \quad (6)$$

ve kterém

$f_{\theta ann}$ [-] je opravný činitel zohledňující vliv změny venkovní teploty v průběhu roku; ve většině případů $f_{\theta ann} = 1,45$

A_k [m^2] je plocha stavební části (k), která je v přímém kontaktu se zeminou

$f_{GW,k}$ [-] je opravný činitel zohledňující vliv spodní vody; $f_{GW,k} = 1$, pokud je hladina spodní vody více než 1 m pod úrovní základové desky, $f_{GW,k} = 1,15$ v ostatních případech

$f_{ig,k}$ [-] je teplotní opravný činitel podle 2.2.1.5

$U_{equiv,k}$ [$W/(m^2 \cdot K)$] je ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavební části (k) v kontaktu se zeminou (lze vypočítat podle přílohy E ČSN EN 12831-1)

Výše uvedená metoda se vztahuje pouze na stavební části v přímém kontaktu se zeminou. Měrné tepelné toky prostupem pro zvýšené podlahy nebo nevytápěné sklepy jsou stanoveny, pokud je vzdálenost mezi hladinou spodní vody a základovou deskou ≤ 1 m.

2.4.1.4 Měrný tepelný tok prostupem do nebo přes sousední prostory

Měrný tepelný tok prostupem do nebo přes sousední prostory $H_{T,ia}$ (...) vyjadřuje tok tepla prostupem z vytápěného prostoru (i) do sousedního vytápěného prostoru (ia...), vytápěného na výrazně odlišnou teplotu, nebo nevytápěného prostoru. Může to být sousední místnost uvnitř stavebního objektu nebo místnost patřící do sousedního stavebního objektu s tím, že mají společné stavební konstrukce.

Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do:

- sousedního vytápěného prostoru ($H_{T,ia}$),
- sousední funkční části budovy ($H_{T,iaBE}$),
- venkovního prostředí přes sousední nevytápěný prostor nebo přilehlou budovu ($H_{T,iae}$),

lze vypočítat podle vzorce (7):

$$H_{T,ia(\dots)} = \sum_k (A_k \cdot U_k \cdot f_{ix,k}) \text{ [W/K]} \quad (7)$$

ve kterém

A_k [m²] plocha stavební části (k)

U_k [W/(m²·K)] součinitel prostupu tepla stavební části (k), když není možné U_k vypočítat, lze zjistit podle tabulek B.15 a B.16 normy ČSN EN 12831-1

$f_{ix,k}$ [-] teplotní opravný činitel podle 2.4.1.5

2.4.1.5 Teplotní opravný činitel

Měrné tepelné toky prostupem $H_{T,ix}$, uvedené v článku 2.4.1.1, z uvažovaného vytápěného prostoru (i) do jiného prostoru nebo prostředí (x) přes stavební část (k) jsou teplotně vypočítané tak, že jsou vždy vztaženy ke stejnému rozdílu teplot mezi vnitřní a venkovní výpočtovou teplotou ($\theta_{int,i} - \theta_e$).

Teplotní opravný činitel $f_{ix,k}$ pro výpočet teplotně korigovaných měrných tepelných toků z vytápěného prostoru (i) do jiného prostředí nebo prostoru (x) přes stavební část (k) musí být stanoven následovně podle vzorce (8):

$$f_{ix,k} = f_1 + f_2 \text{ [-]} \quad (8)$$

ve kterém

f_1 [-] opravný činitel zohledňující rozdíl mezi teplotou sousedního prostředí nebo prostoru (x) a venkovní výpočtovou teplotou podle rovnice (9) nebo tabulky 2

$$f_1 = \frac{\theta_{int,i} - \theta_x}{\theta_{int,i} - \theta_e} \text{ [-]} \quad (9)$$

ve kterém

θ_x [°C] teplota sousedního prostoru nebo prostředí (x), lze určit podle Tabulky 1

θ_e [°C] venkovní výpočtová teplota (hodnota dle tabulky NA.1 normy ČSN EN 12831-1)

$\theta_{int,i}$ [°C] vnitřní výpočtová teplota uvažovaného vytápěného prostoru (i) (hodnota dle tabulky B.14 nebo NA.3 normy ČSN EN 12831-1)

Tepelná ztráta z (i) do (x); kde (x) zastupuje:	θ_x	Poznámky
	[°C]	
Sousední nevytápěný prostor (ae)	Teplota nevytápěného prostoru (θ_u)	Když není známa vnitřní teplota sousedního prostoru, může být proveden výpočet podle národních příloh
Jinou budovu (vytápěnou nebo nevytápěnou)	Maximum z ($\theta_{e,m}; 5 \text{ °C}$)	Očekávaná nejnižší teplota v sousedních přilehlých budovách

Tab.1 Teplota sousedního prostoru nebo prostředí (Zdroj [14])

Nevytápěný prostor		f_l	
Místnost nebo skupina sousedících místností/prostor	Vnější obvodová stěna	0,4	
	Vnější obvodové stěny	Bez venkovních dveří	0,5
		S venkovními dveřmi	0,6
	Nebo více vnějších obvodových stěn; např. venkovní (vyhřívané) schodiště	0,8	
Suterén	Bez venkovních dveří/oken	0,5	
	S venkovními dveřmi/okny	0,8	
Podkroví	Vysoká intenzita větrání půdy; např. střechy s přerušovanou krytinou (tašky, apod.) a bez utěšňovací vrstvy (bedněním) pod krytinou	1,0	
	Ostatní střechy bez tepelné izolace	0,9	
	Tepelně izolované střechy	0,7	

Komunikační prostory	Vnitřní prostor (bez venkovních obvodových stěn) s nízkou intenzitou větrání ($<0,5 \text{ h}^{-1}$)	0,0
	Přirozené větráno ($\frac{A_{openings}}{V} > 0,005 \text{ [m}^2/\text{m}^3\text{]})$	1,0
Podlaha	Nad vzduchovou mezerou (podlaha nad průlezovými prostory)	0,8

Tab.2 Teplotní opravný činitel f_1 (Zdroj [14])

Termín opravný činitel f_1 se překrývá s termínem teplotní redukční činitel b podle EN ISO 13789.

f_2 [-] opravný činitel zohledňující rozdíl mezi vnitřní výpočtovou teplotou prostoru (i) a průměrnou povrchovou teplotou stavební části (k) podle rovnice (10) a tabulky 2

$$f_2 = \frac{\theta'_{int,k} - \theta_{int,i}}{\theta_{int,i} - \theta_e} \text{ [-] (10)}$$

ve kterém

$\theta'_{int,k}$ [°C] průměrná vnitřní povrchová teplota stavební části (k)

θ_x [°C] teplota sousedního prostoru nebo prostředí (x)

θ_e [°C] venkovní výpočtová teplota (hodnota dle tabulky NA.1 normy ČSN EN 12831-1)

$\theta_{int,i}$ [°C] vnitřní výpočtová teplota uvažovaného vytápěného prostoru (i) (hodnota dle tabulky B.14 nebo NA.3 normy ČSN EN 12831-1)

Výška uvažovaného prostoru	$\theta'_{int,k}$	Poznámky
	[°C]	
<4 m	$\theta_{int,i}$	$f_2 = 0$
>4 m	$\theta'_{int,k}$	Průměrná vnitřní povrchová teplota

Tab.3 Teplotní opravný činitel f_2 (Zdroj [14])

2.4.2 Zjednodušená metoda

Zjednodušená metoda výpočtu tepelné ztráty prostupem vychází z univerzální metody výpočtu tepelné ztráty prostupem, hlavně z rovnic 3,5 a 10. V této metodě je zjednodušený výpočet dílčích tepelných ztrát prostupem a opravného činitele. Opravný činitel se vybere z tabulky podle toho, kam teplo uniká. A tepelná ztráta do zeminy se vypočte obdobně, jako tepelná ztráta do sousedního nebo venkovního prostoru.

V rámci tohoto zjednodušeného přístupu musí být zohledněny pouze takové obálkové povrchy (stavební části (k)) uvažovaného prostoru (i), které oddělují uvažovaný prostor (i) od sousedního prostoru s rozdílem teplot > 4 .

Návrhová tepelná ztráta prostupem vytápěného prostoru (i) zjednodušené metody je stanovena podle rovnice (11):

$$\Phi_{T,i} = \sum \Phi_{T,k} = \sum (A_k \cdot (U_k + \Delta U_{TB}) \cdot f_{x,k}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad (11)$$

kde je

$\Phi_{T,k}$ [W] tepelná ztráta prostupem stavební části (k)

A_k [m²] plocha stavební části (k)

U_k [W/(m²·K)] součinitel prostupu tepla stavební části (k), když není možné U_k vypočítat, lze zjistit podle tabulek B.15 a B.16 normy ČSN EN 12831-1

ΔU_{TB} [W/(m²·K)] přírážka na vliv tepelných vazeb, která se vypočítá podle tabulky 4, pokud nejsou tepelné mosty zohledněny jiným způsobem v souladu s národními předpisy

Typ budovy	ΔU_{TB} [W/(m ² · K)]
Nové budovy s vysokou úrovní tepelné izolace a ověřenou důsledně optimalizovanou úrovní tepelných vazeb, která převyšuje obecně uznávanou praxi	0,02
Nové budovy s optimalizovanými tepelnými vazbami v souladu s obecně uznávanou praxí	0,05
Budovy s převážně vnitřní tepelnou izolací narušenou pronikajícími pevnými stropními konstrukcemi	0,15

Všechny ostatní budovy	0,10
------------------------	------

Tab.4 Přirážka na vliv tepelných vazeb (Zdroj [14])

$f_{x,k}$ [-] teplotní opravný činitel (vztaženo k příslušné stavební části k), v zjednodušené metodě se vypočítá podle tabulky 5

Stavební část sousedící s	Opravný činitel f_x	Index
Venkovním prostředím (e)	1,0	i_e
Nevytápenými prostory nebo jinou nevytápenou funkční částí budovy (u)	0,5	i_u
Zeminou (g)	0,3	i_g
Jiným vytápeným prostorem (j)	0,3	i_j

Tab.5 Opravný činitel (Zdroj [14])

θ_e [°C] venkovní výpočtová teplota (hodnota dle tabulky NA.1 normy ČSN EN 12831-1)

$\theta_{int,i}$ [°C] vnitřní výpočtová teplota uvažovaného vytápeného prostoru (i) (dle tabulky B.14 nebo NA.3 normy ČSN EN 12831-1)

Plochy stěn, které se uvažují ve výpočtu tepelné ztráty prostupem, v zjednodušené metodě musejí být odvozené z vnějších rozměrů stěn. V případě, že jsou známy pouze vnitřní rozměry venkovních stěn, pak musí být vnější plochy stanoveny podle rovnice (12):

$$A_k = f_{int-ext} \cdot A_{k,inner} \quad (12)$$

ve kterém

A_k [m²] plocha ochlazované (venkovní) stěny (k), vnější rozměry

$f_{int-ext}$ [-] poměr mezi vnějšími a vnitřními povrchovými plochami

Stavební část	$f_{int-ext}$
Svislá vnější obvodová stěna	1,25

Střecha	1
Strop nejvyššího podlaží	1
Podlaha sousedící s nevytápěným prostorem (sklep, apod.)	1
Podlaha přilehlá k zemině	1

Tab.6 Poměr mezi vnějšími a vnitřními povrchovými plochami (Zdroj [14])

$A_{k,inner}$ [m²] plocha ochlazované (venkovní) stěny (k), vnitřní rozměry

2.5 Celková návrhová tepelná ztráta větráním

2.5.1 Univerzální metoda

Článek 2.4.1 popisuje univerzální přístup k výpočtu návrhových tepelných ztrát větráním. Při výpočtu tepelných ztrát větráním je důležité zjistit, jestli je větrání:

- přirozené nebo nucené (nebo oboje),
- rovnotlaké nebo nerovnotlaké,
- má dodatečné objemové průtoky vzduchu (např. spalovací vzduch),
- má zpětné získávání tepla atd.

2.5.1.1 Tepelná ztráta větráním místnosti (i)

Návrhová tepelná ztráta větráním u vytápěného prostoru se počítá podle vzorce (13):

$$\Phi_{V,z} = \rho \cdot c_p \cdot (\max(q_{v,env,i} + q_{v,open,i}); f_{i-z} \cdot q_{v,min,i} - q_{v,tech,i}) \cdot (\theta'_{int,i} - \theta_e) + q_{v,sup,i,b} \cdot (\theta'_{int,i} - \theta_{rec,z}) + q_{v,transfer,ij} \cdot (\theta'_{int,i} - \theta_{transfer,ij}) \quad [W] \quad (13)$$

ve kterém

- ρ [kg/m³] hustota vzduchu při vnitřní výpočtové teplotě $\theta_{int,i}$
- c_p [Wh/(kg·K)] měrná tepelná kapacita vzduchu při vnitřní výpočtové teplotě $\theta_{int,i}$
- f_{i-z} [-] poměr mezi minimálními objemovými průtoky vzduchu jednotlivých místností (i) (hodnota dle tabulky B.5 normy ČSN EN 12831-1)

- $q_{v,open,i}$ [m³/h] objemový průtok venkovního vzduchu přiváděný do místnosti (i) velkými otvory v obálce budovy (hodnota dle přílohy G normy ČSN EN 12831-1)
- $q_{v,min,i}$ [m³/h] minimální objemový průtok vzduchu místnosti (i) podle 2.5.1.6
- $q_{v,tech,i}$ [m³/h] objemový průtok vzduchu přiváděný do místnosti (i) pro technické systémy podle 2.5.1.3
- $q_{v,sup,i}$ [m³/h] objemový průtok vzduchu přiváděný do místnosti (i)
- $q_{v,transfer,ij}$ [m³/h] objemový průtok vzduchu přestupující do místnosti (i) ze sousední místnosti (j)
- $q_{v,env,i}$ [m³/h] objemový průtok venkovního vzduchu přiváděný do místnosti (i) obálkou budovy podle 2.5.1.2
- $\theta'_{int,i}$ [°C] průměrná teplota vnitřního vzduchu místnosti (i)
- θ_e [°C] venkovní výpočtová teplota (hodnota dle tabulky NA.1 normy ČSN EN 12831-1)
- $\theta_{rec,z}$ [°C] teplota (objemového průtoku) vzduchu přiváděného do zóny (z) po tom, co projde zpětným získáváním tepla a, pokud je instalován, pasivním předehřevem; bez „aktivního“ předehřevu, lze vypočítat podle rovnice (26)
- $\theta_{transfer,ij}$ [°C] teplota (objemového průtoku $q_{v,transfer,ij}$) vzduchu přestupujícího do místnosti (i) ze sousední místnosti (j)

2.5.1.2 Objemový průtok venkovního vzduchu přiváděný do místnosti (i) obálkou budovy

Objemový průtok venkovního vzduchu přiváděný do místnosti obálkou budovy (i) $q_{v,env,i}$ je stanoven na základě objemových průtoků vzduchu pro větrací prostor:

$$q_{v,env,i} = \frac{q_{v,inf-add,z}}{q_{v,env,z}} \cdot \min(q_{v,env,z}; q_{v,leak+ATD,i} f_{dir,z}) + \frac{q_{v,env,z} - q_{v,inf-add,z}}{q_{v,env,z}} q_{v,leak+ATD,i}$$

[m³/h] (14)

kde je

$q_{v,inf-add,z}$ [m³/h] objemový průtok vzduchu dodatečnou infiltrací přiváděný do větrací zóny (z) podle 2.5.1.5

$q_{v,env,z}$	[m ³ /h] objemový průtok venkovního vzduchu přiváděný do větrací zóny (z) obálkou budovy podle 2.5.1.3
$q_{v,leak+ATD,i}$	[m ³ /h] objemový průtok venkovního vzduchu přiváděný do místnosti (i) netěsnostmi a koncovými vzduchotechnickými zařízeními podle rovnice (15)
$f_{dir,z}$	[-] činitel orientace (zóny (z)) (lze vypočítat podle ČSN EN 12831-1)
$q_{v,leak+ATD,i}$	[m ³ /h] objemový průtok venkovního vzduchu přiváděný do místnosti (i) netěsnostmi a koncovými vzduchotechnickými zařízeními v případě, kdy nejsou instalována koncová vzduchotechnická zařízení ($q_{v,ATD,z}/q_{v,ATD,design,i}/q_{v,ATD,design,z} = 0$), musí být druhý sčítanec rovnice roven 0

Když jsou instalována koncová vzduchotechnická zařízení, objemový průtok venkovního vzduchu přiváděný do místnosti (i) lze vypočítat podle vzorce (15):

$$q_{v,leak+ATD,i} = q_{v,leak,z} \cdot \frac{A_{env,i}}{A_{env,z}} \cdot q_{v,ATD,z} \cdot \frac{q_{v,ATD,design,i}}{q_{v,ATD,design,z}} [m^3/h] \quad (15)$$

ve kterém

$q_{v,leak,z}$	[m ³ /h] objemový průtok venkovního vzduchu přiváděný do větrací zóny (z) netěsnostmi, lze vypočítat podle rovnice (16)
$A_{env,i}$	[m ²] obálka místnosti (i)
$A_{env,z}$	[m ²] obálka větrací zóny (z)
$q_{v,ATD,z}$	[m ³ /h] objemový průtok venkovního vzduchu přiváděný do větrací zóny (z) koncovými vzduchotechnickými zařízeními, lze vypočítat podle rovnice (17)
$q_{v,ATD,design,i}$	[m ³ /h] návrhový objemový průtok vzduchu koncovými vzduchotechnickými zařízeními do místnosti (i)
$q_{v,ATD,design,z}$	[m ³ /h] návrhový objemový průtok vzduchu koncovými vzduchotechnickými zařízeními do zóny (z)

Poměrné objemové průtoky venkovního vzduchu netěsnostmi a venkovními koncovými vzduchotechnickými zařízeními jsou stanoveny na základě autority koncových vzduchotechnických zařízení $a_{ATD,z}$ podle vzorce (18).

