

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA STROJNÍ  
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

---

**MOŽNOSTI VYUŽITÍ BIM METOD  
A NÁSTROJŮ ENERGETICKÉ  
SIMULACE BUDOV  
V PROJEKČNÍ ČINNOSTI**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Mečír** Jméno: **Hynek** Osobní číslo: **482415**  
 Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
 Zadávající katedra/ústav: **Ústav techniky prostředí**  
 Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**  
 Studijní obor: **bez oboru**

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Možnosti využití BIM metod a nástrojů energetické simulace budov v projekční činnosti**

Název bakalářské práce anglicky:

**Opportunities of the Application of BIM Methods and Building Energy Simulation Tools in the Design Process**

Pokyny pro vypracování:

Student prověří praktické možnosti využití importování BIM modelu (Autodesk Revit) do nástrojů pro energetickou simulaci budov (IDA-ICE) za účelem návrhu vzduchotechnického systému rodinného domu. Výstupem bakalářské práce bude komentovaná projektová dokumentace v rozsahu pro stavební povolení. Komentář bude popisovat možnosti a limity nového přístupu zpracování podkladových výpočtů v rámci projekční činnosti.

Seznam doporučené literatury:

Building Performance Simulation for Design and Operation, edited by Jan L. M. Hensen, and Roberto Lamberts, Routledge, 2019. ProQuest Ebook Central  
 Maile, Tobias, et al. 'BIM-Geometry modelling guidelines for building energy performance simulation.' Building Simulation Conference. 2013.  
 Heffernan, Emma Elizabeth, et al. 'From BIM (Building Information Modelling) to BEM (Building Energy Modelling): a collaborative approach.' (2017)

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Vojtěch Zavřel, Ph.D., ústav techniky prostředí FS**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **30.04.2021**

Termín odevzdání bakalářské práce: **04.07.2021**

Platnost zadání bakalářské práce: \_\_\_\_\_

Ing. Vojtěch Zavřel, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.  
podpis děkana(ky)

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

\_\_\_\_\_ Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_ Podpis studenta

## Souhrn

Tato bakalářská práce se zabývá možnostmi importování BIM geometrie do nástroje pro energetickou simulaci budov a dále možnostmi využití výsledků simulace v procesu návrhu vzduchotechnického systému. Hlavním výstupem práce je porovnání výsledků dosažených pomocí standardního postupu dle norem a při použití simulace. Porovnávané výsledky se týkají zejména maximální ztráty nuceným větráním (návrhového výkonu ohřívače vzduchu) a potřeby tepla na pokrytí ztrát větráním v průběhu celého roku. Následně jsou demonstrovány rozšířené možnosti simulačních technik pro návrh systému s konstantním a proměnným průtokem vzduchu. Dalším výstupem práce je projektová dokumentace vzduchotechniky v rozsahu pro stavební povolení.

## Summary

This bachelor's thesis deals with the opportunities of importing BIM geometry into energy simulation tools and the applicability of the simulation results in design process of ventilation systems. The main outcome of the thesis is a comparison of the results obtained by the standard procedure according to standards and by simulations. The results, that are subject of the comparison, are the maximum ventilation loss (design power of the air heater) and the ventilation losses during the year. Then the extended features of simulation technique is demonstrated for the design of ventilation systems with constant and variable air flow. Another outcome of the thesis is the project documentation of ventilation system to the extent for building permit.

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „Možnosti využití BIM metod a nástrojů energetické simulace budov v projekční činnosti“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Vojtěcha Zavřela, Ph.D., s použitím literatury uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

V Praze dne:

Hynek Mečír

## Poděkování

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu práce Ing. Vojtěchu Zavřelovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady při konzultacích a revizi textu. Dále bych chtěl také poděkovat rodině a své přítelkyni za podporu během studia i při tvorbě této práce.

# Obsah

1	Úvod.....	9
2	Postupy a nástroje v projekční činnosti .....	11
2.1	Normy a závazné požadavky pro návrh vzduchotechniky.....	11
2.1.1	Výpočetní podmínky.....	11
2.1.2	Energetická náročnost.....	11
2.1.3	Projektová dokumentace .....	12
2.2	Pokročilé nástroje pro tvorbu dokumentace.....	13
2.2.1	Informační modelování budovy – nástroje a formáty pro tvorbu výkresové dokumentace .....	13
2.2.2	Energetická simulace budov – nástroje a formáty pro energetické výpočty .....	16
2.3	Příležitosti a výzvy pro pokročilé nástroje.....	18
3	Testování pokročilých nástrojů pro návrh VZT .....	20
3.1	Řešená otázka a návrh testování .....	20
3.2	Vstupy .....	21
3.3	Práce s pokročilými nástroji.....	21
3.4	Požadované výstupy.....	22
4	Tvorba simulačního modelu .....	23
4.1	Převedení modelu z Revitu do IDA-ICE .....	23
4.2	Mapování a definování materiálů.....	24
4.3	Zónování simulačního modelu.....	26
4.4	Nastavení okrajových podmínek.....	30
5	Energetické výpočty a simulace .....	32
5.1	Manuální výpočet podle normových hodnot.....	32
5.2	Simulace větrání s konstantním průtokem vzduchu.....	33
5.3	Simulace větrání s proměnným průtokem vzduchu .....	35

---

6	Výsledky simulací a jejich diskuze.....	38
6.1	Maximální ztráty .....	38
6.2	Spotřeba tepla během roku.....	38
6.3	Dimenzování vzduchotechnického zařízení.....	41
6.4	Dopady na dokumentaci pro stavební povolení.....	42
7	Závěr .....	44
8	Seznam zdrojů.....	46
9	Seznam obrázků.....	48
10	Seznam tabulek.....	49
11	Seznam příloh .....	49

## Seznam použitého značení

<b>Značka</b>	<b>Veličina</b>	<b>Rozměr</b>
d	den	-
D°	denostupeň	dK
t <sub>e</sub>	vnější výpočtová teplota	°C
t <sub>es</sub>	průměrná vnější teplota	°C
t <sub>i</sub>	vnitřní výpočtová teplota	°C
t <sub>is</sub>	průměrná vnitřní teplota	°C
Q	teplo	kWh
Q̇ <sub>z</sub>	tepelná ztráta	W

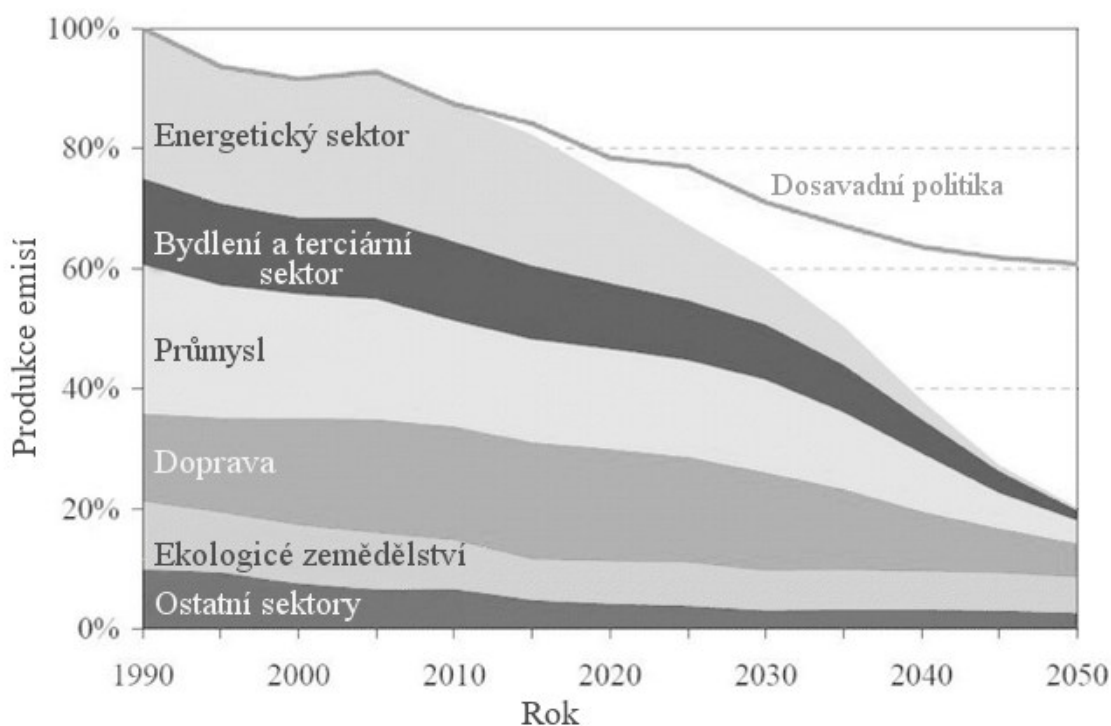
## Seznam použitých zkratk

BEM	Building Energy Modeling
BEST	Building Energy Software Tools
BIM	Building Information Modeling
CAD	Computer Aided Design
COBie	Construction Operations Building information exchange
EPBD	Energy performance of buildings directive
IFC	Industry Foundation Classes
LED	Light Emitting Diode
NBS	National Building Specification
VZT	vzduchotechnika



# 1 Úvod

Protože lidé tráví velkou část života ve vnitřním prostředí, je potřeba, aby toto prostředí bylo dostatečně kvalitní. Ze zdravotního hlediska se jedná hlavně o podíl oxidu uhličitého, případně jiných nebezpečných látek a prachových částic ve vzduchu. Z hlediska komfortu se pak může jednat například o rozložení teplot v místnosti apod. Velkou roli také hrají stále se zpřísňující požadavky na ekologické hospodaření s energiemi. Tento tlak je ve stavebním průmyslu tvořen zejména evropskou směrnicí o energetické náročnosti budov (EPBD) [1], která vznikla v roce 2002. Její nejaktuálnější 3. verze udává mimo jiné také požadavek na snížení emisí skleníkových plynů o 40 % do roku 2030 ve srovnání s produkcí emisí v roce 1990. Dalším milníkem je rok 2050, kdy by měla být celková produkce emisí snížena o 80 %. Tyto plány na snižování emisí v závislosti na čase jsou graficky znázorněny na obrázku 1 [2]. Lze si také všimnout, že dopady těchto opatření mají výrazný vliv téměř na všechna odvětví. Tato opatření mají vést k vybudování udržitelného, konkurenceschopného, bezpečného a dekarbonizovaného energetického systému. Jeden z dalších požadavků směrnice klade opět důraz na kvalitní a zdravé vnitřní prostředí [1, 2]. Z těchto důvodů je nutné navrhovat systémy větrání, které zajistí dostatečnou kvalitu vnitřního prostředí, ale zároveň jsou energeticky efektivní.



Obr. 1: Plán snižování emisí v EU do roku 2050 [2]

Zpřísňující se požadavky vyžadují také nové přístupy k návrhu budov a jejich systémů. Jednou ze současných metod je tzv. BIM. Jedná se o zkratku z anglického výrazu Building Information Modeling neboli informační model budovy. BIM obsahuje 3D geometrii objektu s doplňujícími informacemi o použitých materiálech a systémech. Tyto informace shromážděné v rámci BIM modelování mohou být dále využity.

Dalším krokem k optimálnějšímu návrhu a následnému provozu budovy může být energetická simulace. Její nespornou výhodou oproti klasickým výpočtům je získání výsledků v závislosti na čase. Je tedy možné získat časové průběhy požadavků na energii, teplot a mnoho dalšího. Vzhledem k tomu, že je v simulaci zahrnuto také dynamické chování stavby a provozní stavy v průběhu celého roku, je možné odhalit slabá místa v návrhu a zavčas je opravit [3].

Typicky bylo ale potřeba pro provedení simulace vytvořit zvlášť geometrii modelu a nastavení tepelně-technických parametrů, což může být především u větších objektů velmi zdouhavé. Tvorbu modelu je ale možné urychlit importováním již existující 3D geometrie modelu budovy do simulačního programu. Následně je pak možné na podkladě takto importované geometrie vygenerovat simulační model. Jako podkladová 3D geometrie se s výhodou nabízí již zmíněný model BIM.

Tato práce se bude věnovat možnostem přenosu modelu BIM z programu Autodesk Revit, do simulačního programu IDA-ICE od Švédské firmy EQUA. Aby byla následně ověřena funkčnost vytvořeného modelu, bude na přenos a tvorbu simulačního modelu navázáno srovnání simulace s návrhem větrání podle normy ČSN EN 15665/Z1 [4] a výpočty tepelných ztrát větráním podle ČSN EN 12831-1 [5].

## 2 Postupy a nástroje v projekční činnosti

Pro porovnání simulací s konvenčními výpočty tato práce vyžaduje znalost běžně používaných postupů. Je tedy nutné uvést zákonné požadavky, kterými se návrh vzduchotechnického systému musí řídit, případně normy, podle kterých je návrh prováděn.

### 2.1 Normy a závazné požadavky pro návrh vzduchotechniky

Ve vyhlášce č. 268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby [6] je dáno, že obytné místnosti musí mít zajištěny dostatečné větrání venkovním vzduchem. Pro větrání pobytových místností musí být přivedeno v době přítomnosti osob minimálně 25 m<sup>3</sup>/h venkovního vzduchu na osobu, nebo musí být minimální intenzita větrání 0,5 l/h. Jako ukazatel kvality vnitřního prostředí slouží koncentrace oxidu uhličitého, která nesmí překročit hodnotu 1 500 ppm.

Při větrání ostatních prostor musí vzduchotechnika zajistit dostatečnou kvalitu vnitřního ovzduší, která vyhovuje hygienickým a technologickým požadavkům. Pro návrh vzduchotechnického systému obytných budov se doporučuje použít normu ČSN EN 15665/Z1 [4]. Dále je také potřeba uvažovat tepelnou ztrátu větráním, která se počítá dle normy ČSN EN 12831-1 [5].

#### 2.1.1 Výpočetní podmínky

Pro výpočet tepelných ztrát se používá venkovní výpočtová teplota. Tato teplota je závislá na konkrétní lokalitě a určí se z normy ČSN EN 12831-1 [5]. Pro dimenzování vzduchotechnického zařízení se ale nehodí, neboť je stanovená z průměrné teploty za 5 nejchladnějších dnů během 30letého období. Toto řeší norma ČSN 12 7010 [7], která doporučuje pro návrh výměníků zpětného získávání tepla a ohřivačů vzduchu snížit venkovní výpočtovou teplotu minimálně o 3 °C [8].