Objemový průtok venkovního vzduchu přiváděný do větrací zóny (z) netěsnostmi se počítá podle vzorce (16):

$$q_{v,leak,z} = (1 - a_{ATD,z}) \cdot q_{v,env,z} \text{ [m}^3/\text{h]} \quad (16)$$

$a_{ATD,z}$ [-] autorita koncových vzduchotechnických zařízení, která jsou instalována v zóně (z) podle rovnice (18)

$q_{v,env,z}$ [m³/h] objemový průtok venkovního vzduchu přiváděný do větrací zóny (z) obálkou budovy podle 2.5.1.4

Objemový průtok venkovního vzduchu přiváděný do větrací zóny (z) koncovými vzduchotechnickými zařízeními se počítá podle vzorce (17):

$$q_{v,ATD,z} = a_{ATD,z} \cdot q_{v,env,z} \text{ [m}^3/\text{h]} \quad (17)$$

ve kterém

$a_{ATD,z}$ [-] autorita koncových vzduchotechnických zařízení, která jsou instalována v zóně (z) podle rovnice (18)

$q_{v,env,z}$ [m³/h] objemový průtok venkovního vzduchu přiváděný do větrací zóny (z) obálkou budovy podle 2.5.1.4

Autorita koncových vzduchotechnických zařízení, která jsou instalována v zóně (z) $a_{ATD,z}$ je stanovena na základě návrhu venkovních koncových vzduchotechnických zařízení:

$$a_{ATD,z} = \frac{q_{v,ATD,50,z}}{q_{v,ATD,50,z} + q_{env,50} \cdot A_{env,z}} \text{ [-]} \quad (18)$$

kde je

$q_{v,ATD,50,z}$ [m³/h] objemový průtok vzduchu přiváděný do větrací zóny (z) koncovými vzduchotechnickými zařízeními při rozdílu tlaků 50 Pa (lze vypočítat podle kapitoly 6.3.3.3.5 ČSN EN 12831-1)

$q_{env,50}$ [m³/(m²·h)] měrná průvzdušnost obálky budovy při rozdílu tlaků 50 Pa (lze zjistit podle tabulky B.6 normy ČSN EN 12831-1)

$A_{env,z}$ [m²] obálka zóny (z)

2.5.1.3 Objemový průtok vzduchu přiváděný do místnosti (i) pro technické systémy

Objemový průtok vzduchu přiváděný do místnosti (i) pro technické systémy $q_{v,techn,i}$ se vypočítá podle vzorce:

$$q_{v,techn,i} = \max (q_{v,sup,i} + q_{v,transfer,ij}; q_{v,exh,i} + q_{v,combi,i}) [m^3/h] (19)$$

kde je

$q_{v,sup,i}$	$[m^3/h]$ objemový průtok vzduchu přiváděný do místnosti (i)
$q_{v,transfer,ij}$	$[m^3/h]$ objemový průtok vzduchu přestupující do místnosti (i) ze sousední místnosti (j)
$q_{v,exh,i}$	$[m^3/h]$ objemový průtok vzduchu odváděný z místnosti (i)
$q_{v,combi,i}$	$[m^3/h]$ objemový průtok spalovacího (nebo jakéhokoliv jiného technicky požadovaného) vzduchu odváděný z vytápěného prostoru (i)

2.5.1.4 Objemový průtok venkovního vzduchu přiváděný do větrací zóny (z) obálkou budovy

Objemový průtok venkovního vzduchu přiváděný do větrací zóny (z) obálkou budovy $q_{v,env,z}$ je stanoven s přihlédnutím k odváděnému a přiváděnému objemovému průtoku vzduchu, požadavku na spalovací vzduch, objemovému průtoku vzduchu velkými otvory a k objemovému průtoku vzduchu dodatečnou infiltrací:

$$q_{v,env,z} = \max (q_{v,exh,z} + q_{v,comb,z} - q_{v,sup,z} ; 0) + q_{v,inf-add,z} [m^3/h] (20)$$

$$q_{v,exh,z} = \sum_i (q_{v,exh,i}) [m^3/h] (21)$$

$$q_{v,comb,z} = \sum_i (q_{v,comb,i}) [m^3/h] (22)$$

$$q_{v,sup,z} = \sum_i (q_{v,sup,i}) [m^3/h] (23)$$

ve kterém

$q_{v,exh,z}$ $[m^3/h]$ objemový průtok vzduchu odváděný z větrací zóny (z) podle rovnice (21)

$q_{v,comb,z}$ [m^3/h] objemový průtok spalovacího nebo jakéhokoliv jiného technicky požadovaného vzduchu přiváděný do větrací zóny (z) podle rovnice (22)

$q_{v,sup,z}$ [m^3/h] objemový průtok vzduchu přiváděný do větrací zóny (z) podle rovnice (23)

$q_{v,inf-add,z}$ [m^3/h] objemový průtok vzduchu dodatečnou infiltrací přiváděný do větrací zóny (z) podle 2.5.1.5

$q_{v,exh,i}$ [m^3/h] objemový průtok vzduchu odváděný z místnosti (i)

$q_{v,comb,i}$ [m^3/h] objemový průtok spalovacího (nebo jakéhokoliv jiného technicky požadovaného) vzduchu odváděný z vytápěného prostoru (i)

$q_{v,sup,i}$ [m^3/h] objemový průtok vzduchu přiváděný do místnosti (i)

2.5.1.5 Objemový průtok vzduchu dodatečnou infiltrací přiváděný do větrací zóny (z)

Objemový průtok vzduchu dodatečnou infiltrací přiváděný do větrací zóny (z) obálkou budovy $q_{v,inf-add,z}$ je stanoven podle vzorce:

$$q_{v,inf-add,z} = (q_{env,50} \cdot A_{env,z} + q_{v,ATD,50,z}) \cdot f_{qv,z} \cdot f_{e,z} [m^3/h] \quad (24)$$

kde je

$q_{env,50}$ [$m^3/(m^2 \cdot h)$] měrná průvzdušnost obálky budovy při rozdílu tlaků 50 Pa (lze zjistit podle tabulky B.6 normy ČSN EN 12831-1)

$A_{env,z}$ [m^2] obálka větrací zóny (z)

$q_{v,ATD,50,z}$ [m^3/h] objemový průtok vzduchu přiváděný do větrací zóny (z) koncovými vzduchotechnickými zařízeními při rozdílu tlaků 50 Pa (lze vypočítat podle kapitoly 6.3.3.3.5 ČSN EN 12831-1)

$f_{qv,z}$ [–] činitel objemového průtoku (lze vypočítat podle kapitoly 6.3.3.3.5 normy ČSN EN 12831-1)

$f_{e,z}$ [–] opravný činitel zohledňující dodatečný rozdíl tlaků způsobený nerovnotlakým větráním (lze vypočítat podle kapitoly 6.3.3.3.5 normy ČSN EN 12831-1)

2.5.1.6 Minimální objemový průtok vzduchu

Minimální objemový průtok vzduchu místnosti $q_{v,min,i}$ je vypočítán z minimální intenzity větrání a objemu místnosti podle vzorce:

$$q_{v,min,i} = n_{min,i} \cdot V_i \text{ [m}^3/\text{h]} \quad (25)$$

ve kterém

$n_{min,i}$ [h⁻¹] minimální intenzita větrání místnosti (i)

Druh místnosti	n_{min} [h ⁻¹]
Trvale obývané místnosti; např. obývací pokoje, kanceláře	0,5
Kuchyně, koupelny, záchody, apod. (s okny)	0,5
Pomocné místnosti, vnitřní místnosti bez oken	0,5

Tab.7 Minimální intenzita větrání (Zdroj [14])

V_i [m³] vnitřní objem (objem vzduchu) místnosti (i)

2.5.1.7 Obálkové povrchy

V návaznosti na tepelnou ztrátu větráním, je obálka budovy definována jako povrch nebo množina povrchů oddělujících uvažovaný prostor od venkovního prostředí (e) a od nevytápěných prostor (ae).

Určení rozměrů musí být provedeno na základě stejného zdroje, ze kterého byla stanovena hodnota vzduchotěsnosti.

Obálka v kontaktu se vzduchem je stanovena podle rovnice (26) pro: uvažovanou místnost (i) (pro výpočet objemového průtoku venkovního vzduchu přiváděného do místnosti koncovým vzduchotechnickým zařízením) vzorcem:

$$A_{env,i} = A_{fac,i} + A_{roof,i} + A_{bottom,i} \text{ [m}^2\text{]} \quad (26)$$

ve kterém

$A_{env,i}$ [m²] plocha povrchu obálky místnosti (i)

$A_{fac,i}$ [m²] plocha fasády místnosti (i)

$A_{roof,i}$ [m²] plocha střechy/stropu místnosti (i)

$A_{bottom,i}$ [m²] plocha podlahy místnosti (i)

2.5.1.8 Stanovení teplot přiváděného a odváděného vzduchu

Stanovení teploty přiváděného a odváděného vzduchu pro zóny (z) musí probíhat podle příslušného konceptu větrání nebo z návrhu větracího systému. Pokud nejsou žádné takové údaje k dispozici, může být místo nich použit odhad, který lze převzít z národních požadavků.

Všechny parametry, které jsou zde využity, jsou vztaženy k venkovním návrhovým podmínkám a jako takové se tak mohou lišit od průměrných ročních podmínek – např. nižší účinnost zpětného získávání tepla nebo jeho nepoužití (bypass), kvůli protimrazové ochraně / odmrazovacím opatřením.

Zvýšení teploty přiváděného vzduchu může být uvažováno pouze v případě, je-li jej dosaženo průchodem vzduchu výměníkem zpětného získávání tepla a, je-li instalován, výměníkem pasivního předehřevu (např. zemní výměník tepla). Jakýkoliv výkon využitý pro aktivní předehřev vzduchu (tj. dodaný zdrojem tepla, jako je kotel, apod.) je součástí návrhového tepelného výkonu. V rámci této normy není proto dovoleno při stanovování $\theta_{rec,z}$ uvažovat se zvýšením teploty vzduchu v důsledku jeho aktivního předehřevu.

Teplota (objemového průtoku) vzduchu přiváděného do zóny (z) $\theta_{rec,z}$ po tom, co projde zpětným získáváním tepla a, pokud je instalován, pasivním předehřevem; bez „aktivního“ předehřevu se vypočítá podle vzorce:

$$\theta_{rec,z} = \theta_{e,0} + \eta_{rec,z} \cdot \theta_{exh,z} - \theta_{e,0} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (27)$$

kde je

$\theta_{e,0}$ [°C] venkovní výpočtová teplota v poloze stavby (nezahrnuje vliv časové konstanty budovy), lze vypočítat podle kapitoly 6.3.7 normy ČSN EN 12831-1

$\eta_{rec,z}$ [-] účinnost zpětného získávání tepla větracího systému příslušejícího zóně (z), za venkovních návrhových podmínek

$\theta_{exh,z}$ [°C] teplota (objemového průtoku) vzduchu odváděného ze zóny (z)

Teplotu (objemového průtoku) vzduchu odváděného ze zóny (z) lze stanovit z objemových průtoků vzduchu odváděných ze všech místností (i), které jsou součástí zóny (z):

$$\theta_{exh,z} = \frac{\sum i(q_{v,exh,i} \cdot \theta'_{int,i})}{\sum i(q_{v,exh,i})} [^{\circ}\text{C}] \quad (28)$$

kde je

$q_{v,exh,i}$ [m³/h] objemový průtok vzduchu odváděný z každé jednotlivé místnosti (i), která je součástí zóny

$\theta'_{int,i}$ [°C] průměrná teplota vnitřního vzduchu uvažované místnosti (i)

2.5.2 Zjednodušená metoda

Následující zjednodušený přístup výpočtu tepelných ztrát větráním byl odvozen z univerzálního výpočtového přístupu 2.3.1 snížením počtu vstupních údajů. V zjednodušené metodě se neuvažuje nízká intenzita větrání při rozdílu tlaků 50 Pa, objemový průtok vzduchu skrze koncová vzduchotechnická zařízení a přiváděné/odváděné objemové průtoky vzduchu, objemové průtoky vzduchu pro technické systémy, objemové průtoky vzduchu přes velké otvory, atd.

Proto je zjednodušený přístup vhodný pouze pro relativně vzduchotěsné budovy bez nuceného větrání a bez koncových vzduchotechnických zařízení (např. objekty pro bydlení bez nuceného větrání).

Podle normy ČSN EN 12831-1 vliv infiltrace může být zanedbán:

„Může být hrubě odhadnuto, že průtok vzduchu infiltrací netěsnostmi tvoří přibližně 10 % z n_{50} – mění se podle velikosti budovy, její geometrie, atd. Jestliže je n_{50} výrazně nižší než 5 h^{-1} , může být vliv infiltrace zanedbán a to za předpokladu, že je zachována minimální požadovaná intenzita větrání $n_{min} = 0,5 \text{ h}^{-1}$ (typická hodnota pro objekty pro bydlení).“

Návrhová tepelná ztráta větráním vytápěného prostoru (i) podle zjednodušené metody je stanovena podle rovnice (29):

$$\Phi_{V,i} = V_i \cdot n_i \cdot \rho_a \cdot c_{p,a} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) [W] \quad (29)$$

kde je

V_i [m³] vnitřní objem (objem vzduchu) vytápěného prostoru (i)

n_i [h⁻¹] intenzita větrání vytápěného prostoru (i) dle tabulky 8

Použití (metoda)	Úroveň vzduchotěsnosti		Intenzita větrání n [h ⁻¹]
Tepelný výkon pro jednotlivé místnosti	-		0,5
Tepelný výkon pro budovy jako celek	$n_{50} < 3 \text{ h}^{-1}$	-rok výstavby > 1995 -budovy s těsnými okny	0,25
	$3 \text{ h}^{-1} < n_{50} < 6 \text{ h}^{-1}$	-rok výstavby < 1995	0,5
	$n_{50} > 6 \text{ h}^{-1}$	-rok výstavby < 1977 -budovy se zjevnými netěsnostmi	1

Tab.8 Intenzita větrání vytápěného prostoru pro zjednodušené metody (Zdroj [14])

$\rho_a \cdot c_{p,a}$ [Wh/(m³·K)]součin hustoty a měrné tepelné kapacity vzduchu

V rámci tohoto zjednodušeného přístupu jsou ρ_a a $c_{p,a}$ uvažovány jako konstanty a určeny jako součin o hodnotě $\rho_a \cdot c_{p,a} = 0,34$)

$\theta_{int,i}$ [°C] vnitřní výpočtová teplota vytápěného prostoru (i) (dle tabulky B.14 nebo NA.3 normy ČSN EN 12831-1)

θ_e [°C] venkovní výpočtová teplota (dle tabulky NA.1 normy ČSN EN 12831-1)

2.6 Dodatečný zátopový výkon pro prostory s přerušovaným vytápěním

2.6.1 Univerzální metoda

Pro dosažení požadované vnitřní výpočtové teploty, prostory s přerušovaným vytápěním, mohou vyžadovat dodatečný zátopový výkon. Tento dodatečný zátopový výkon je silně závislý na různých parametrech, jakými podle ČSN EN 12831-1 jsou:

- úroveň tepelné izolace;
- intenzita větrání (venkovním vzduchem) během období útlumu a zátoku;
- tepelná kapacita stavebních částí a interiéru;
- pokles teploty v období teplotního útlumu;
- přípustná doba zátoku;
- charakteristiky systému regulace teploty.

Zátok obvykle klade nároky z větší části na zahřívání systém sdílení tepla v místnostech a na zdroj tepla budovy. Zatímco určité předimenzování systémů sdílení tepla (např. otopných těles) není obvykle chybou a v některých případech může být dokonce mírně prospěšné z hlediska energetické účinnosti (např. větší otopná tělesa umožňují nižší teploty přívodní otopné vody), tak předimenzování zdroje tepla pro celou soustavu často způsobuje vyšší spotřebu energie (např. vyššími ztrátami v pohotovostním režimu, více cykly zapnutí/vypnutí, atd.). Z tohoto důvodu se doporučuje předimenzování zdroje tepla vyhnout. Proto se také důrazně doporučuje, aby byl zátokový výkon nebo přípustná doba požadovaná pro zátok dohodnuta mezi dodavatelem a zákazníkem. Pokud je při dimenzování zdroje tepla zohledněn jakýkoliv dodatečný zátokový výkon, pak musí být výslovně uveden.

Podle univerzální metody normy ČSN EN 12831-1 potřebný dodatečný zátokový výkon musí být určen přesným měřením nebo podle zjednodušené metody.