Celková tepelná ztráta větráním se skládá z tepelné ztráty nuceným větráním, tepelné ztráty převodem vzduchu mezi místnostmi a tepelné ztráty větráním obálkou budovy.

#### 2.1.2 Energetická náročnost

Výkon ohřivače vzduchu ve vzduchotechnické jednotce je navržený pro teoreticky nejhorší možné podmínky, které mohou nastat. V průběhu roku jsou ale podmínky odlišné od těch návrhových a ohřivač pak pracuje pouze na část svého výkonu, případně

je úplně vypnutý. Jednou z metod, která se toto ve svém výpočtu snaží zohlednit, je denostupňová metoda. Pomocí jednoduchého výpočtu je možné se dobrat alespoň přibližného odhadu spotřeby tepla za dané období. Nevýhodou této metody je ale značná nepřesnost, kterou způsobuje velmi zjednodušený výpočet. Nezohledňuje totiž mnoho dalších faktorů ovlivňující spotřebu tepla (např. tepelné zisky z oslunění, spotřebičů apod.). Proto jsou výsledky vypočtené pomocí denostupňové metody poněkud nadhodnocené [9].

Vztah pro určení počtu denostupňů je následující [10]:

$$D^{\circ} = d \cdot (t_{is} - t_{es}) \quad [\text{dK}], \quad (1)$$

kde  $d$  [-] je počet dní v časovém úseku,  $t_{is}$  [°C] je průměrná vnitřní teplota a  $t_{es}$  [°C] je průměrná vnější teplota v časovém úseku. Pro výpočet denostupňů jsou k dispozici specializované kalkulačky (např. pomůcka na portálu TZB-info [11]).

Použitý vztah pro výpočet spotřebovaného tepla z počtu denostupňů [10]:

$$Q = \dot{Q}_z \cdot \frac{24}{1000} \cdot \frac{D^{\circ}}{t_i - t_e} \quad [\text{kWh}], \quad (2)$$

kde  $\dot{Q}_z$  [W] je tepelná ztráta, resp. výkon ohřívače vzduchu,  $t_i$  [°C] je vnitřní výpočtová teplota a  $t_e$  [°C] je vnější výpočtová teplota.

### 2.1.3 Projektová dokumentace

Rozsah a obsah projektové dokumentace stavby stanovuje vyhláška č. 499/2006 Sb. [12]. Projektová dokumentace vzduchotechniky v rozsahu pro stavební povolení se skládá z technické zprávy, výkresové dokumentace a případného seznamu strojů a zařízení. Obsah i rozsah této dokumentace se přizpůsobuje charakteru a složitosti konkrétní stavby.

Technická zpráva obsahuje výpis použitých norem, hodnoty vstupních výpočtových parametrů, požadované provozní podmínky, režim provozu, popis řešení a dimenzování, bilance energií, požadavky na ostatní profese, případně další podmínky projektanta.

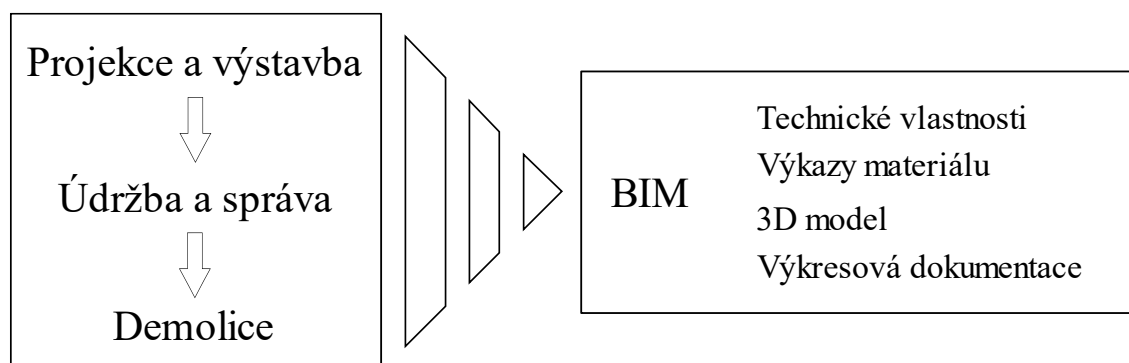
Výkresová část obsahuje umístění hlavních zařízení, jejich základní schémata a půdorysy páteřních potrubních rozvodů v jednočárovém zobrazení, přičemž se přípojovací potrubí ani koncové prvky nezobrazují.

Seznam strojů a zařízení pak obsahuje jejich technické a výkonové parametry, základní komponenty a související požadavky.

## 2.2 Pokročilé nástroje pro tvorbu dokumentace

### 2.2.1 Informační modelování budovy – nástroje a formáty pro tvorbu výkresové dokumentace

BIM je proces tvorby dokumentace, případně se tak dá označit i samotný model budovy. Ačkoliv je slovo building překládáno do češtiny jako budova, v angličtině má význam jakékoliv stavby nebo procesu výstavby. V praxi to znamená, že se BIM používá nejen pro budovy, ale také pro jakékoliv jiné (např. dopravní) stavby. Může v něm být zahrnut celý životní cyklus objektu od návrhu až po demolici. Výhoda takto komplexní databáze je, že z ní lze získat potřebné informace v jakékoliv fázi projektu. Pro lepší přehlednost je možný obsah databáze BIM graficky zpracován na obrázku 2. Projekční kanceláře využívají BIM také jako multioborovou možnost spolupráce na projektu, kdy se na jedné stavbě může efektivně účastnit několik projektantů najednou. To vede nejen ke zkvalitnění návrhu, ale také k možnému odhalení případných kolizí mezi obory. Pro potřeby této práce budu považovat BIM především jako model budovy.