2.6.2 Zjednodušená metoda

Dodatečný zátokový tepelný výkon $\Phi_{hu,i}$ podle zjednodušené metody se počítá:

$$\Phi_{hu,i} = A_i \cdot \phi_{hu,i} [W] \quad (30)$$

kde je

A_i [m²] podlahová plocha místnosti (i)

$\phi_{hu,i}$ [W/m²] měrný zátopový výkon místnosti (i), který lze určit dle tabulky 9 nebo tabulky F.2 normy ČSN EN 12831-1

Měrné zátopné tepelné výkony $\phi_{hu,i}$ [W/m ²] pro délky období neuzívání místnosti od 8 do 168 h														
Doba neuzívání útlu v obytných t _{du,i} [h]	8				14				62				168	
	- Dvousměnný provoz - Noční útlu v obytných budovách				- Jednosměnný provoz - Noční útlu v kancelářích				Víkendový útlu				Období dovolené	
	0,1		0,5		0,1		0,5		0,1		0,5		-	
Doba zátopy	Měrná objemová tepelná kapacita													
	l	h	l	h	l	h	l	h	l	h	l	h	l	h
t _{hu,i} [h]	Měrný zátopový tepelný výkon													
0.5	63	16	74	26	88	38	91	56	92	>100	92	>100	92	>100
1	34	10	43	16	50	29	50	43	55	100	55	>100	55	>100
2	14	3	21	8	28	18	28	29	32	86	32	>100	32	>100
3	5		10	2	17	12	18	21	23	73	23	94	23	>100
4			3		11	7	12	15	17	64	17	84	17	95
6					3	1	5	5	10	52	10	70	10	81
12									2	31	2	45	2	57

Tab.9 měrný zátopový výkon místnosti (Zdroj [14])

2.7 Časová konstanta

Pokud je to vyžadováno v rámci výpočtu tepelného výkonu (např. korekce venkovní výpočtové teploty zohledňující vliv vlastností budovy), vypočítá se časová konstanta budovy τ následovně:

$$\tau = \frac{C_{eff}}{H} [h] \quad (31)$$

$$C_{eff} = c_{eff} \cdot V_e [Wh/K] \quad (32)$$

kde je

C_{eff} [Wh/K] celková účinná tepelná kapacita budovy

H [W/K] celkový měrný tepelný tok uvažované budovy podle 2.8 nebo rovnice (33); je dovoleno zohlednit pouze takové tepelné ztráty, které se týkají budovy jako celku: tepelná ztráta prostupem (buď přímo, nebo přes nevytápěné prostory): do venkovního prostředí (přímo a přes nevytápěné prostory); do zeminy; do přilehlých budov; tepelná ztráta větráním vypočtená pro budovu jako celek.

Upozorňuje se, že podmínky uvažované při výpočtu H se mohou lišit v závislosti na různých kritériích, např. na časovém období, pro které je nutné H počítat (např. rozdílná intenzita větrání pro všední dny a pro víkendový útlum). Tudiž mohou být pro stejnou budovu a různé podmínky vypočítány různé měrné tepelné toky a také odpovídající různé časové konstanty.

c_{eff} [Wh/(m³·K)] měrná objemová tepelná kapacita budovy nebo funkční části budovy

V_e [m³] Venkovní objem budovy nebo funkční části budovy na základě vnějších rozměrů

2.8 Teplotně nekorigované měrné tepelné toky

V rámci této normy jsou měrné tepelné toky prostupem podle 2.4 stanoveny jako teplotně korigované tak, že je možné je využít k porovnání stavebních částí (k) vytápěného prostoru (i) a mohou být rovněž sčítány bez ohledu na to, jaký je aktuální teplotní rozdíl u těchto částí.

V případě stavebních částí v kontaktu se zeminou musí být rovnice (34) doplněna o činitel zohledňující vliv spodní vody f_{GW} .

Celkový měrný tepelný tok mezi prostory (1) a (2) H_{12} (kde: (1) je uvažovaná místnost (i), budova jako celek, atd.; (2) je sousední nevytápěný prostor, sousední funkční část budovy, venkovní prostředí (e), atd.) lze vypočítat podle vzorce (33):

$$H_{12} = H_{T,12} + H_{V,12} \text{ [W/K]} \quad (33)$$

$$H_{T,12} = \sum_k (A_k \cdot (U_k + \Delta U_{TB})) \text{ [W/K]} \quad (34)$$

$$H_{V,12} = q_{v,12} \cdot \rho \cdot c_p \text{ [W/K]} \quad (35)$$

kde je

$H_{T,12}$ [W/K] měrný tepelný tok prostupem mezi prostory (1) a (2)

$H_{V,12}$ [W/K] měrný tepelný tok větráním mezi prostory (1) a (2)

A_k [m²] plocha stavební části (k)

U_k [W/(m²·K)] součinitel prostupu tepla stavební části, když není možné U_k vypočítat lze zjistit podle tabulek B.15 a B.16 normy ČSN EN 12831-1

ΔU_{TB} [W/(m²·K)] přírážka na vliv tepelných vazeb; pokud jsou tepelné mosty zohledněny jiným způsobem (např. detailní zohlednění v příloze C v normě ČSN EN 12831-1) v souladu s národními předpisy, pak se pro takové stavební části $\Delta U_{TB} = 0$

$q_{v,12}$ [m³/h] objemový průtok vzduchu mezi prostory (1) a (2)

ρ [kg/m³] hustota vzduchu

c_p [Wh/(kg·K)] měrná tepelná kapacita vzduchu

2.9 Vliv systému pro sdílení tepla ve vysokých místnostech (výška stropu ≥ 4 m)

Podle normy ČSN EN 12831-1 v místnostech s nízkým stropem ($h < 4$ m) má způsob přenosu tepla využívaný systémem pro sdílení tepla obvykle zanedbatelný vliv na požadovaný tepelný výkon. S dostatečnou přesností tak v tomto případě může být zanedbána specifická povaha zvoleného systému pro sdílení tepla. V případě místností

s vyššími stropy (v rámci této normy: $h \geq 4$ m) však může být požadovaný tepelný výkon významně ovlivněn specifickými parametry, které jsou dané systémem pro sdílení tepla, jako je:

- výškový teplotní gradient (vertikální teplotní profil);
- rozdílnost teploty vzduchu a střední radiační teploty a ;
- tepelná ztráta těch stavebních částí budovy, které jsou využity jako otopná plocha.

V případě různých systémů pro sdílení tepla využitých v jedné místnosti jsou přípustné následující přístupy:

- Pokud je známo, že jeden ze systémů pro sdílení tepla výrazně dominuje v dodávkách tepla do dané místnosti, mohou být ostatní systémy pro sdílení tepla ve výpočtu tepelného výkonu zanedbány.
- Jednotlivé místnosti mohou být rozděleny na další dílčí místnosti. Každá z těchto dílčích místností musí být uvažována jako jednotlivý vytápěný prostor (i) a ostatní výpočtové parametry (např. objemové průtoky přiváděného a odváděného vzduchu) tak musí být rovněž příslušně rozděleny.
- Namísto rozdělování jednotlivých místností na dílčí místnosti mohou být vstupní parametry systémů pro sdílení tepla použitých v dané místnosti stanoveny jako průměrné hodnoty vážené přes plochu nebo objem místnosti.

2.9.1 Průměrné vnitřní povrchové teploty

Průměrná vnitřní povrchová teplota použita ve výpočtu teplotních opravných činitelů pro měrné tepelné toky prostupem podle 2.4 musí být stanovena podle rovnice (36).

Výpočet je založen na výškovém teplotním gradientu vzduchu v místnosti $G_{\theta,air}$ a opravné hodnotě $\Delta\theta_{surf}$ zohledňující rozdíl mezi teplotou vzduchu a povrchovou teplotou.

Pro detailní zohlednění tepelných mostů (např. podle přílohy C normy ČSN EN 12831-1) může být rovněž požadována průměrná povrchová teplota pro každý tepelný most – v tomto případě může být použit také následující postup pro stanovení průměrných vnitřních povrchových teplot pro lineární (l) a bodové tepelné mosty (m).

Průměrná vnitřní povrchová teplota stavební části (k) $\theta'_{int,k}$ se vypočítá podle vzorce:

$$\theta'_{int,k} = \theta'_{int,i} + G_{\theta,air,i} \cdot (h_k - h_{occup,i}) + \Delta\theta_{surf,k} [^{\circ}C] \quad (36)$$

kde je

$\theta'_{int,i}$ [°C] vnitřní výpočtová teplota místnosti (i), která je obklopena stavebními částmi (k)

$G_{\theta,air,i}$ [K/m] výškový teplotní gradient vzduchu v místnosti (i) pro použitý systém pro sdílení tepla

$\Delta\theta_{surf,k}$ [K] opravná hodnota zohledňující rozdíl mezi teplotou vzduchu a povrchovou teplotou (např. zvýšení teploty podlahy nebo stěny z důvodu osálení topnými tělesy, zvýšení teploty podlahy kvůli podlahovému vytápění, apod.)

h_k [m] střední výška uvažované stavební části (k) nad úrovní podlahy

Pokud jsou v rámci jedné místnosti výrazné rozdíly v úrovni podlahy, může být za úroveň podlahy pokládána střední výška podlahy vážená podle plochy a jiné hodnoty výšek vztažené k dané místnosti musí být adekvátně upraveny.

$h_{occup,i}$ [m] výška uživatelské zóny místnosti (i)

2.9.2 Průměrná teplota vnitřního vzduchu

Průměrná teplota vnitřního vzduchu $\theta'_{int,i}$ využitá ve výpočtu tepelné ztráty větráním ve vysokých místnostech podle 2.4 musí být stanovena podle rovnice (37). Výpočet je založen na výškovém teplotním gradientu vzduchu $G_{\theta,air}$ a středním rozdílem mezi operativní teplotou a teplotou vzduchu $\Delta\theta_{rad}$.

Průměrnou teplotu vnitřního vzduchu $\theta'_{int,i}$ závislou na střední výšce místnosti a systému pro sdílení tepla (výškovém teplotním gradientu, způsobu sdílení tepla vedením/sáláním/ konvekcí), lze vypočítat podle vzorce:

$$\theta'_{int,i} = \theta_{int,i} + G_{\theta,air,i} \cdot \left(\frac{h_i}{2} - h_{occup,i} \right) - \Delta\theta_{rad} \quad (37)$$

kde je

$\theta_{int,i}$ [°C] vnitřní výpočtová teplota místnosti (i) (lze zjistit podle tabulky B.14 nebo NA.3 normy ČSN EN 12831-1)

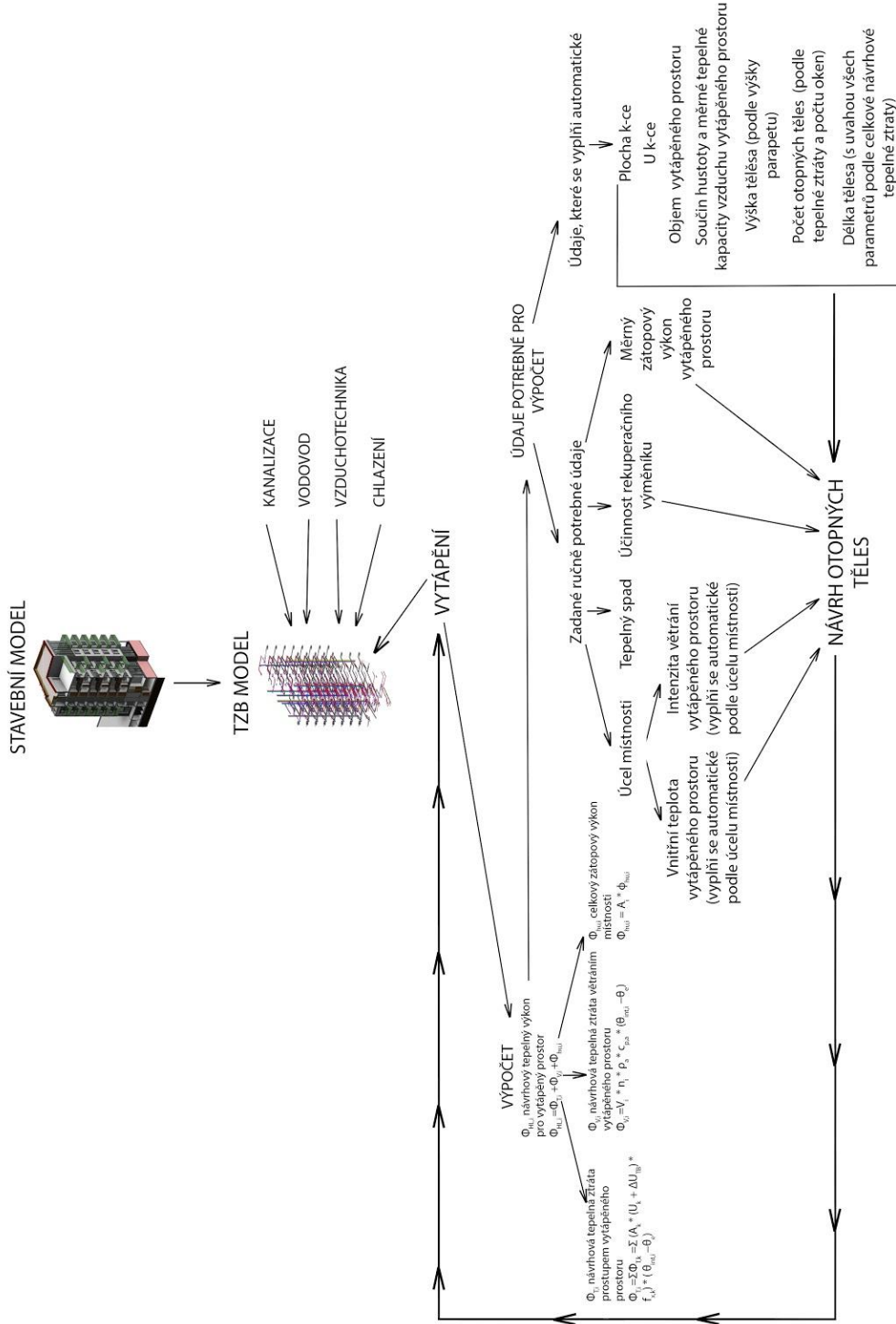
$G_{\theta,air,i}$ [K/m] výškový teplotní gradient vzduchu v místnosti (i) pro hlavní použitý systém pro sdílení tepla (lze zjistit podle tabulky B.3 normy ČSN EN 12831-1)

$\Delta\theta_{rad}$ [K] opravná hodnota zohledňující rozdíl mezi teplotou vzduchu a operativní teplotou (lze zjistit podle tabulky B.3 normy ČSN EN 12831-1)

h_i [m] střední výška uvažované místnosti (i)

$h_{occup,i}$ [m] výška uživatelské zóny místnosti (i) (lze zjistit podle tabulky B.3 normy ČSN EN 12831-1)

3 Použití výpočtu tepelných ztrát ve vytvořeném nástroji



Obr.17 Postup práce vyvíjeného nástroje (Vlastní zdroje)

V předchozí části je popsáno, jak vypadá aktuální česká norma na vytápění. Postupy výpočtů z této normy se staly základem pro vytvoření softwarového doplňku, který je uveden v této práci. Vzorce, využívané v tomto doplňku jsou získány ze zjednodušené metody aktuální normy ČSN EN 12831-1 Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu – Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3–3.

Výpočet zjednodušené metody uvažuje se čtyřmi výpočetními vzorci.

Vzorcem na výpočet návrhového tepelného výkonu vytápěného prostoru:

$$\Phi_{HL,i} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} + \Phi_{hu,i} [W] (2)$$

Vzorcem na výpočet návrhové tepelné ztráty prostupem vytápěného prostoru:

$$\Phi_{T,i} = \sum \Phi_{T,k} = \sum (A_k \cdot (U_k + \Delta U_{TB}) \cdot f_{x,k}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) (11)$$

Vzorcem na výpočet návrhové tepelné ztráty větráním vytápěného prostoru:

$$\Phi_{V,i} = V_i \cdot n_i \cdot \rho_a \cdot c_{p,a} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) [W] (29)$$

Vzorcem na výpočet dodatečného zátopového tepelného výkonu:

$$\Phi_{hu,i} = A_i \cdot \phi_{hu,i} [W] (30)$$

Veškeré hodnoty potřebné pro výpočet jsou popsány v předchozí kapitole. Pro větší pochopení výpočtu lze rozdělit veškeré veličiny na tři části.

Zaprvé, veličiny, které jsou sestavené pouze z předem vypočtených veličin:

$$\Phi_{HL,i}; \Phi_{T,i}; \Phi_{V,i}; \Phi_{hu,i}$$

Zadruhé, veličiny, které jsou konstanty:

$$\rho_a; c_{p,a}$$

Zatřetí, veličiny, získané z informačního modelu budovy:

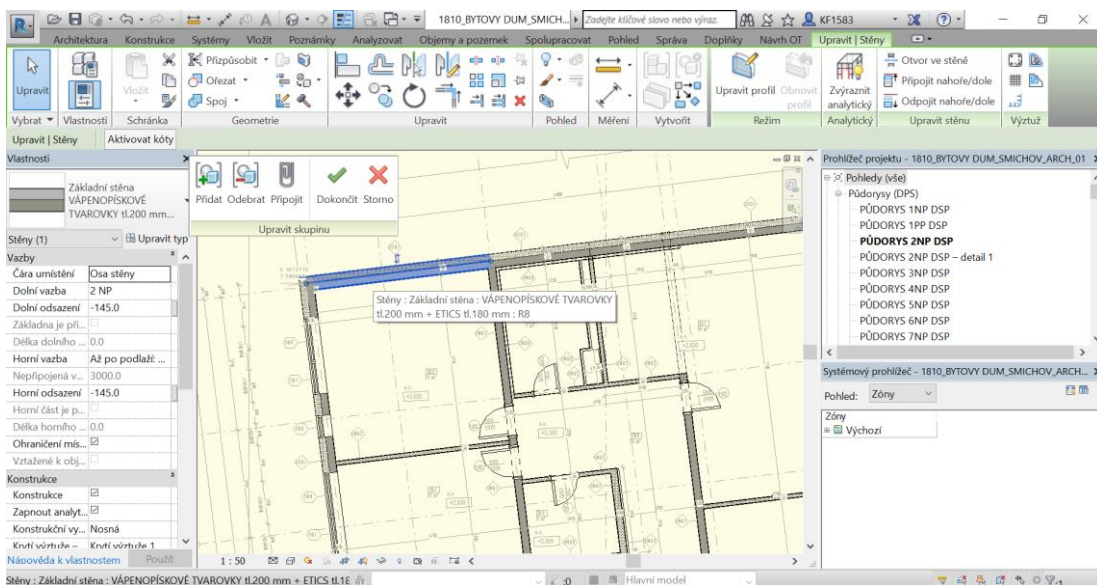
$$A_k; U_k; \Delta U_{TB}; f_{x,k}; \theta_{int,i}; \theta_e; \phi_{hu,i}; V_i; n_i$$

Některé hodnoty, potřebné pro výpočet celkové návrhové ztráty tepla podle zjednodušené metody budou odvozeny z informačního modelu budovy automaticky. Jedná se o plochu konstrukce A_k , součinitel prostupu tepla stavební částí (k) U_k a objem místnosti V_i .