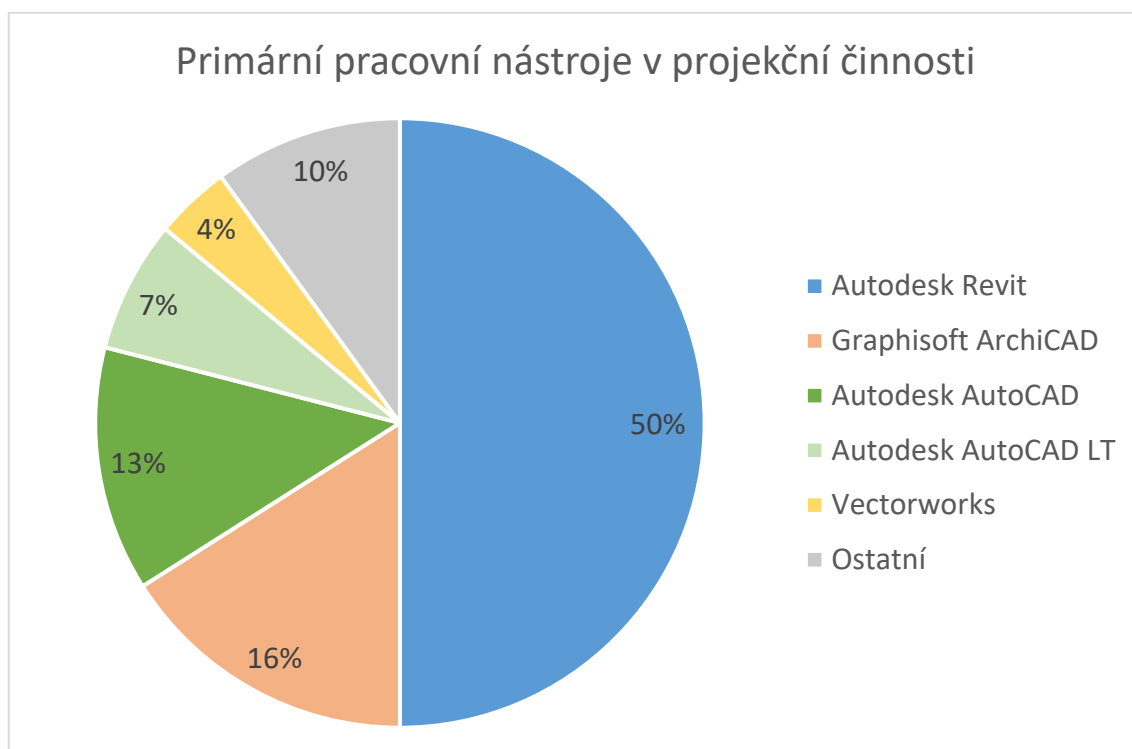


Obr. 2: Využití BIM od návrhu až po demolici stavby

Pro tvorbu a následnou správu BIM je potřeba nástroj. Jedná se o počítačový program, který dokáže pracovat s takto rozsáhlou databází. Díky konkurenčnímu boji existuje takových programů samozřejmě hned celá řada. Mezi jedny z nejznámějších patří např. Autodesk Revit, Graphisoft Archicad, Nemetschek Allplan, Tekla, Vectorworks, Bentley OpenBuildings atd.

Z porovnání četnosti hledaných výrazů na Google Trends [13] celosvětově jednoznačně převládá Autodesk Revit. V případě Evropy je situace poněkud vyrovnanější. Většina výrobců BIM software sídlí v USA, ale jsou mezi nimi i výjimky jako je např. společnost Nemetschek, která sídlí v Německu. Je důležité si uvědomit, že je tím pádem většina software vyvinutá primárně pro americký trh. Jelikož jsou v Evropě používány jiné

normy a postupy, tak některé funkce nemusí fungovat podle očekávání. Často se tento problém řeší přikoupením různých doplňků, které tyto funkce suplují. V následujícím grafu na obrázku 3 je možné vidět 5 nejpoužívanějších nástrojů pro projekční činnost v roce 2020 ve Spojeném království, který vytvořila organizace NBS při průzkumu rozšíření BIM v projekční praxi [14]. Z grafu je dobře patrná převaha BIM nástrojů nad obyčejnými CAD nástroji, zejména pak masivní podíl programu Autodesk Revit.



Obr. 3: Průzkum nástrojů pro projekční činnost ve Spojeném království [14]

Pro ukládání databáze BIM existuje hned celá řada souborových formátů. V základu se dají rozdělit na volné a proprietární. Volné formáty nejsou závislé na výrobci a patří mezi ně například gbXML, IFC nebo COBie. Protože jsou tyto formáty volné, výrobci je mohou implementovat do svých programů a vzniká tak mnohem širší podpora přenosu BIM i mezi softwarem různých výrobců. Nevýhodou pak může být ztráta některých dat při exportování do těchto formátů, což je stále poměrně častý problém [3].

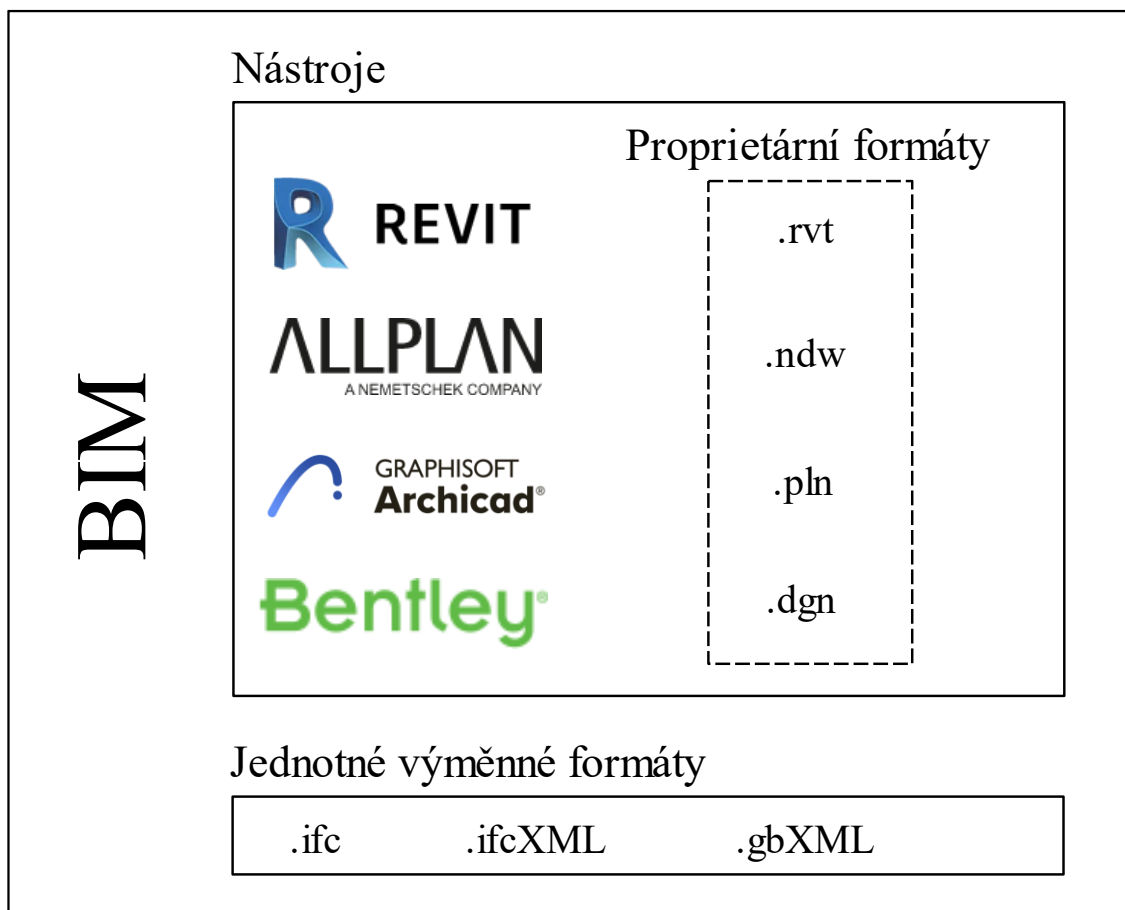
Formát gbXML byl vyvinut v roce 2000 tvůrci Green Building Studia za účelem přenosu geometrických dat a informací mezi BIM a nástroji pro energetickou simulaci. Všechna geometrická data i informace ukládá v jasně definovaném textovém zápisu [15, 16].