Revit má rozdělené komponenty do kategorií podle jejich funkcí a prvek prostoru je definován hranicemi, které tvoří přilehlé komponenty (stěny, sloupy, okna, dveře atd.).

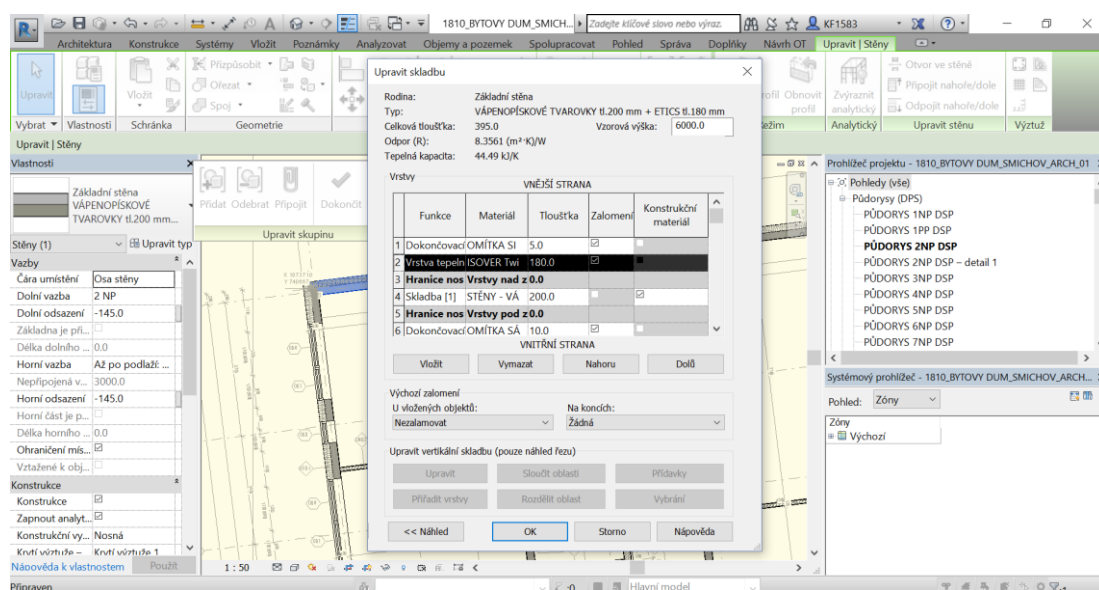
Při výpočtu A_k , lze dále pracovat se segmenty, které hranici prostoru vytvářejí. Na těchto segmentech se lze dotázat, na které komponentě leží. Pakliže leží na stěně, lze tak získat konkrétní stěnu, která vytváří danou hranici. Když tento algoritmus provedeme pro všechny segmenty hranic všech prostorů, získáme tak kompletní seznam konstrukcí, které ohraničují všechny prostory.

Při výpočtu U_k , je třeba dát pozor na zvolení správných hodnot tepelné vodivosti pro používaný materiál. Vzorec pro výpočet součinitele prostupu tepla je v Revitu přednastaven správně, takže pro nalezení výsledku je potřeba vědět tloušťku D [mm] každého materiálu a jeho součinitel tepelné vodivosti λ_p [W/m.K]. Tloušťku materiálu Revit převezme automaticky z typu konstrukce a součinitel tepelné vodivosti je vždy předvolen v závislosti od vybraného typu materiálu a lze ho ručně změnit.

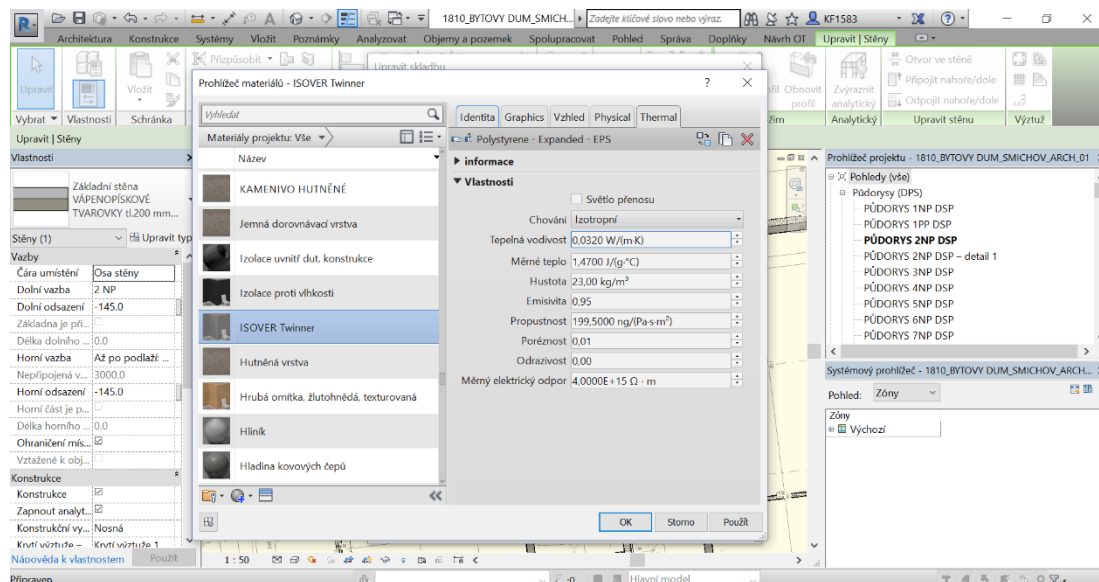


Obr.18 Materiály v Revitu [1] (Vlastní zdroje)

Použití výpočtu tepelných ztrát ve vytvořeném nástroji



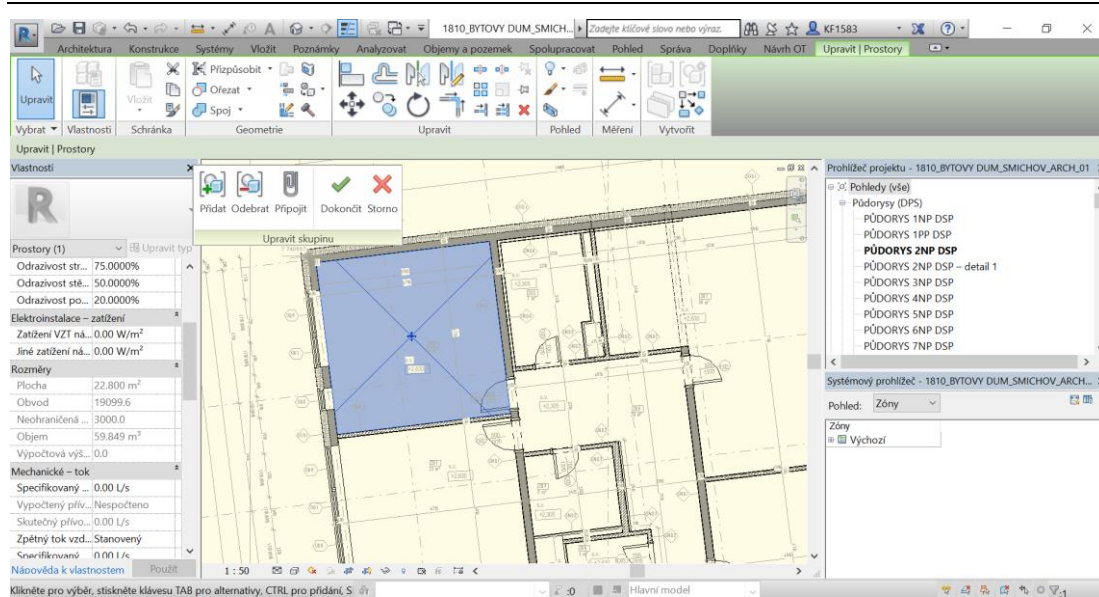
Obr.19 Materiály v Revitu [2] (Vlastní zdroje)



Obr.20 Materiály v Revitu [3] (Vlastní zdroje)

Objem místnosti V_i software vypočítá automaticky.

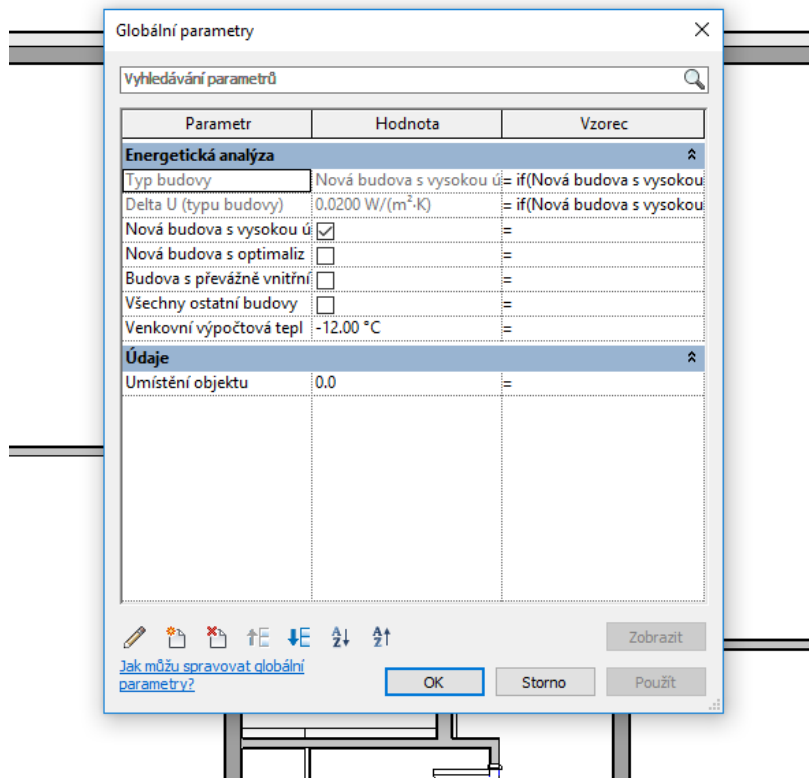
Použití výpočtu tepelných ztrát ve vytvořeném nástroji



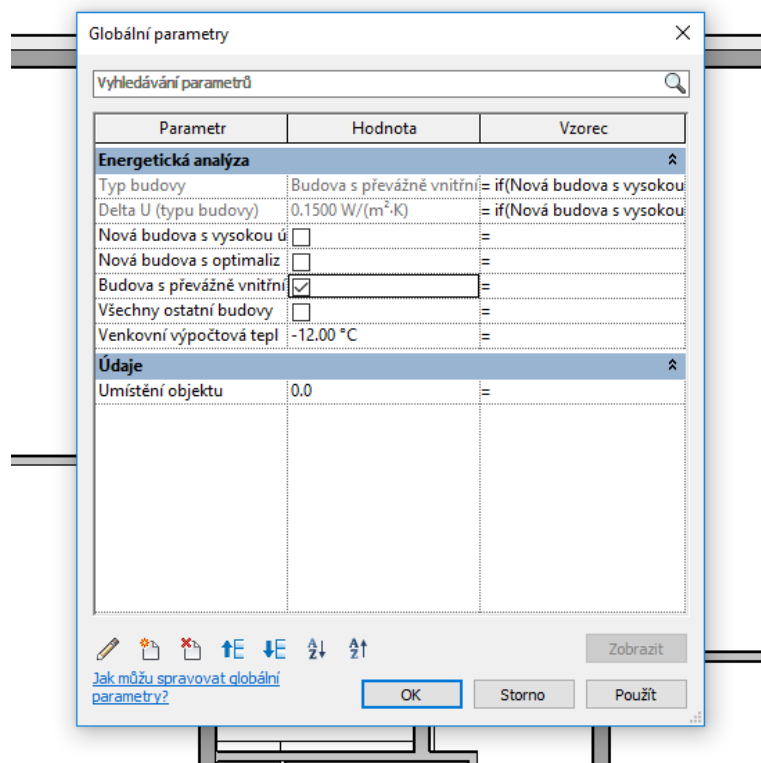
Obr.21 Objem místnosti (Vlastní zdroje)

Věc, na kterou by si měl dát projektant pozor, je vyplnění veškerých parametrů souvisejících s výpočtem a návrhem otopných těles. Pro náš případ byly přidány globální parametry, parametry projektu a vložena databáze pro druhy prostoru z normy.

Připravená aplikace počítá s globálními parametry a parametry jednotlivých prostor. Globální parametry jsou platné pro celý stavební model, například venkovní výpočtová teplota θ_e a typ budovy, pomocí něhož připravena aplikace zvolí přírážku na vliv tepelných vazeb ΔU_{TB} .

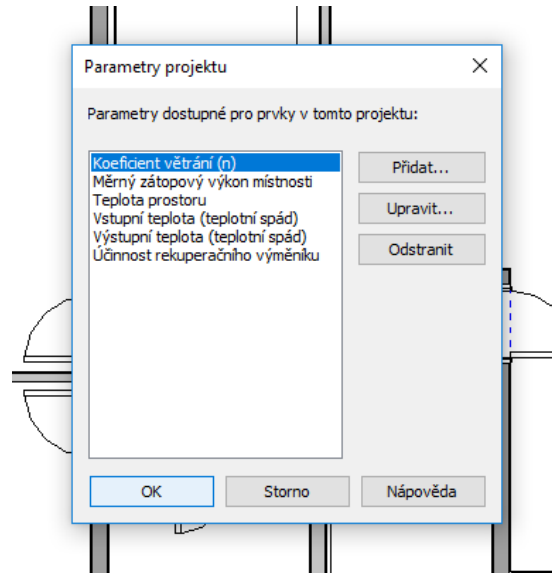


Obr.22 Globální parametry [1] (Vlastní zdroje)



Obr.23 Globální parametry [2] (Vlastní zdroje)

Parametry projektu jednotlivých prostor, které je potřeba zadat jsou vnitřní teplota prostoru $\theta_{int,i}$ a intenzita větrání vytápěného prostoru n_i , které budou odvozeny z druhu místnosti, teplotního spádu, měrného zátapového výkonu místnosti (i) a účinnosti rekuperačního výměníku.

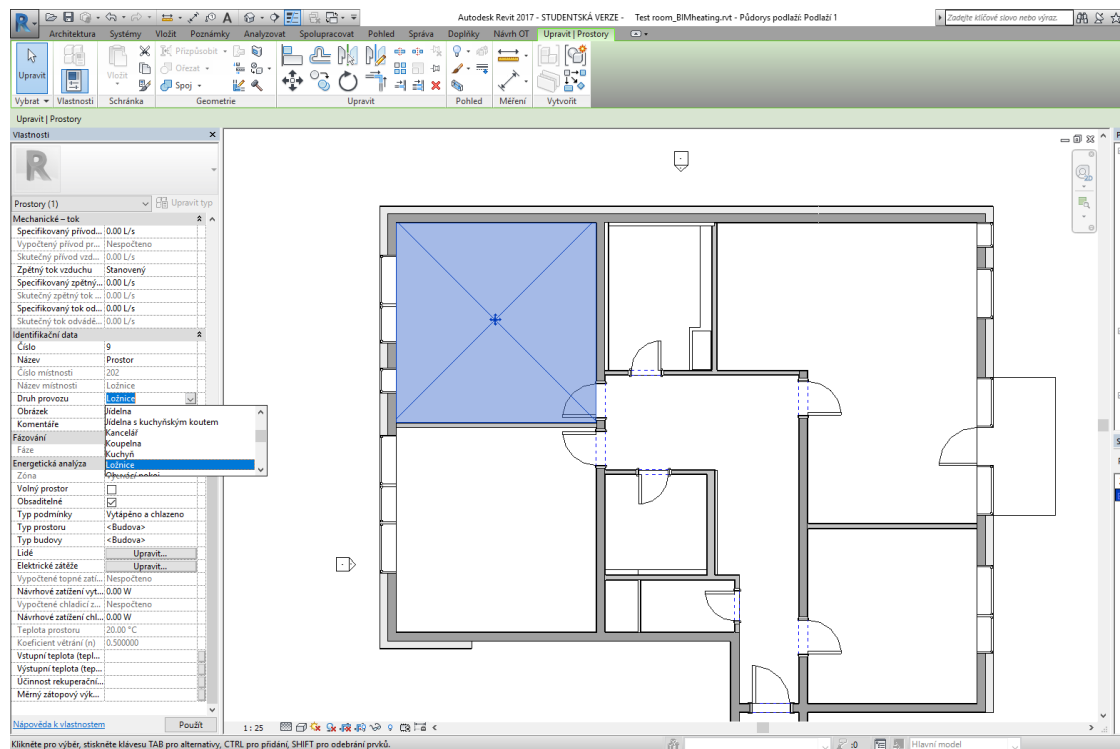


Obr.24 Lokální parametry (Vlastní zdroje)

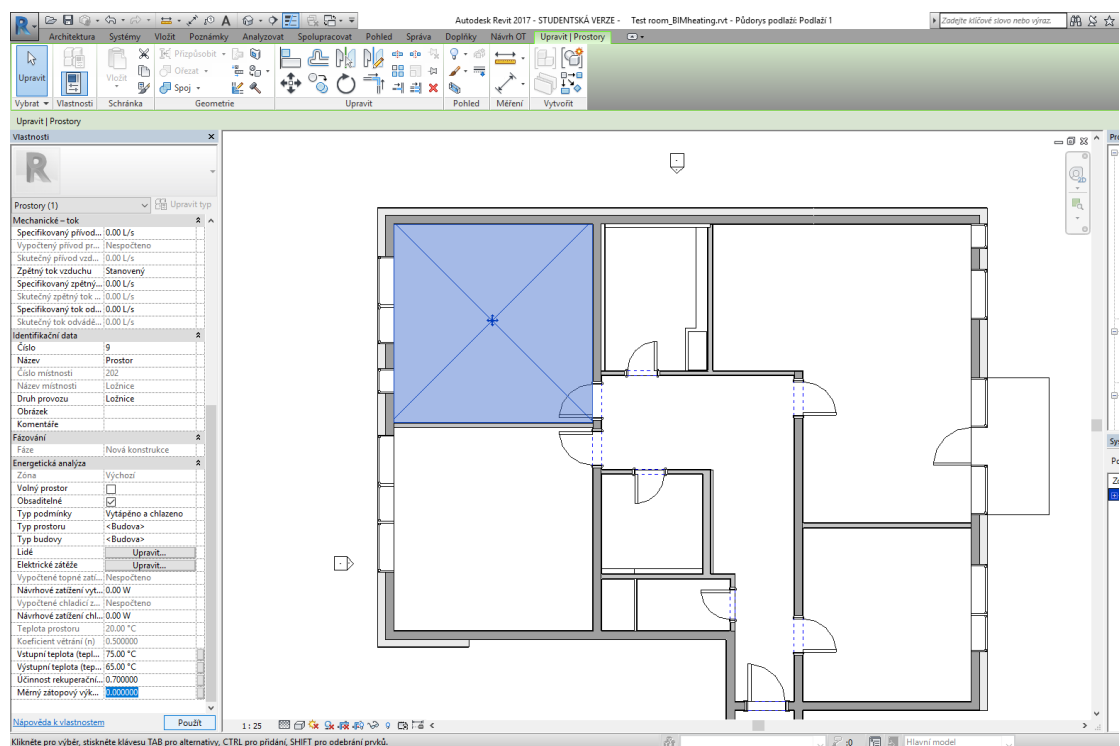
Pro zadání druhu prostoru je potřeba označit prostor, kterému chceme přidat související parametry a z přednastavené nabídky vybrat druh prostoru. Parametry vnitřní teploty prostoru $\theta_{int,i}$ a intenzita větrání vytápěného prostoru n_i se vyplní

Použití výpočtu tepelných ztrát ve vytvořeném nástroji

automaticky na základě vybraného druhu prostoru.