Dalším formátem je IFC. Je to zkratka pro Industry Foundation Classes. Jedná se o velmi rozšířený volný formát pro výměnu dat BIM. První verze IFC1.0 byla vydána už v roce

1996. Od té doby vzniklo hned několik inovovaných verzí. V praxi se pak nejvíce používá IFC2x3 nebo novější IFC4. Tento formát je dokonce specifikován mezinárodní normou ISO 16739, resp. novějším vydáním ISO 16739-1 [17]. V České republice ho pak lze nalézt pod převzatou normou ČSN EN ISO 16739, resp. ČSN EN ISO 16739-1. Vzhledem k rozšířenosti je IFC vhodné jako univerzální přenosový formát mezi programy různých výrobců [15]. Slouží však pouze pro čtení a nelze ho tedy editovat. Uložený může být přímo jako soubor s příponou IFC nebo ve formátu XML s příponou ifcXML. Třetí možností je ifcZIP, což je akorát zkomprimovaná verze IFC nebo ifcXML.

COBie je zkratka pro Construction Operations Building information exchange. Datová struktura tohoto formátu vychází ze struktury IFC. Je tedy jakousi podmnožinou. Tento formát je ale primárně zaměřen na zpracování dat vzniklých v procesu návrhu a výstavby pro jejich následné efektivní využití při správě tohoto objektu. Jelikož struktura COBie vychází z IFC, je možné tyto data přenášet přímo v souboru IFC nebo formou XLS tabulky [18].

Na druhé straně jsou proprietární formáty, které si prakticky každý výrobce vytvoří pro svůj program a většinou se nedají otevřít v programech jiných výrobců. Například Autodesk Revit používá vlastní formát RVT, Graphisoft Archicad používá PLN, Nemetschek Allplan používá NDW, Bentley OpenBuildings má DGN atd. Velikou výhodou těchto formátů je přesná interpretace dat a nehrozí jejich ztráta při ukládání nebo přenášení. Nevýhodou je pak právě nemožnost otevřít tyto formáty v programech jiných výrobců. Často jsou také BIM modely rozloženy v několika podsložkách a každý typ dat má svůj formát a příponu. Zde pak ani nelze jednoznačně určit, který formát a přípony daný program používá. Na obrázku 4 je graficky zpracovaná ukázka vybraných nástrojů a jejich proprietárních formátů. Dole jsou pak zobrazeny jednotné výměnné formáty BIM, které nejsou závislé na výrobcí konkrétního nástroje.



Obr. 4: Přehledná ukázka nástrojů a formátů pro BIM

### 2.2.2 Energetická simulace budov – nástroje a formáty pro energetické výpočty

Pro energetické simulace budov se v anglické literatuře používá termín Building Energy Modeling, zkráceně BEM. Jedná se o komplexní model primárně určený k numerickému řešení energetického chování budovy. Model musí obsahovat kromě vlastní geometrie také vlastnosti konstrukčních materiálů, použitých systémů i jednotlivých komponent, zdrojů tepla a chladu, obnovitelných zdrojů energie atd. Kromě vlastních tepelně-technických vlastností budovy musí ještě BEM obsahovat také údaje o provozu a parametry vnějšího prostředí. Jedná se například o počty osob, výkony osvětlení, nastavení termostatů a časové harmonogramy těchto veličin [19]. Parametry vnějšího prostředí jsou určeny definicí lokace objektu a přiřazením odpovídajících klimatických dat. Používá se tzv. typický meteorologický rok, který je statisticky zpracován na základě reálně naměřených dat za posledních 15 až 30 let. Je patrné, že při tvorbě modelu BEM je zapotřebí zadat velké množství vstupních informací. Velká část těchto informací je však rozsahem do určité míry shodná s těmi obsaženými v databázi BIM.



Přehled dostupných simulačních programů se dá nalézt v rozsáhlé databázi BEST vytvořené americkým oddělením mezinárodní asociace pro simulaci budov (IBPSA) [20].

Nástroje pro tvorbu a správu BEM se dají rozdělit na 3 skupiny. Tou první jsou samostatné programy pro výpočty energetických simulací. Většinou se jedná o vysoce specializovaný software s pokročilými funkcemi a širokou škálou nastavení. Podobně jako tomu bylo u nástrojů pro BIM, je i zde díky konkurenčnímu prostředí na výběr řada různých programů. K dispozici je komerční i nekomerční software. Funkcionalita komerčního software je většinou přizpůsobená pro použití v praxi, kde je potřeba mít výsledky simulace co možná nejrychleji. Tomu je přizpůsobené nastavení podmínek simulace, různé pomocné funkce a kontrolní mechanismy, zda simulace probíhá správně. Při výzkumu mohou být ale tyto funkce naopak omezující a stanou se nevýhodou. Mezi nejznámější komerční energetické simulační programy patří například Equa IDA-ICE, IESVE, Design Builder, BuildSim, CYPETHERM, TRNSYS a mnoho dalších.

Dále je k dispozici i neplacený software, často s otevřeným zdrojovým kódem. Ten je většinou vyvíjen univerzitami nebo jinými státními institucemi a poskytuje velikou variabilitu v nastavení. Nevýhodou těchto programů je často méně přehledné rozhraní, daleko složitější nastavení simulace a také absence doplňkových funkcí. Se znalostí programování je ale možné si řadu funkcí přidat svépomocí. Zástupci těchto programů jsou například ESP-r, Energy Plus, jeho nadstavba Open Studio apod. Energy Plus je také používán jako spolehlivé výpočetní jádro i u některých komerčních řešení (např. Design Builder nebo CYPETHERM) [16].

Samostatnou kategorií pak jsou nástroje propojující grafické prostředí 3D modeláře s některým z výpočtových jader pro provedení simulace. Do této kategorie spadá například balík programů Ladybug tools s otevřeným zdrojovým kódem. Jeho prvek Honeybee propojuje Grasshopper (doplňěk pro 3D modelář Rhino) se simulačním jádrem Energy Plus, ale také s řadou dalších programů.

Další kategorií jsou nástroje přímo integrované v software pro tvorbu a správu BIM. Velikou výhodou tohoto řešení je, že není potřeba předávat data mezi dvěma programy. Tím se výrazně omezí riziko ztráty dat a následné nutnosti tyto data opravit či doplnit. Nevýhodou tohoto řešení ale může být ne tak velká specializace a rozsáhlost možností nastavení, jako je tomu u samostatných specializovaných programů. Ve většině případů je to řešeno integrací již existujícího softwaru přímo do BIM nástroje jako doplněk nebo

přídavný modul. Sem patří například Autodesk Revit s doplňkem Autodesk Insight, Nemetschek Allplan s pluginem ESS – AX3000, Graphisoft Archicad, Bentley OpenBuildings a další.

Prakticky jediným univerzálním výměnným formátem pro BEM je již zmíněný gbXML. Většinou má ale každý program svůj vlastní formát, ve kterém je uložen BEM se všemi výpočetními daty včetně výsledků simulací.

### 2.3 Příležitosti a výzvy pro pokročilé nástroje

Profesorové Hensen a Lamberts uvádí v publikaci [2] následující informace, které je potřeba mít při tvorbě BEM na zřeteli. Kvalita výsledků simulace záleží na přesnosti vstupních parametrů modelu týkajících se především tepelně-technických vlastností, obsazenosti atd. V době návrhu však často není možné přesně ověřit správnost tohoto modelu, ani výsledků simulace. Je možné pouze zvýšit úroveň jejich věrohodnosti. Dále je také potřeba kontrolovat správnost modelu v průběhu celého procesu. Je potřeba se zaměřit hlavně na nepřesnosti, které mohly vzniknout při jeho tvorbě, ale i při přenosu mezi různými programy. Testováním funkčnosti modelu je pak možné odhalit případné výpočetní chyby v simulaci. Testování zahrnuje zadání vstupních dat a testovacích případů, na kterých se dá následně zhodnotit, jestli se simulace chová správně a předvídatelně. Pokud budou při některých úpravách tyto kontroly přeskočeny, může to vést k budoucím chybám, kvůli kterým bude potřeba se vracet v procesu zpátky a model opravit. V horším případě to ale také může znamenat, že bude potřeba celý proces začít úplně od začátku.