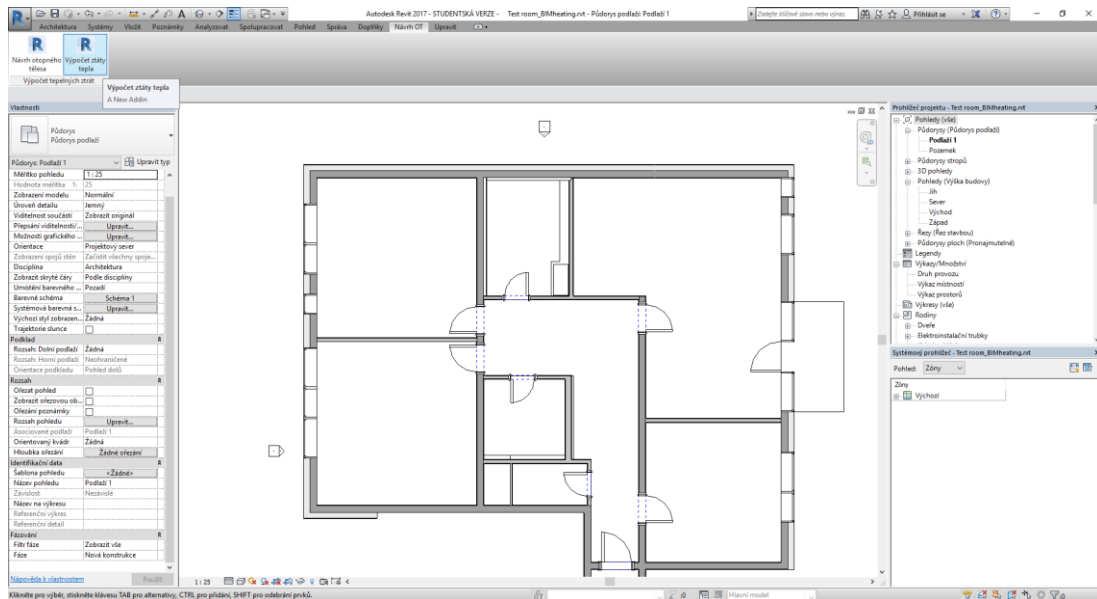


Obr.25 Druh prostoru [1] (Vlastní zdroje)



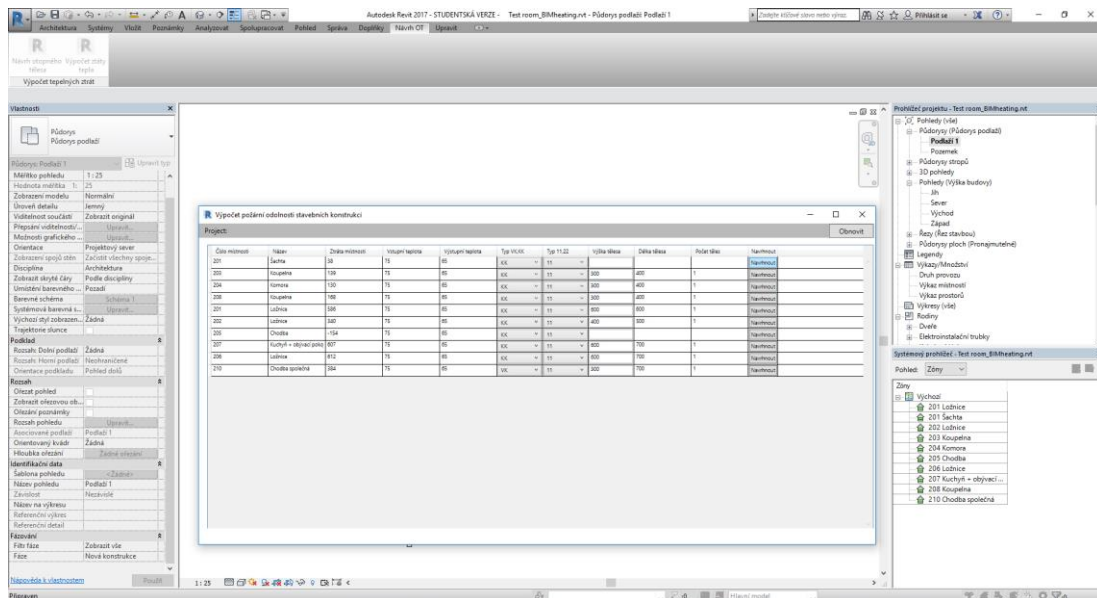
Obr.26 Druh prostoru [2] (Vlastní zdroje)

Kliknutím na připravené tlačítko v doplňku se provede výpočet tepelných ztrát všech prostorů, které jsou obsaženy v modelu. Na základě geometrie prostoru a zadaných parametrů, dle zjednodušené metody.



Obr.28 Výpočet tepelné ztráty (Vlastní zdroje)

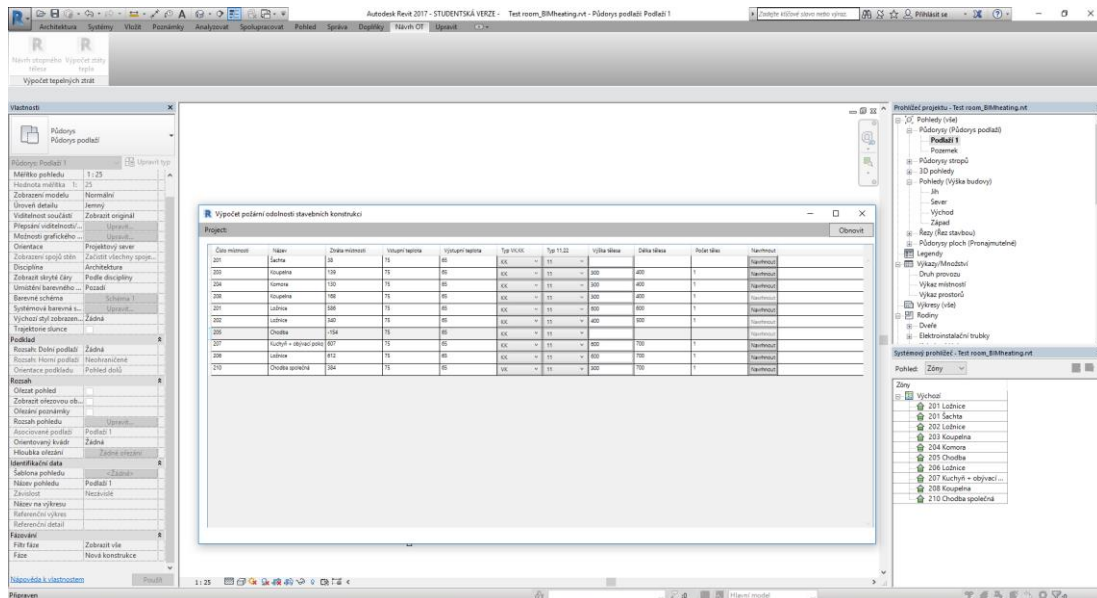
Po kliknutí na vedlejší tlačítko na hlavním panelu a výběr stavebního modelu se zobrazí tabulka s informací o místnostech a dalšími buňkami, které bude potřeba vyplnit pro samotný návrh otopných těles.



Obr.31 Tabulka pro návrh otopných těles (Vlastní zdroje)

Po výběru typu připojení otopných těles, teplotního spádu a výšky otopných těles, můžeme pokračovat v návrhu kliknutím na tlačítko navrhnout. Tím dojde k návrhu

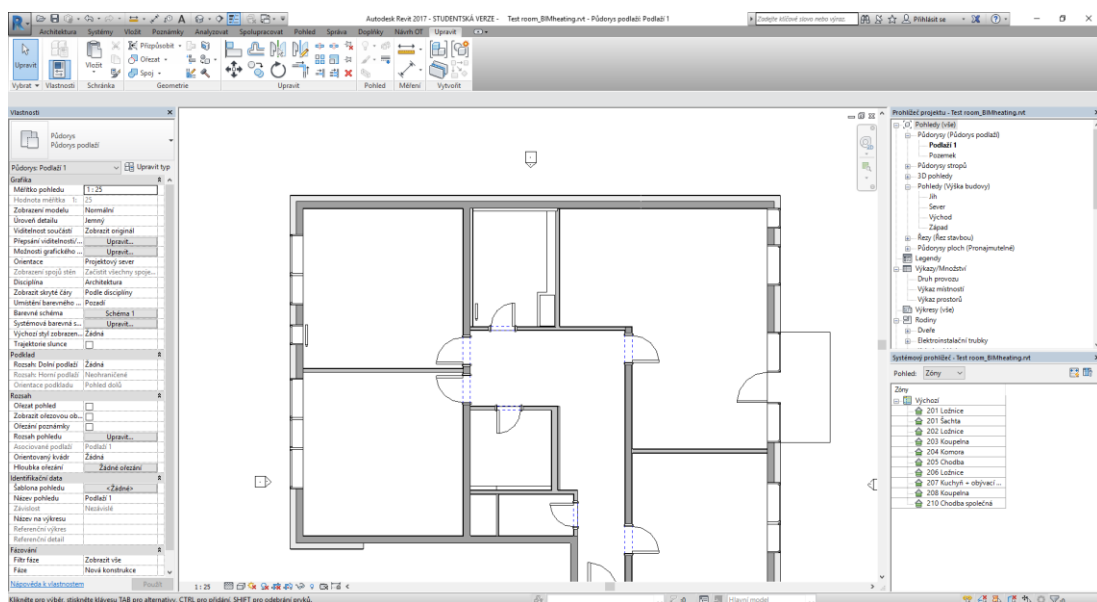
otopných těles v celém modelu. Veškerá otopná tělesa se do modelu vloží automaticky a to vždy pod okno v dané místnosti. Pokud místnost neobsahuje okno, vloží se uprostřed nejdelsí stěny. S komponentami otopných těles může projektant samozřejmě ručně pohybovat.



Obr.32 Tabulka návrh otopných těles, tlačítko „Navrhnout“ (Vlastní zdroje)

Kliknutím na tlačítko „navrhnout“, vedle těles, které chceme přidat do informačního modelu budovy, se komponenty otopných těles vloží do modelu.

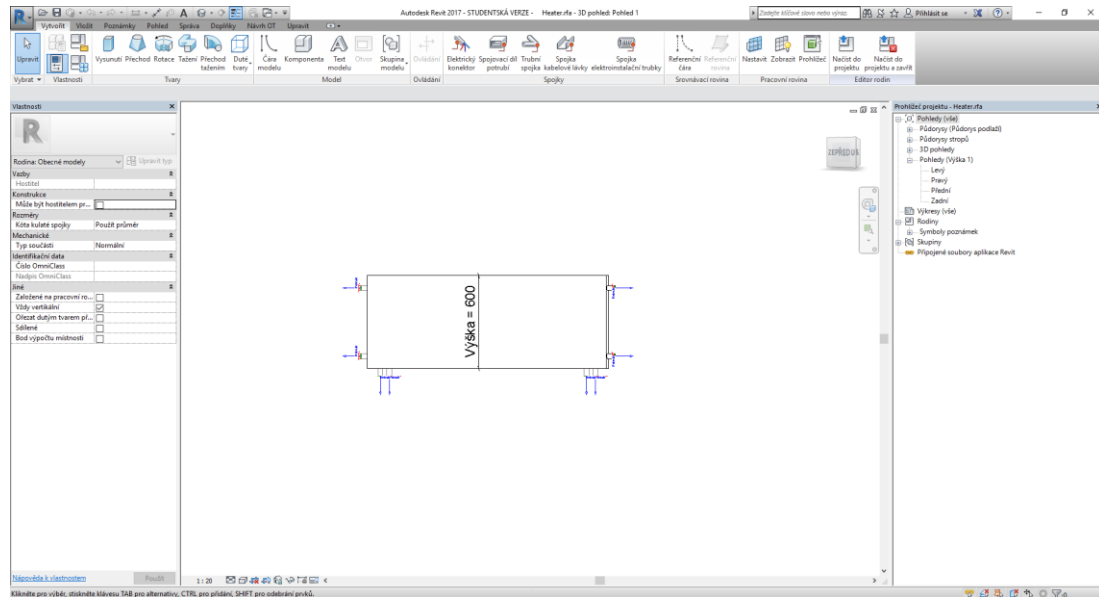
Výsledkem algoritmu, který doplněk provede, jsou navržená a umístěná otopná tělesa v půdorysu daného prostoru.



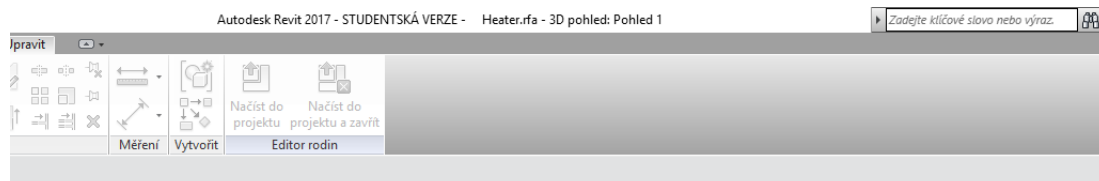
Obr.33 Umístění otopných těles (Vlastní zdroje)

Použití výpočtu tepelných ztrát ve vytvořeném nástroji

Při vkládání těles lze také změnit všechny parametry a vybrat typ připojení:
Ventil Kompakt nebo Klasik, zprava nebo zleva.



Obr.34 Typ připojení [1] (Vlastní zdroje)



Typy rodin

Název typu:

Vyhledávání parametrů

Parametr	Hodnota	Vzorec	Uzamknout
Grafika			
Horní připojení (výchozí)	<input checked="" type="checkbox"/>	=	
Dolní připojení (výchozí)	<input type="checkbox"/>	= not(Horní připojení)	
Pravé připojení (výchozí)	<input checked="" type="checkbox"/>	=	
Levé připojení (výchozí)	<input type="checkbox"/>	= not(Pravé připojení)	
Počet desek (výchozí)	1	=	
Počet žebër (výchozí)	2	=	
Rozměry			
Výška (výchozí)	600.0	=	
Délka (výchozí)	1600.0	=	
Tloušťka (výchozí)	63.0	=	
Průměr potrubí	32.0	=	
Energetická analýza			
Výkon (výchozí)	329.00 W	=	
Vstupní teplota (teplotní spád) (vých)	75.00 °C	=	
Výstupní teplota (teplotní spád) (výc)	55.00 °C	=	
Jiné			
D_L (výchozí)	<input type="checkbox"/>	= if(Dolní připojení, if(Levé připojení, 1	

Správa vyhledávacích tabulek

[Jak mohu spravovat typy rodin?](#)

OK Storno Použít

Obr.35 Typ připojení [2] (Vlastní zdroje)

Při kvalitně vyhotoveném stavební informačním modelu v softwaru Revit a správném zadání všech potřebných parametrů, podle vytvořené aplikace, zjednodušený výpočet tepelných ztrát a návrh otopných těles bude probíhat v řádu jednotek sekund.

4 Aplikace nástroje na řešený příklad

Vypočítat návrhovou tepelnou ztrátu vytápěného prostoru lze několika způsoby. V této kapitole bude uveden výpočet dvou těchto způsobů aplikovaný na projektu bytového domu a bude vysvětlen rozdíl mezi nimi.

4.1 Vstupní hodnoty

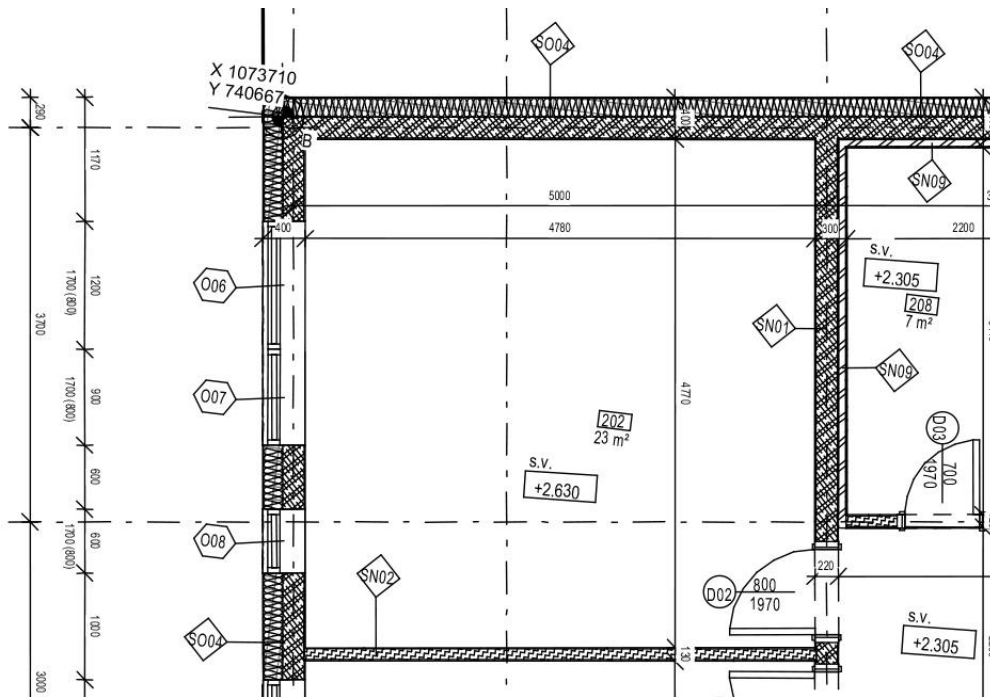
Výpočet tepelné návrhové ztráty bude proveden pro několik místností projektu novostavby bytového domu na Smíchově.

Nosná konstrukce stavby je navržena z monolitického železobetonu a z vápenopískových cihel. Konstrukční systém stavby s maximálním rozpětím 6 m je tvořen dvěma typy uspořádání nosných prvků. Od prvního podzemního podlaží po první nadzemní podlaží je nosný systém tvořen železobetonovými obdélníkovými sloupy, železobetonovými obvodovými a vnitřními nosnými stěnami a železobetonovým jádrem s průvlakovými stropními deskami. Dále budova od druhého nadzemního podlaží až po osmé nadzemní podlaží přechází na stěnový vápenopískový systém s železobetonovým jádrem a průvlakovými stropními železobetonovými deskami. Stabilita objektu bude zajištěna soustavou příčných a podélných stěn. Nenosné konstrukce tvoří sádkartonové příčky.

V rámci bakalářské práce bude proveden výpočet celkové tepelné návrhové ztráty a návrh otopných těles pro několik místností novostavby bytového domu Smíchov. Místnosti vybrané pro výpočet jsou: obývací pokoj, koupelna a chodba ve 2.NP, obchod 1 v 1.NP a místnost pro VZT zařízení v 1.PP.

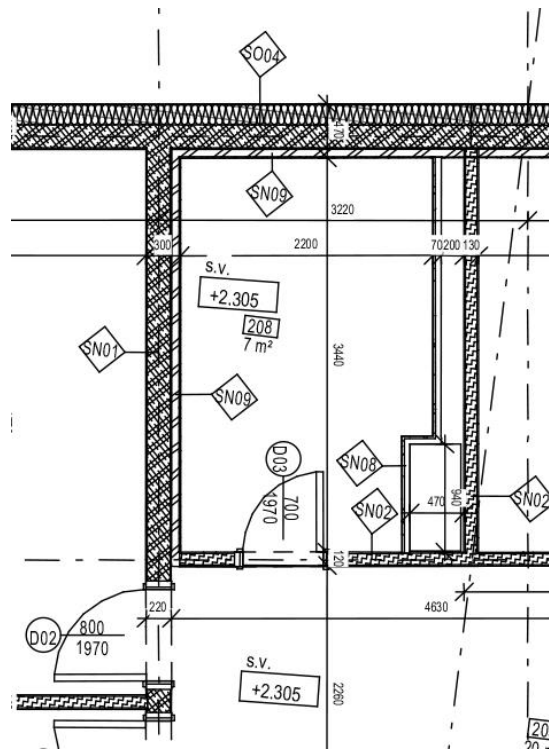
Vybrané půdorysy z výkresové dokumentace bytového domu viz Příloha 1, ve které je představená část dokumentace novostavby.

Pro použití výpočtu dle zjednodušené metody bylo uvažováno přirozené větrání všech místností.



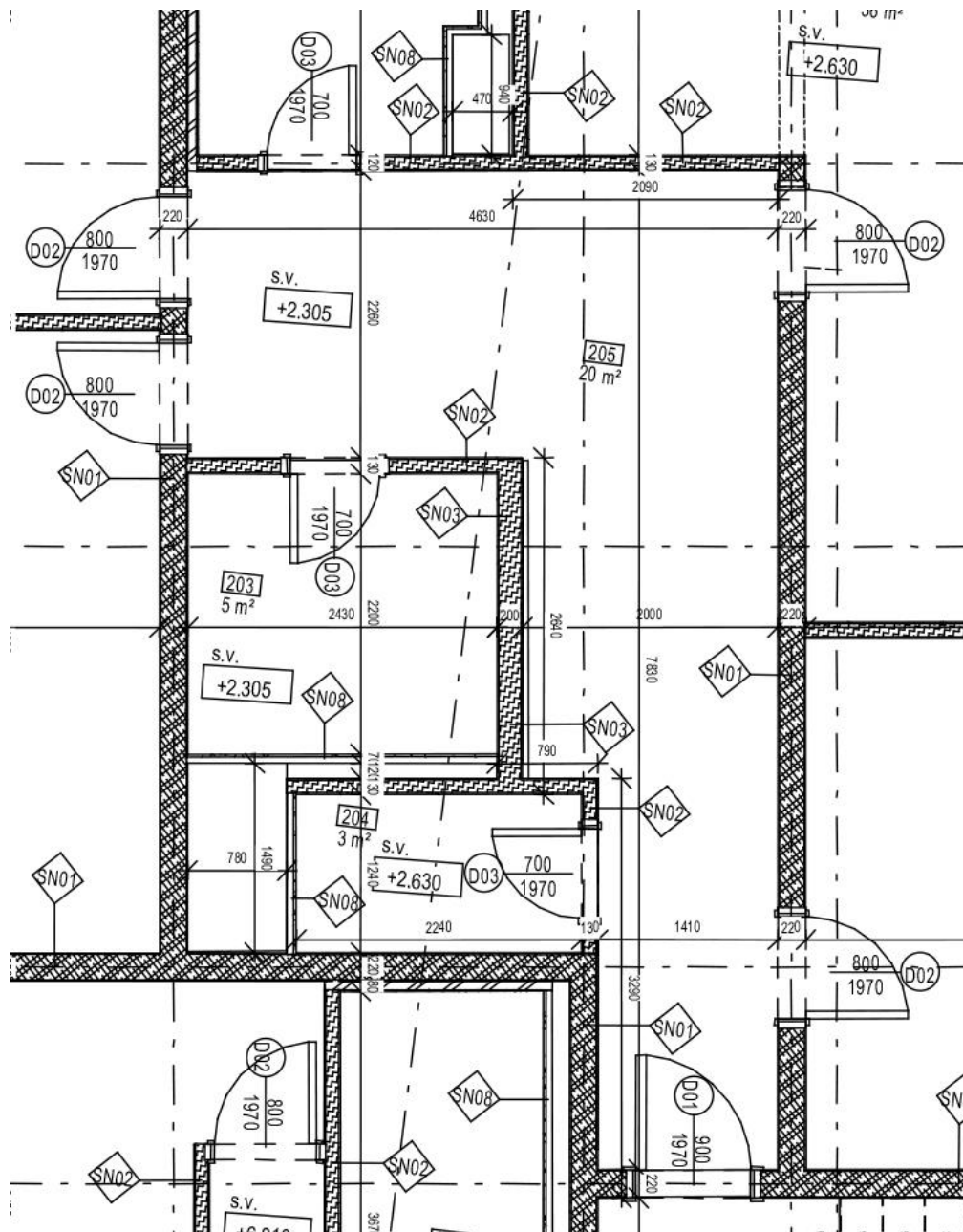
Obr.36 Ložnice (Vlastní zdroje)

Ve 2. NP v bytě č. 1 se nachází ložnice č.202. Místnost má plochu 23 m². Světla výška místností je 2,63 m. Vnitřní výpočtová teplota uvažovaného vytápěného prostoru je +20° C. Ložnice má tři okna směrem na západ. Obvodovou stěnu této místnosti SO04 tvoří vápeno-pískové tvarovky s tepelnou izolací s minerální vatou a extrudovaným polystyrenem. Vnitřní nosné stěny jsou z vápeno-pískových tvarovek s omítkou. Vnitřní nenosné stěny jsou z minerální vaty. Stěna SN01 odděluje ložnici č. 202 od koupelny č. 208 s návrhovou teplotou +24 °C a od chodby č. 205 o návrhové teplotě +15 °C. Stěna SN02 odděluje místnost 202 od další ložnice č. 201 s návrhovou teplotou +20° C.



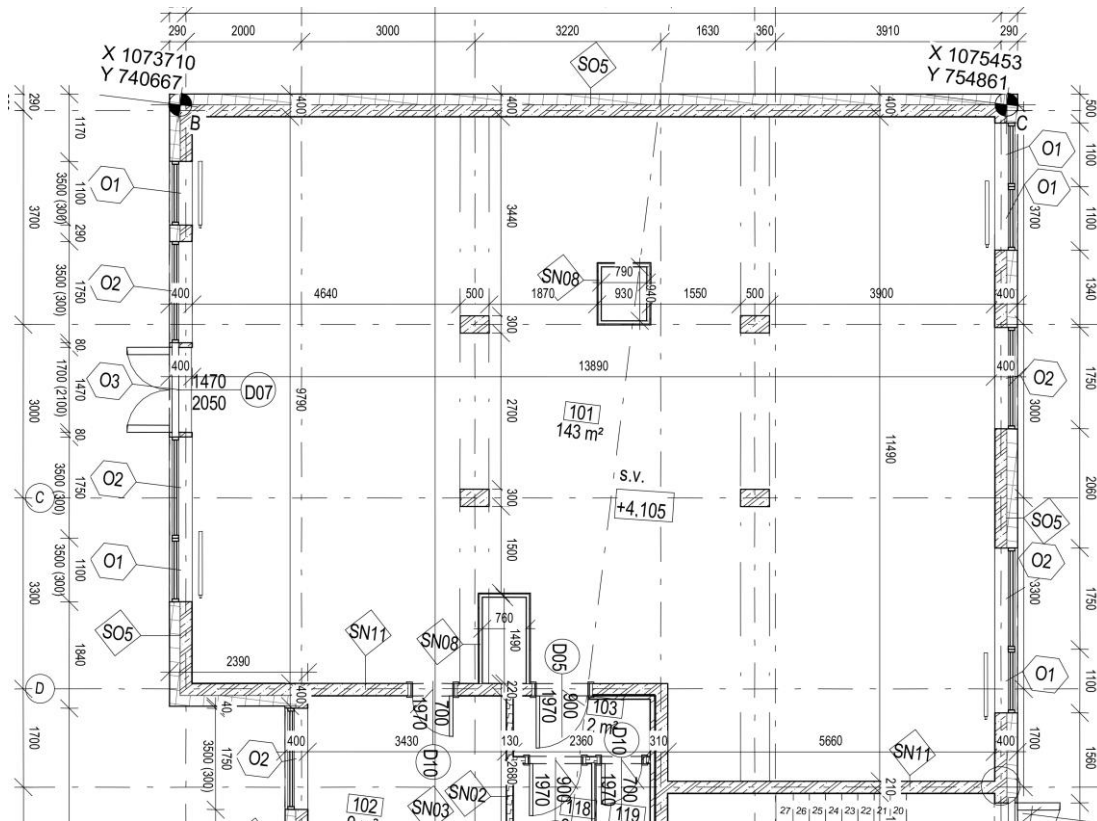
Obr.37 Koupelna (Vlastní zdroje)

Ve 2. NP se nachází druhá koupelna č. 208. Místnost má plochu 7 m². Světlá výška místností je 2,305 m. Vnitřní výpočtová teplota uvažovaného vytápěného prostoru je +24 °C. Obvodovou stěnu této místnosti SO04 tvoří vápeno-pískové tvarovky s tepelnou izolací s minerální vatou a extrudovaným polystyrénem. Vnitřní nosná stěna z vápeno-pískových tvarovek s omítkou SN01 odděluje koupelnu od ložnice č. 202 s návrhovou teplotou +20 °C. Vnitřní nenosné stěny SN02 jsou z minerální vaty a oddělují místnost č. 208 od kuchyňského kouta a obývacím pokojí s návrhovou teplotou +20 °C a s chodbou o návrhové teplotě +15 °C.



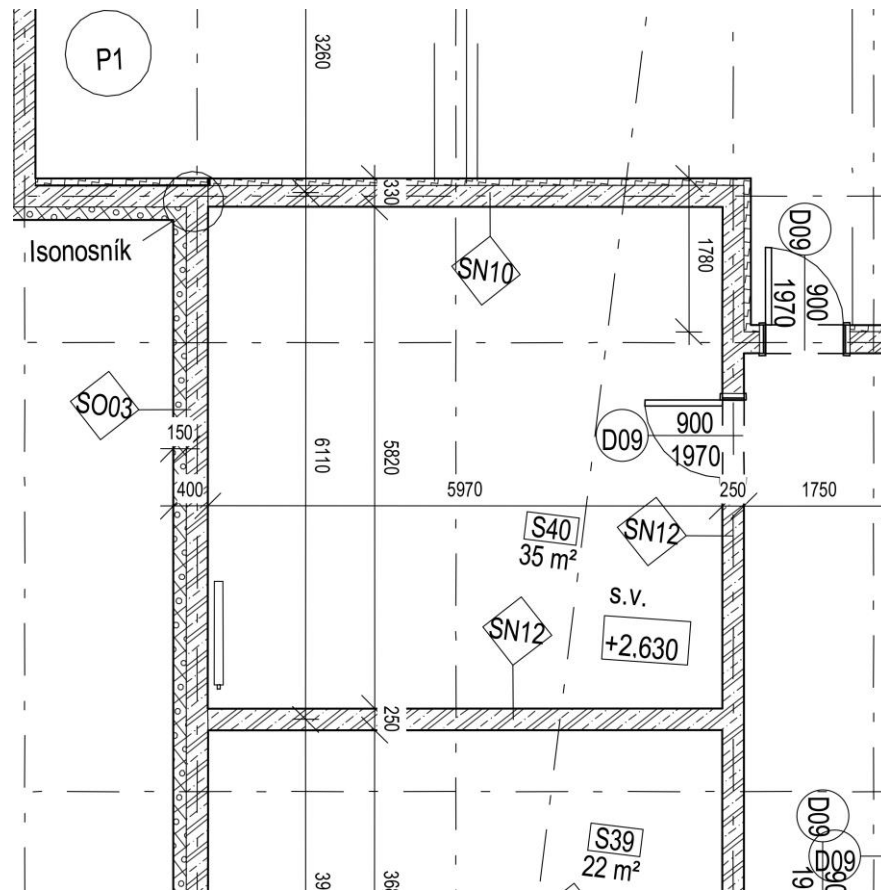
Obr.38 Chodba (Vlastní zdroje)

Chodba č. 205, která se nachází ve 2. NP má plochu 20 m^2 . Světlá výška místnosti je $2,305 \text{ m}$. Vnitřní výpočtová teplota uvažovaného vytápěného prostoru je $+15^\circ \text{ C}$. Vnitřní nosné stěny z vápeno-pískových tvarovek SN01 oddělují chodbu od ložnice č. 201, 202 a 206 s návrhovou teplotou $+20^\circ \text{ C}$, od obývacího pokoje s kuchyňským koutem se stejnou návrhovou teplotou a od společné chodby s návrhovou teplotou $+10^\circ \text{ C}$. Vnitřní nenosné stěny SN02 jsou z minerální vaty a oddělují místnost č. 205 od koupelen č. 203 a 208 s návrhovou teplotou $+20^\circ \text{ C}$, od komory č. 204 s návrhovou teplotou $+10^\circ \text{ C}$ a částečně od kuchyňského koutu a obývacím pokojů s návrhovou teplotou $+20^\circ \text{ C}$.



Obr.39 Obchod (Vlastní zdroje)

Obchod 1 č. 101 se nachází v 1. NP. Místnost má plochu 143 m². Světlá výška místností je 4,105 m. Vnitřní výpočtová teplota uvažovaného vytápěného prostoru je +20° C. Místnost má 10 oken a jedné vstupové dveře. Obvodová stěna je z monolitického železobetonu s tepelnou izolací z minerální vaty a extrudovaného polystyrénu SO05. Vnitřní nosná stěna SN11 odděluje prodejnu od zaměstnaných místností: od šatny č. 102 s návrhovou teplotou +20 °C a záchodem č. 103 s návrhovou teplotou +24 °C.