V publikaci [21] je také uvedeno deset případů, kdy není dobré provádět simulaci:

- 1) Problém může být vyřešen selským rozumem;
- 2) Problém může být vyřešen analyticky;
- 3) Je jednodušší provést experiment přímo na reálné věci;
- 4) Náklady na simulaci převyšují možné úspory;
- 5) Nejsou dostupné vhodné zdroje pro projekt;
- 6) Nedostatek času na zpracování simulace a projektu;
- 7) Nejsou k dispozici žádná data ani jejich odhady;
- 8) Model nemůže být nijak zkontrolován;
- 9) Projekt nemůže splnit očekávání;
- 10) Chování systému je příliš složité nebo nemůže být definováno.

Simulace by tedy měla být prováděna pouze v případech, kdy jsou známy všechny potřebné parametry a následně je možné ověřit správnost výsledků. Velkou část problémů

při tvorbě BEM však řeší právě možnost importování databáze BIM do nástroje pro energetickou simulaci. V databázi BIM je již zadána velká část potřebných parametrů pro tvorbu simulačního modelu a tvorba BEM je tím pádem předpřipravená. Co se týká kontroly výsledků simulace, je potřeba souběžně provést alternativní kontrolní výpočet, jelikož ve fázi návrhu většinou není k dispozici žádná jiná možnost ověření správnosti výsledků simulace. Jako alternativní postup pro porovnání výsledků se nabízí klasický výpočet podle norem.

Výzvou pro samostatné nástroje BEM je zlepšení uživatelské přívětivosti pracovního rozhraní a vylepšení možností propojení s modelem BIM, který se v praxi stále více rozšiřuje [3, 15]. Výrazně se tak usnadní tvorba BEM. Co se týká BIM, tak ačkoliv se začíná rozšiřovat, ještě pořád jsou případy, kdy práce v nástrojích pro jeho tvorbu není uživatelsky přívětivá. Toto se týká hlavně oboru techniky prostředí staveb.

Velikou příležitostí pro uplatnění energetických simulací v praxi je právě možnost předpovědi chování budovy v době projekce vedoucí k vyšší kvalitě návrhu oproti klasickým výpočetním metodám [3]. Při simulaci budovy je možné zahrnout širokou škálu parametrů a vstupních veličin, které mohou mít nezanedbatelný vliv na výslednou energetickou bilanci. Nástup obnovitelných zdrojů, elektromobility a decentralizovaných úložišť energie spolu také nese vyšší nároky na propojení jednotlivých systémů tak, aby společně fungovaly efektivně. Vzhledem k tomu, že energie dodávaná obnovitelnými zdroji se v čase mění v závislosti na stavu počasí, je nutné přizpůsobit dimenzování těchto systémů takto proměnlivým podmínkám. V případě dobré znalosti simulačních metod je pak možné tyto systémy budov navrhovat jako jeden funkční celek.

## 3 Testování pokročilých nástrojů pro návrh VZT

### 3.1 Řešená otázka a návrh testování

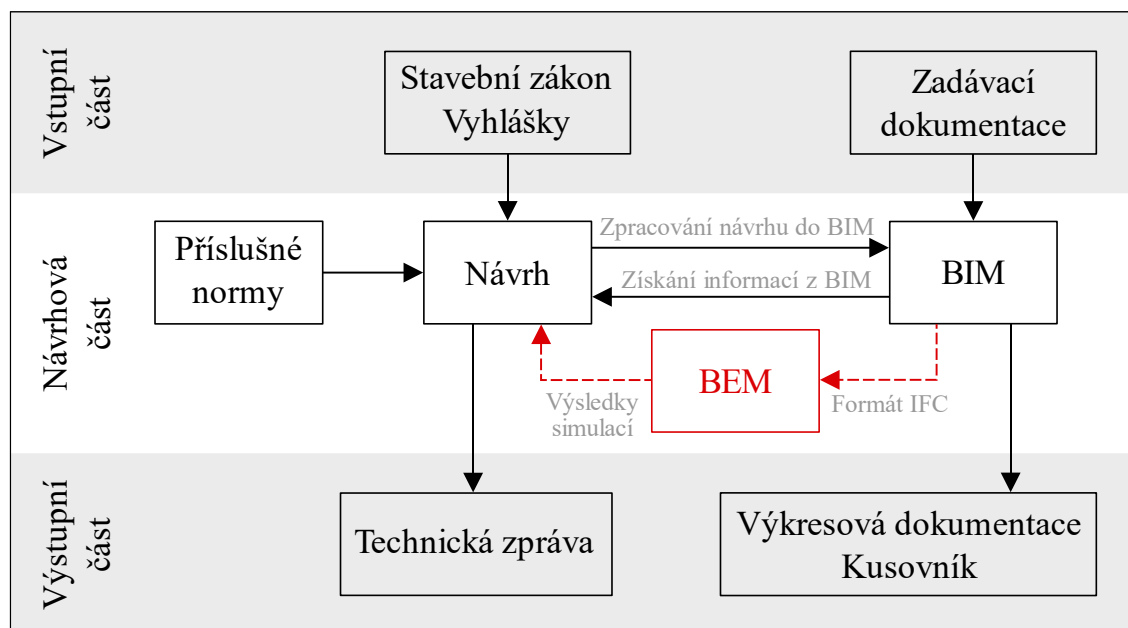
Jak již bylo dříve uvedeno, výsledky vytvořené energetickou simulací jsou mnohem obsáhlejší než výsledky vypočtené běžnými metodami. Toho se dá využít v projekční praxi pro lepší návrh systémů budovy. Tvorba samotného simulačního modelu (BEM) ale může být velmi pracná a časově náročná. Použitím masivně se rozšiřující metody BIM však může být příprava BEM výrazně zjednodušena a urychlena.

Praktická část této bakalářské práce se bude věnovat právě možnosti využití databáze BIM při tvorbě BEM. V návaznosti na to bude provedena simulace a prověřena možnost využití těchto výsledků při návrhu vzduchotechnického systému v porovnání s běžnými výpočty podle norem.

Postup práce bude následující:

- 1) Shromáždění potřebných vstupních dat.
- 2) Navržení výpočtových parametrů a zpracování modelu objektu v BIM nástroji.
- 3) Přenesení modelu BIM do nástroje pro energetickou simulaci.
- 4) Vytvoření simulačního modelu (BEM)
- 5) Provedení energetické simulace a porovnání s běžnými výpočty.
- 6) Vypracování projektové dokumentace pro stavební povolení v BIM nástroji.