Obr.40 Místnost VZT (Vlastní zdroje)

Místnost VZT číslo S40 se nachází v 1. PP. Místnost má plochu 35 m^2 . Světla výška místností je $2,630 \text{ m}$. Vnitřní výpočtová teplota uvažovaného vytápěného prostoru je $+15^\circ \text{ C}$. Obvodová stěna je z monolitického železobetonu s extrudovaným polystyrénem SO03. Vnitřní železobetonová nosná stěna s doplňující tepelnou izolace SN10 odděluje garáž s návrhovou teplotou $+5^\circ \text{ C}$. Vnitřní železobetonová nenosná stěna SN11 odděluje sousední místnost č. S39 s návrhovou teplotou $+15^\circ \text{ C}$ a schodišťový prostor s návrhovou teplotou $+10^\circ \text{ C}$.

Poloha přilehlé zeminy	Teplota přilehlé vrstvy t_{ez} [$^\circ \text{ C}$] při venkovní výpočtové teplotě $t_{ev} = -12^\circ \text{ C}$
Pod podlahou	+5
U svislé stěny do hloubky 1 m	-3
U svislé stěny v hloubce 1 až 2 m	0
U svislé stěny v hloubce 2 až 3 m	+3

U svislé stěny v hloubce přes 3 m	+5
-----------------------------------	----

Tab.10 Výpočtové teploty zeminy dle ČSN 06 0210

4.2 Ruční výpočet

Ruční výpočet návrhové tepelné ztráty vytápěného prostoru je klasickým postupem, který je však pracný. Výpočet probíhá použitím vzorců dle kapitoly 2 (dle nové české normy ČSN EN 12831-1). Pro usnadnění práce lze využít připravený tabulkový procesor, který umožní zautomatizování výpočtů a umožňuje snadnější formu zápisu a tvorbu výstupů. Pro řešený příklad byl použit soubor, v tabulkovém procesoru Excel, který byl v minulosti vytvořen pro studijní účely.

Pro použití Excelovské tabulky na výpočet celkové návrhové tepelné ztráty, na začátku je nutné připravit součinitele prostupu tepla všech konstrukcí tvořící obálku místností. Pro výpočet součinitelů prostupu tepla je potřeba vědět určité údaje o konstrukcích. To jsou tloušťka konstrukce D [mm] a součinitel tepelné vodivosti konstrukce λ_p [W/m.K], ze kterých se poté vypočte odpor konstrukce při prostupu tepla (z prostředí do prostředí) R [$m^2 \cdot K/W$] a následně i součinitel prostupu tepla U_k [$m^2 \cdot K/W$].

Příloha 2 obsahuje tabulky, ve kterých jsou uvedeny hodnoty součinitelů prostupu tepla konstrukce obývacího pokoje, koupelny a chodby, obchodu 1 a místnosti pro VZT zařízení.

V příloze jsou dále uvedeny tabulky, které popisují celkovou návrhovou tepelnou ztrátu prostorů, počítanou zjednodušenou metodou podle normy. V tabulkách nejsou uvedené konstrukce, které rozdělují místnosti se stejnou teplotou.

Důležité je zmínit, že v zjednodušené metodě výpočtu normy ČSN EN 12831-1, nejsou žádné informace o rekuperaci, což tvoří docela velký rozdíl ve výpočtu celkové návrhové ztrátě teplem. V této bakalářské práci bylo rozhodnuto počítat se zpětným získáváním tepla, takže teplota, potřebná pro ohřátí místnosti představuje rozdíl mezi vnitřní výpočtovou teplotou a venkovní výpočtovou teplotou s ohledem na rekuperaci.

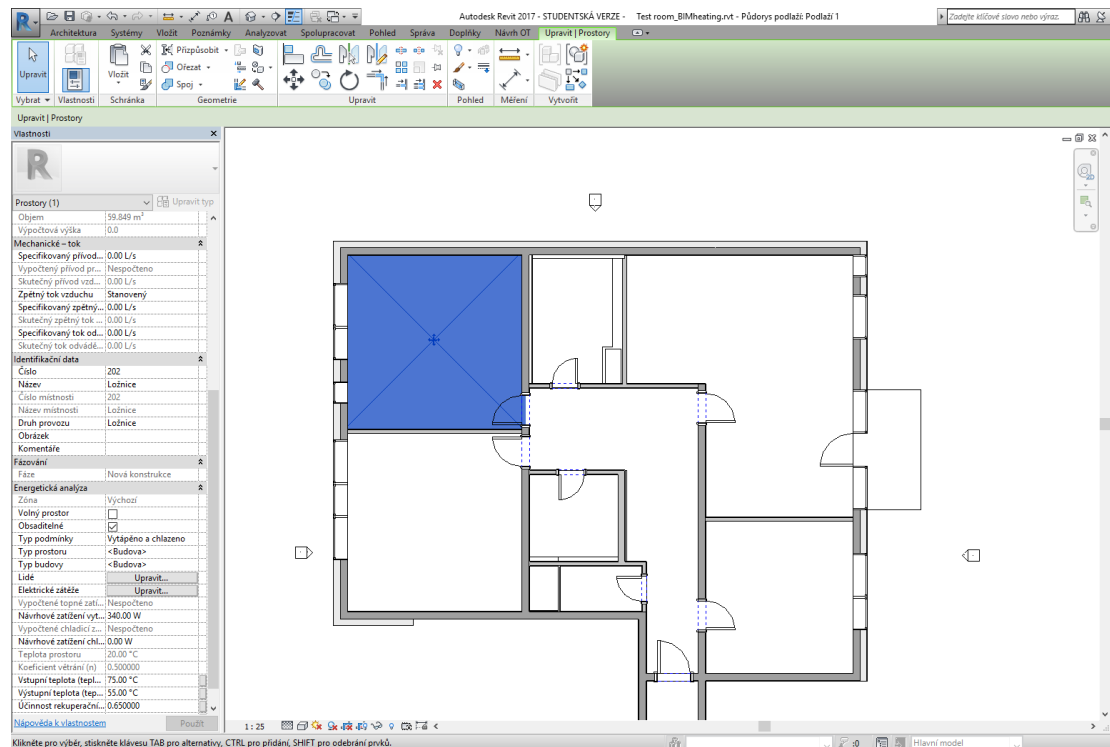
Z hodnot tabulky 5 vyplývá, že teplotní opravný činitel $f_{x,k}$ nemá záporné hodnoty, což může způsobit problémy v případě, když se jedná o místnosti, které mají tepelný zisk. Veškeré místnosti, které mají zisk z jiných vytápěných místností, budou mít teplotní opravný činitel $f_{x,k} = -0.3$ [-].

Na základě hodnot celkové návrhové tepelné ztráty, získaných z tabulek, které se nacházejí v příloze 1, lze provést návrh otopných těles.

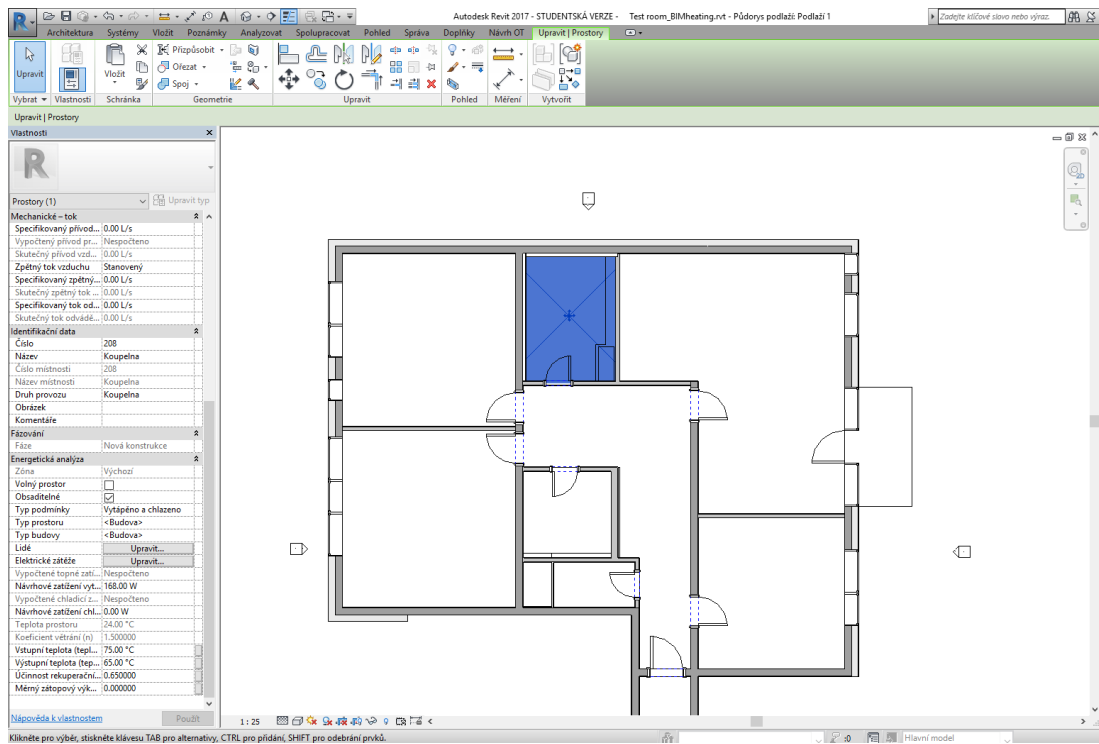
4.3 Použití připraveného doplňku

V pěti výše uvedených místnostech byl proveden výpočet celkové návrhové tepelné ztráty pomocí připravené aplikace.

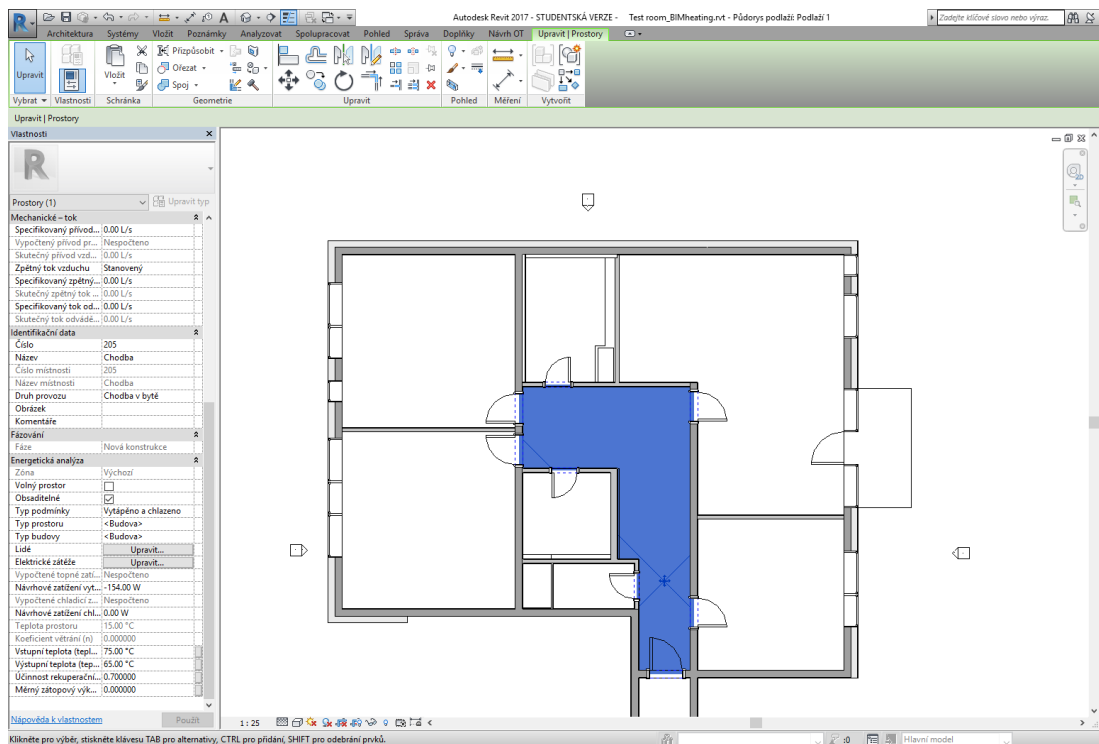
V levém sloupci, ve vlastnostech každé místnosti, je vidět hodnotu návrhového zatížení vytápěním, což je vypočtená celková návrhová tepelná ztráta.



Obr.41 Tepelná ztráta ložnice (Vlastní zdroje)



Obr.42 Tepelná ztráta koupelny (Vlastní zdroje)



Obr.43 Tepelná ztráta chodby (Vlastní zdroje)

Stejným způsobem byly vypočteny ztráty tepla místnosti obchodu 1 a místnosti VZT. Následně pomocí připravené aplikace proběhl návrh otopných těles.

Project:											Obnovit
Číslo místnosti	Název	Zrůna místnosti	Vstupní teplota	Výstupní teplota	Typ VK/KK	Typ 11.22	Výška tělesa	Délka tělesa	Počet těles	Navrhnout	
201	Sáhra	38	75	65	VK	11				Navrhnout	
203	Koupelna	139	75	65	VK	11	300	400	1	Navrhnout	
204	Komora	130	75	65	VK	11	300	400	1	Navrhnout	
208	Koupelna	168	75	65	VK	11	300	400	1	Navrhnout	
201	Ložnice	586	75	65	VK	11	600	600	1	Navrhnout	
202	Ložnice	340	75	65	VK	11	400	500	1	Navrhnout	
205	Chodba	-154	75	65	VK	11				Navrhnout	
207	Kuchyň + obývací pokoj	607	75	65	VK	11	600	700	1	Navrhnout	
206	Ložnice	612	75	65	VK	11	600	700	1	Navrhnout	
210	Chodba společná	384	75	65	VK	11	300	700	1	Navrhnout	

Obr.44 Navržené tělesa 2NP (Vlastní zdroje)

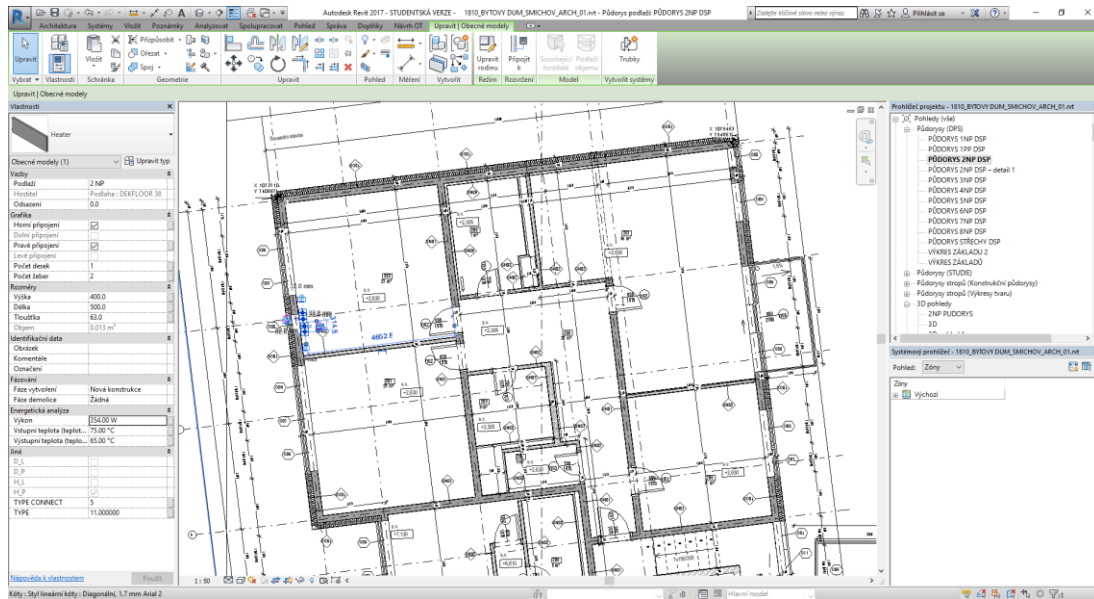
Project:											Obnovit
Číslo místnosti	Název	Zrůna místnosti	Vstupní teplota	Výstupní teplota	Typ VK/KK	Typ 11.22	Výška tělesa	Délka tělesa	Počet těles	Navrhnout	
101	Chodba 1	3436	75	65	KK	11	400	1100	4	Navrhnout	

Obr.45 Navržené tělesa 1NP (Vlastní zdroje)

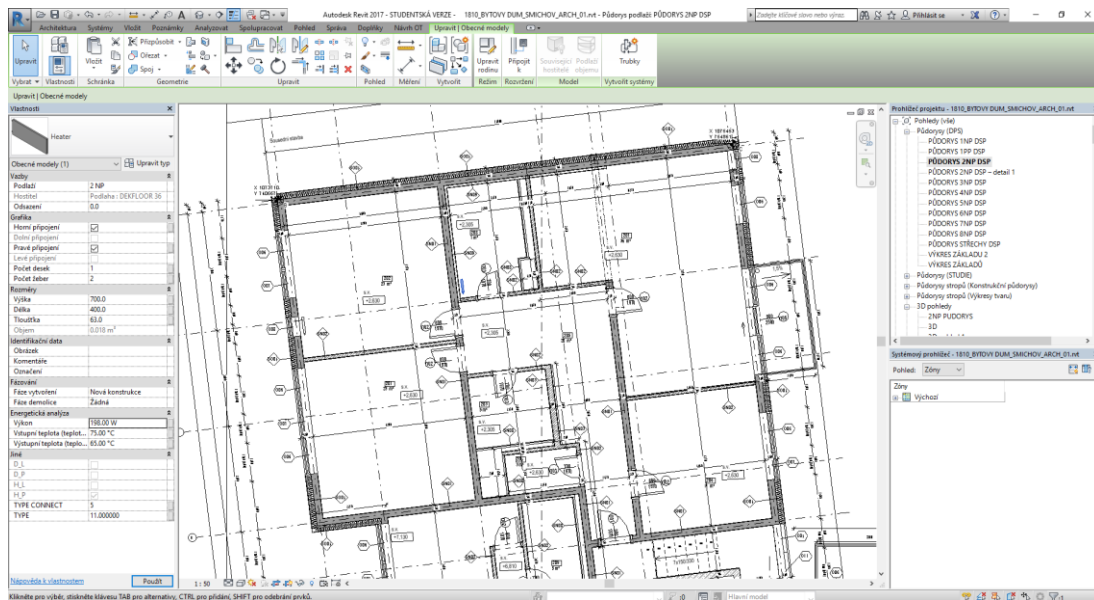
Project:											Obnovit
Číslo místnosti	Název	Zrůna místnosti	Vstupní teplota	Výstupní teplota	Typ VK/KK	Typ 11.22	Výška tělesa	Délka tělesa	Počet těles	Navrhnout	
540	Místnost VZT	926	75	65	KK	11	500	1100	1	Navrhnout	