Na obrázku 5 je graficky znázorněný postup práce. Horní šedá část je vyhrazena pro hlavní vstupy, kterými je potřeba se řídit. V návrhové části uprostřed je znázorněn proces návrhu vzduchotechnického systému. Černě jsou vyznačeny kroky při klasickém výpočtu. Červeně je pak zvýrazněné zkoumané použití BEM při tvorbě návrhu vzduchotechniky. Protože BIM obsahuje všechna data o stavbě, je i při obyčejném výpočtu využitelný jako zdroj potřebných informací. Po provedení samotného návrhu vzduchotechnického systému se tento návrh zpracuje do databáze BIM. Ve spodní části se nacházejí výstupy. Technická zpráva vychází ze samotných návrhových výpočtů. Výkresová dokumentace a kusovník jsou pak zpracovány opět na základě BIM.



Obr. 5: Schéma postupu práce

### 3.2 Vstupy

Hlavním vstupem je zadaný BIM rodinného domu ve formátu RVT (nativní formát programu Autodesk Revit) o užitné podlahové ploše 425 m<sup>2</sup>. Zvolená lokalita tohoto objektu je Praha-Libuš a uvažovaný počet obývajících osob je 6 s pravidelným časovým harmonogramem.

Výměnu vzduchu bude zajišťovat systém nuceného rovnotlakého větrání. Vzduchotechnická jednotka bude obsahovat zpětné získávání tepla, ohřívač vzduchu a nebude zajišťovat chlazení.

### 3.3 Práce s pokročilými nástroji

Tato práce bude dále řešit praktické možnosti využití BIM pro tvorbu simulačního modelu v programu IDA-ICE. Na základě takto vytvořeného modelu bude provedeno několik simulací. V první fázi musí být výsledky simulace ověřeny. Proto bude souběžně se simulací použit klasický výpočet pomocí normy a normových hodnot [4, 5, 7]. V praxi budou tyto výpočty potřeba i kvůli legislativním požadavkům. Ty udávají nutnost návrhu vzduchotechnického systému v souladu s normovými hodnotami [6]. Tyto výpočty budou provedeny v programu Microsoft Excel. Pokud do simulace budou dosazeny stejné hodnoty, se kterými počítá i klasický výpočet, měly by vyjít stejné nebo alespoň podobné výsledky. Je ale potřeba obezřetně kontrolovat nastavení simulace, aby byly hodnoty

opravdu porovnatelné. V případě, že tyto výsledky budou podobné, lze usoudit, že simulace funguje podle očekávání.

Ve druhé fázi bude provedena opět simulace konstantního větrání se stejnými parametry průtoků vzduchu, které byly navrženy dle normy. Pro vnější prostředí ale budou použita odpovídající klimatická data pro definovanou lokaci (Praha-Libuš). Předpokladem jsou nižší energetické nároky díky menším extrémům než při návrhu podle norem.

Ve třetí fázi budou simulovány proměnné průtoky vzduchu v závislosti na koncentraci oxidu uhličitého ve vnitřním prostředí vyprodukované obyvateli domu. V takovém případě začíná dávat simulace největší smysl, protože pak bude možné odhalit slabá nebo naopak předimenzovaná místa.

### 3.4 Požadované výstupy

Jedním z cílů této práce je ověření možnosti vytvoření simulačního modelu na základě zadaného BIM. Bude prověřena náročnost tohoto postupu a okomentovány případné nedostatky.

Dále budou porovnány výsledky simulací týkající se profese větrání s běžnými výpočty podle norem. Na základě toho bude možné zjistit, do jaké míry se tyto výstupy liší a zda se dají uplatnit v praxi při návrhu vzduchotechnického zařízení.

Nakonec bude vytvořena projektová dokumentace vzduchotechniky v rozsahu pro stavební povolení. Návrh vzduchotechnického systému bude proveden na základě klasických výpočtů podle norem. Případné možné úpravy podle výsledků simulací budou v této práci okomentovány. Je však důležité mít na paměti, že je potřeba se stále řídit legislativními požadavky a možné úpravy by je mohly porušit. Návrh bude zpracován do BIM v Revitu, ze kterého bude následně vytvořena výkresová dokumentace. Projektová dokumentace bude zahrnovat technickou zprávu a výkresovou dokumentaci.

## 4 Tvorba simulačního modelu

Při importování modelové geometrie do IDA-ICE je na výběr hned z několika možností. Tato práce se ale bude zabývat pouze možností importování modelu BIM. V takovém případě je potřeba mít k dispozici model v dříve zmíněném univerzálním formátu IFC. Z dokumentace IDA-ICE bylo zjištěno, že je plně podporována pouze starší verze IFC2x3. Je také velmi důležité, aby v modelu byly specifikovány vnitřní objemy (místnosti). Bez nich není možné tvořit v simulačním programu zóny a celý proces importu by pak postrádal smysl.

Vzhledem k tomu, že je zadaná budova ve formátu RVT, bylo potřeba ji napřed exportovat do formátu IFC. Takto vytvořený soubor následně může být importován do simulačního programu a na jeho základě lze vytvořit požadovaný simulační model.

### 4.1 Převedení modelu z Revitu do IDA-ICE

Při exportování byly vyzkoušeny hned tři postupy. Jako první možnost byla zvolena nejjednodušší a nejpřímější cesta. BIM model byl bez jakýchkoliv úprav a nastavení exportován do formátu IFC. Pokud je BIM model v Revitu vytvořen bezchybně, s vědomím, že bude exportován a použit i jinde, může být tato možnost plně dostačující. V zadaném modelu se ale vyskytl problém na úrovni tvorby BIM geometrie, který se projevil až při generování geometrie simulačního modelu v IDA-ICE. O tomto problému bude dále pojednáno v kapitole 4.3. Z pozice profese VZT je model stavby součástí zadávací dokumentace a kvalitu tohoto modelu tak nelze přímo ovlivnit. Tvůrce BIM modelu by tedy měl mít povědomí o možných komplikacích při importování modelu do simulačního programu a vytvářený model BIM tomu přizpůsobit.

Druhá možnost spočívala v exportování pouze vybraných parametrů. Tento postup ale vyžadoval mnohem hlubší znalost formátu IFC (především jeho struktury a parametrů). V Revitu se přes nabídku „Možnosti IFC“ dají nastavit konkrétní parametry, které se mají do IFC exportovat. Je tedy možné vynechat například veškeré zařizovací předměty, případně další data, která nebudou potřeba.

U třetí varianty byl model napřed upraven přímo v Revitu a až následně exportován do IFC. Byly z něho odstraněny všechny nepotřebné předměty (schody, zařizovací předměty a instalační předstěny). Tato možnost dává dobrou kontrolu nad tím, co bude

exportováno, i bez hlubších znalostí IFC parametrů. U velkých budov by ale tento postup byl z časových důvodů takřka neproveditelný.