Obr.46 Navržené tělesa 1PP (Vlastní zdroje)

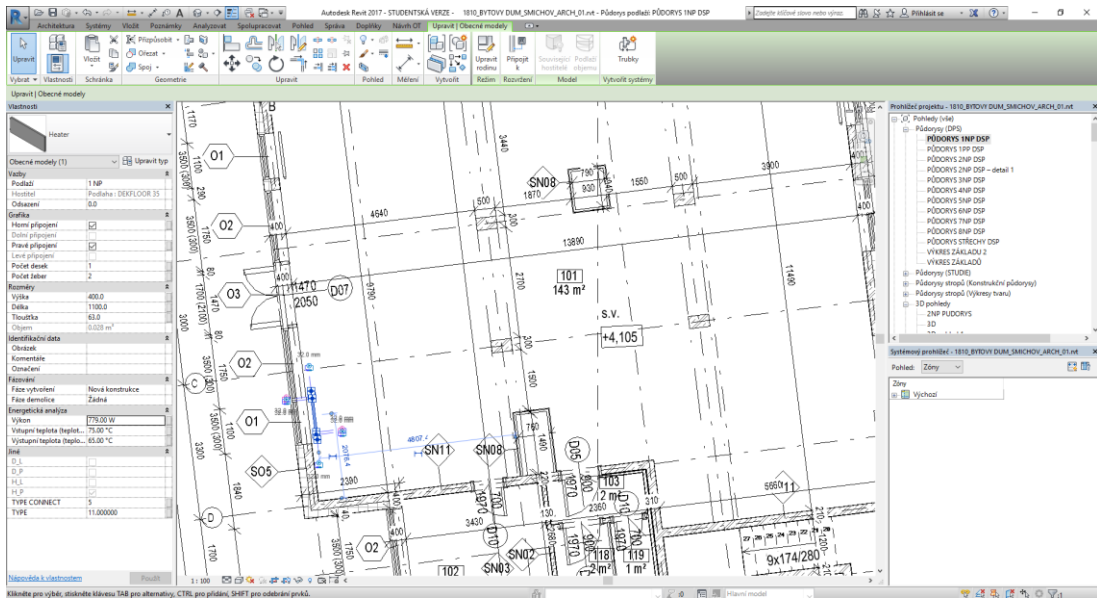
Posléze proběhlo automatické umístění otopných těles pomocí aplikace.



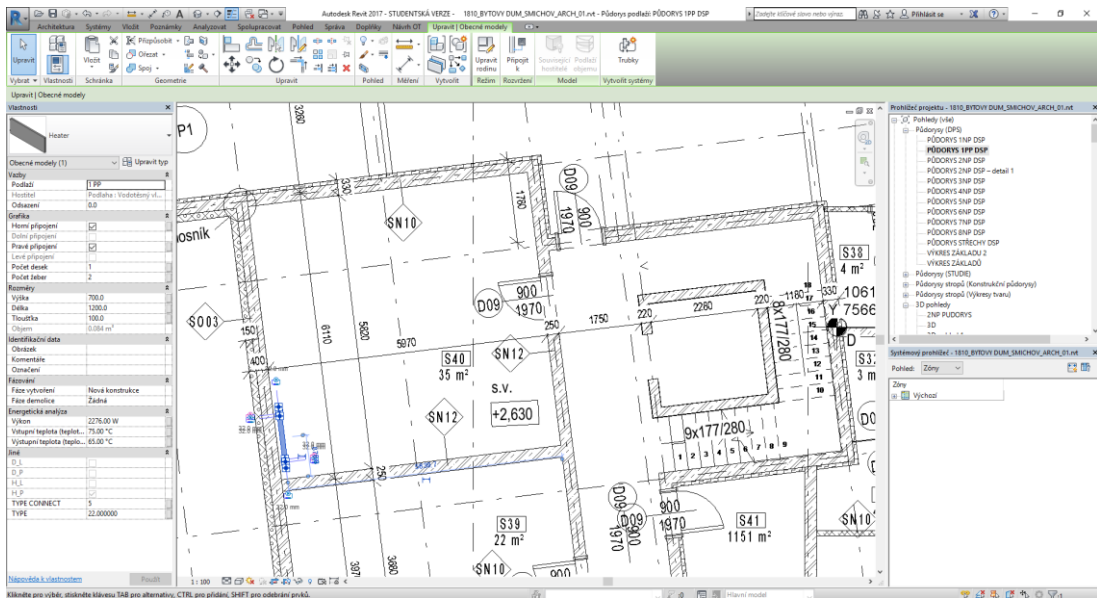
Obr.47 Navržené OT v ložnici (Vlastní zdroje)



Obr.48 Navržené OT v koupelně (Vlastní zdroje)



Obr.49 Navržené OT v obchodu (Vlastní zdroje)



Obr.50 Navržené OT v místnosti VZT (Vlastní zdroje)

5 Výstupy

Podle ručního výpočtu celkových návrhových ztrát místnosti byla vytvořena tabulka s potřebou pro vytápění místností pro návrh otopných těles.

№	Název místností	Ztráta místností [W]	Název tepelného tělesa	Výkon tepelného tělesa [W]	Počet tepelných těles	Výkon tepelných těles [W]
202	Ložnice	324,6	11-3060-5	329	1	329
208	Koupelna	277,4	11-4040-5	297	1	283
205	Chodba	-250,4	–	–	–	–
101	Obchod 1	3033,9	11-4110-5	779	4	3116
S40	Místnost VZT	850,4	11-5100-5	858	1	858

Tab.11 Návrh otopných těles podle ručního výpočtu (Vlastní zdroje)

Podle výpočtu celkových návrhových ztrát místnosti pomocí připraveného doplňku byla také vytvořena tabulka s potřebou pro vytápění místností pro návrh otopných těles.

№	Název místností	Ztráta místností [W]	Název tepelného tělesa	Výkon tepelného tělesa [W]	Počet tepelných těles	Výkon tepelných těles [W]
202	Ložnice	340,1	11-4050-5	354	1	354
208	Koupelna	168,2	11-3040-5	198	1	220
205	Chodba	-154,3	–	–	–	–
101	Obchod 1	3436,2	11-4110-5	779	4	3116
S40	Místnost VZT	925,8	11-5110-5	944	1	944

Tab.12 Návrh otopných těles podle výpočtu pomocí připraveného doplňku (Vlastní zdroje)

Rozdíly v numerických výsledcích mezi ruční metodou výpočtu a metodou výpočtu s použitím připravené aplikace, jsou v některých případech téměř stejné avšak někde zřejmě viditelné.

První rozdíl se nastává ve výpočtu teplotního opravného činitele $f_{x,k}$. Při vývoji nástroje bylo zjištěno, že jednodušší a přesnější je ve výpočtu teplotního opravného činitele, vztaženého k příslušné stavební části (k), použít přímo vzorec, který počítá s teplotou sousedního prostoru, nežli zjišťovat teplotu a pak vyhledat hodnotu z tabulky, která je ve zjednodušené metodě nepřesná.

Druhý rozdíl spočívá v nepřesnosti ve výpočtu plochy stavební konstrukce. Připravená aplikace vypočte plochu na základě délky segmentu prostoru, což je rozměr stěny ze strany interiéru. Jelikož bychom správně při výpočtu tepelných ztrát měli uvažovat délku stěny měřenou ze strany exteriéru, bylo v aplikaci přidáno pravidlo, že výpočtová délka stěny je rovna segmentu ze strany interiéru + tloušťce stěny. Což ve většině případů zhruba odpovídá skutečnosti, ovšem může způsobovat nepřesnosti. Pro odstranění této nepřesnosti by v aplikaci musel být přidán algoritmus, který přesně zjistí délku stěny ze strany exteriéru, což bylo pro účely této práce příliš časově náročné a pracné.

Z těchto důvodů je u ložnice čísla 202 rozdíl mezi numerickými výsledky tepelné ztráty 15,5 W, což vztaženo k celkové ztrátě není zas tak extrémní rozdíl, zejména když chceme uvažovat s rezervou. U místnosti Obchod 1 číslem 101 je rozdíl mezi tepelnými ztrátami 402,3 W. Takový velký rozdíl se vznikl kvůli tomu, že místnost je velká, takže je větší šance mít nepřesnosti ve výpočtu ploch konstrukcí a především teplotní opravní činitel $f_{x,k}$, podle zjednodušené normy je $f_{x,k} = 0,3$, s tím, že při přesnějším výpočtu podle připraveného doplňku při ztrátě tepla z podlahy nad garáží je $f_{x,k} = 0,47$. Při ploše podlahy 142,6 m² je vzniklý rozdíl poměrně velký.

Pro lepší porozumění všech metod výpočtu celkové tepelné návrhové ztráty a rozdílů mezi nimi jsou hodnoty uvedeny v tabulkách na následujících stránkách.

Tepelné ztráty ložnice podle zjednodušené metody normy ČSN EN 12831-1	Tepelné ztráty ložnice podle normy ČSN EN 12831	Tepelné ztráty ložnice podle vzorců nástroje v Exelu	Tepelné ztráty ložnice podle připraveného nástroje v Revitu
324,6 W	381,3 W	336,7 W	339,7 W

Tab.16 Porovnání tepelných ztrát

Z předchozí tabulky je patrné, že výsledné hodnoty při výpočtu celkové návrhové tepelné ztráty jsou rozdílné.

V prvním sloupci je představena hodnota tepelné ztráty výpočtem dle zjednodušené metody aktuální normy ČSN EN 12831-1.

V druhém sloupci je hodnota tepelné ztráty podle výpočtu dle staré normy ČSN EN 12831. Rozdíl mezi předchozí a aktuální normou je v metodě výpočtu a používaných vzorcích, popsaných v kapitole 1.4.

Ve třetím sloupci je předpokládaná ztráta tepla podle výpočtu připraveného nástroje. Typ výpočtu a výsledek používaný ve vyvíjené aplikaci by měl být totožný jako v prvním sloupci. Oproti zjednodušené metodě se liší pouze v hodnotách opravného teplotního součinitele $f_{x,k}$,

V posledním sloupci je hodnota, která je výsledkem výpočtu pomocí připravené aplikace. Rozdíl s předchozím sloupcem spočívá v nepřesnosti ve výpočtu plochy stavební konstrukce, rozdíl je 3 W (0,9 %), což je z hlediska návrhu zanedbatelný rozdíl.

6 Závěr

V této bakalářské práci jsou popsány výhody používání informačního modelování budov a informačního modelování budov s vytvořeným doplňkem oproti klasickému přístupu projektování. Vytvořený doplněk počítá celkovou návrhovou tepelnou ztrátu v souladu se současnou normou ČSN EN 12831-1 Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu – Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3– 3 od roku 2018.

Numerické výsledky ručního výpočtu tepelných ztrát jsou téměř stejné jako při použití výpočtu připravené aplikace, která přináší zefektivnění urychlením výpočtu a možnost snadných změn. Přístup nabízí řadu výhod, mezi které patří především přehlednost informací a zpětnou vazbu práce se změnami.

Při kvalitně vyhotoveném stavební informačním modelu v softwaru Revit pro výpočet celkové návrhové tepelné ztráty a návrh otopných těles je potřeba zadat několik údajů: venkovní výpočtovou teplotu θ_e (když nebyla zadána dříve); typ budovy, pomocí něhož připravena aplikace zvolí přírážku na vliv tepelných vazeb ΔU_{TB} (když nebyl zadán dříve); účel místnosti, ze kterého budou odvozené vnitřní teplota prostoru θ_{int} a intenzitu větrání n ; tepelný spád, účinnost rekuperačního výměníku a měrný zátopový výkon $\phi_{hu,i}$.

Uživatel připravené aplikace při výpočtu tepelných ztrát se nemusí zamýšlet nad prepisováním dílčích součinitelů prostupu tepla a vytvářením tabulek se ztrátou a plochou každé konstrukce ohraničující místnost. Údaj o objemu místnosti a veškeré vzorce jsou odečteny připravenou aplikací automaticky z modelu. Umístění otopného tělesa proběhne automaticky, takže projektant nemusí volit otopné těleso sám a přemýšlet nad jejich správným rozměrem a počtem, vyhovujícím tepelné ztrátě každé místnosti. Podle přání projektanta je možné přidat větší rezervu v navrhování otopných těles a změnit jak celkovou ztrátu místnosti, tak i počet či rozměry těles.

Informační modelování s výhodami připravené aplikace ulehčuje výpočet návrhu tepelné ztráty a návrh otopných těles.

7 Použité zdroje

7.1 Literatura

[3] *ВЛАДИМИР ТАЛАПОВ*. “BIM и обмен информацией”, In: “Основы BIM: введение в информационное моделирование зданий”, 2011, pp.88-90, ISBN-978-5-94-074-692-8

[8] *Зайцев О. Н., Любарев А. П.* “Проектирование систем водяного отопления”, Вена, Киев - Одесса, 2008. pp.8 — 200. ISBN: 5-16-002270-8

[11] *Liu, Xuesong; Akinci, Burcu*. “Requirements and Evaluation of Standards for Integration of Sensor Data with Building Information Models”. In Caldas, Carlos H.; O'Brien, William J. “Computing in Civil Engineering”, 2011, pp. 95–104, ISBN 978-0-7844-1052-3, DOI:10.1061/41052(346)10.

[13] ČSN EN 12831-1 Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu – Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3– 3 (platnost: 02.2018 - 10.2018). Praha: ÚNMZ

[14] ČSN EN 12831-1 Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu – Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3– 3 (platnost: 09.2018 – současnost). Praha: ÚNMZ

[15] ČSN EN 12831-3 Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu – Část 3: Tepelný výkon pro soustavy teplé vody a charakteristika potřeb, Modul M8– 2, Modul M8– 3 (platnost: 02.2018 - 01.2019). Praha: ÚNMZ

[16] ČSN EN 12831 Otopné soustavy v budovách – Výpočtová metoda pro tepelné ztráty. (platnost: 07.2003 – 04.2005). Praha: ÚNMZ

[17] ČSN EN 12831 Tepelně soustavy v budovách – Výpočet tepelného výkonu. (platnost: 03.2005 - 03.2018). Praha: ÚNMZ

7.2 Internetové zdroje

- [1] *АРХИТЕКТУРНО-ИНЖИНИРИНГОВАЯ КОМПАНИЯ*. “BIM (BUILDING INFORMATION MODELING) - ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗДАНИЙ” [Online]. Únor 2017,[Viděno: 25-bre-2019] Dostupné z: <https://sproekt.ru/5/>
- [2] *VLADIMÍR MICHL*. “Historie a budoucnost technologie BIM”, In: “Historie BIM” [Online]. Leden 2019, [Viděno: 19-bre-2019] Dostupné z: [info\(at\)bimfo.cz](mailto:info(at)bimfo.cz)
- [4] *Odbor 31500*.“Setkání stavebního odvětví Koncepte BIM 2022” [Online]. Únor 2019 [Viděno: 19-bre-2019] Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/stavebnictvi-a-suroviny/bim/setkani-stavebniho-odvetvikoncepce-bim-2022--244068/>
- [5] *National Institute of Building Sciences*.“Frequently Asked Questions About the National BIM Standard-United States - National BIM Standard - United States”. [Online]. Říjen 2014. [Viděno: 4-dub-2019] Dostupné z: Nationalbimstandard.org.
- [6] *РОСТИМ*.“Технологии информационного моделирования”. [Online]. Září 2016. [Viděno: 4-dub-2019] Dostupné z: <https://ros-tim.ru/podrobnееobim>
- [7] *BIMestiMate*.“The Theory of Evolution BIM 3D-7D”. [Online]. October 2018. [Viděno: 4-dub-2019] Dostupné z: <https://bimestimate.eu/en/the-theory-of-evolution-bim-3d-7d/>
- [9]*Senate Properties*.“Senate Properties modeling guidelines”. Gsa.gov. [Online].October 2014.[Viděno: 4-dub-2019] Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20120226194436/http://www.senaatti.fi/document.asp?siteID=2&docID=588>
- [10] *BIM PLUS*. [Online]. [Viděno: 6-dub-2019] Dostupné z:https://www.bimplus.net/us_en/benefits/
- [12] *Quirk, Vanessa*. “A Brief History of BIM”. [Online]. July 2015.[Viděno: 7-dub-2019] Dostupné z: <https://www.archdaily.com/302490/a-brief-history-of-bim>
- [13] *habr*. “Несколько причин изучать Revit, если ты инженер-строитель” [Online]. Březen 2017. [Viděno: 7-dub-2019] Dostupné z: <https://habr.com/ru/sandbox/107974/>
- [14] *Станкевич Юлия Сергеевна*. “МИНУСЫ REVIT В РЕАЛЬНОСТИ”. [Online]. [Viděno: 7-dub-2019] Dostupné z: <https://dmstr.ru/articles/1966/>
- [15] *Wavin Europe*. Podle interního šetření Wavin Europe. 2019