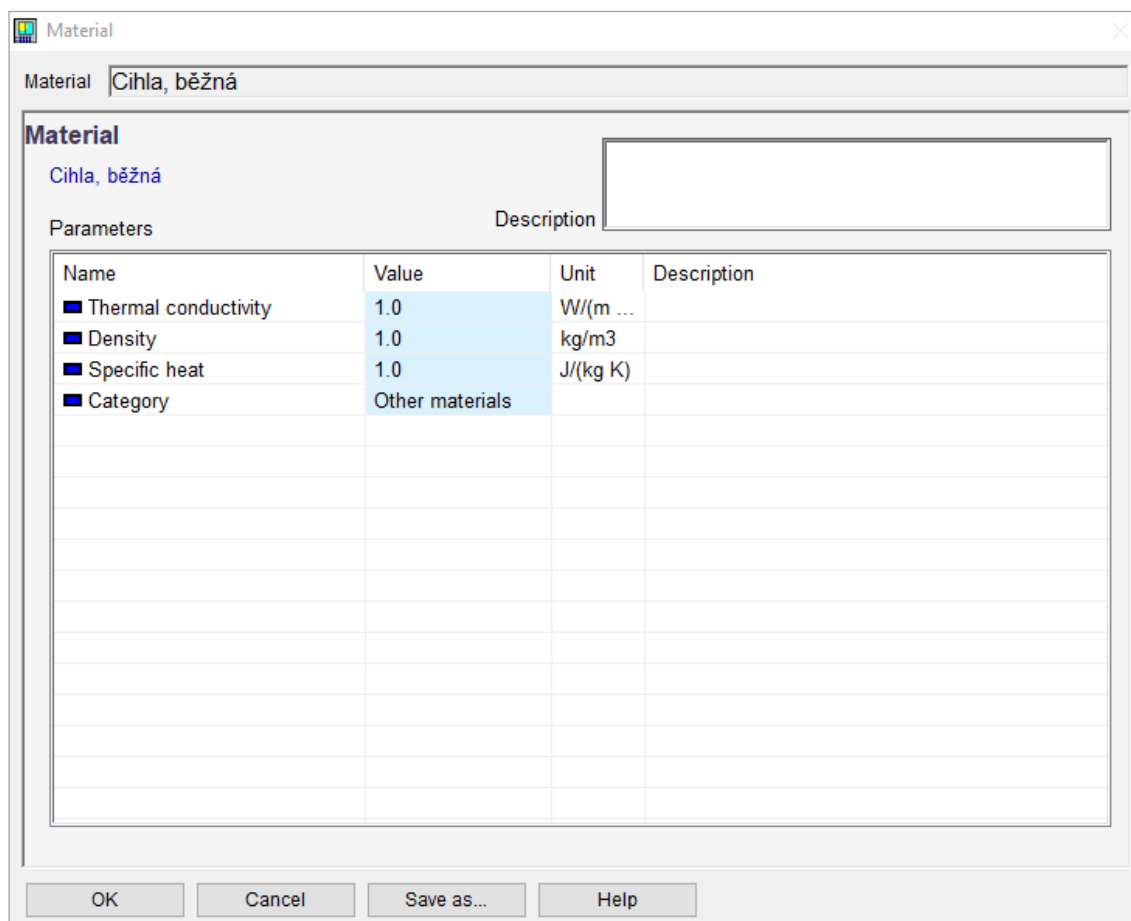
Importování geometrie budovy do IDA-ICE je pak poměrně rychlé a jednoduché. Při importu se zobrazí dialogové okno, ve kterém je možné zadat jakým způsobem má simulační program naložit s modelem. Mimo jiné je v nabídce také možnost zjednodušení modelu. Jedná se například o sloučení více oken do jednoho prvku, což u velkých budov může zkrátit dobu výpočtu simulace. Ve všech 3 variantách pak byly vloženy modely prakticky identické (mimo odstraněné instalační předstěny ve 3. variantě).

Po provedení importu BIM je nutné zkontrolovat, zda se vše vložilo správně. První chyba, která nastala, byla samovolně zvýšená výška 2. podlaží. Tato chyba byla viditelná pouze ve 3D pohledu. Pro kontroly tedy doporučuji používat jak pohledy půdorysů, tak 3D pohled na model. Chyba byla jednoduše opravena pomocí ručního přepsání výšky tohoto patra na správnou hodnotu. Dále byl z důvodu zjednodušení simulačního modelu odstraněn prostor půdy.

## 4.2 Mapování a definování materiálů

Dalším krokem při importování modelu je definování materiálů. Protože je BIM komplexní databáze informací o objektu, obsahuje také údaje o použitých materiálech včetně jejich vlastností. V simulačním softwaru IDA-ICE je možné tyto materiály a jejich vlastnosti načíst do interní databáze a následně je přiřadit jednotlivým konstrukcím. Naimportované vlastnosti materiálů nemusejí být úplné nebo jejich zadání není pro potřeby simulace dostačující a je nutné je doplnit ručně v IDA-ICE. K tomuto účelu je zde k dispozici také knihovna se základními materiály, případně je možné vytvořit si nový vlastní materiál. V mém případě možnost importu materiálů z modelu selhala. Ačkoliv byly vlastnosti materiálů v Revitu definované, po importování IFC do IDA-ICE byla hodnota všech materiálových vlastností 1. Ukázka chybně importovaného materiálu v prostředí IDA-ICE je na obrázku 6. Lze tedy doporučit řádně hlídat importované materiály a všechny jejich vlastnosti. Pokud importované hodnoty vlastností budou odlišné od těch původních, podobně jako v mém případě, je potřeba materiály ručně upravit, případně vytvořit nové a přidat je do knihovny.





Obr. 6: Ukázka chybně importovaných vlastností materiálu

Z definovaných materiálů je pak možné vytvořit skladby zdí, podlah apod. IDA-ICE má opět databázi s několika základními skladbami. Protože jsou ale skladby prakticky u každého objektu odlišné, s největší pravděpodobností bude potřeba vytvořit si vlastní. Tyto skladby lze následně přiřadit k načteným konstrukcím ze souboru IFC. Podobným způsobem je možné přidělit vlastnosti oknům, dveřím i jednotlivým místnostem.

Pokud se definice materiálů, přidělení vlastností a tvorba skladeb neprovede hned na začátku, tak IDA-ICE při tvorbě simulačního modelu použije výchozí nastavení. Vlastnosti materiálů a skladeb se i po vytvoření simulačního modelu dají měnit. Stejně tak je možné dále měnit vlastnosti každého prvku (okna, dveří, zdi atd.) zvlášť.

### 4.3 Zónování simulačního modelu

Po zadefinování vlastností objektu je možné přistoupit na tvorbu samotného simulačního modelu. Ten se tvoří pomocí zón v půdorysném pohledu na kartě „Floor plan“.

Nespornou výhodou vloženého modelu BIM je právě jednoduchost generování těchto zón, jelikož jsou v BIM mimo jiné obsaženy vnitřní objemy včetně jejich názvů. Na základě toho je simulační program schopen rozpoznat místnosti. Pomocí několika kliknutí je pak možné nechat automaticky vygenerovat výpočetní zóny na základě vybraných místností. Po vygenerování zóny je jí automaticky přiřazen název dané místnosti. Je také možné vygenerovat zónu z více místností. V takovém případě je ale zóně přidělen název pouze první vybrané místnosti. BIM také obsahuje informace o oknech a dveřích. Ty jsou v zónách také generovány automaticky.

Je dobré si uvědomit, že zóny s vloženým modelem nejsou pevně spojeny. Jsou jen generovány na základě tohoto modelu, který po této operaci už prakticky není potřeba. Není tedy žádný problém následně upravit půdorysy nebo výšku zón. Tyto změny ale budou zohledněny ve výpočetním modelu a ovlivní tak výsledky energetické simulace. Také doporučuji nemazat naimportovaný model. Pokud by bylo potřeba v budoucnu provést nějaké změny v zónách, případně vygenerovat nové, může se model ještě hodit.

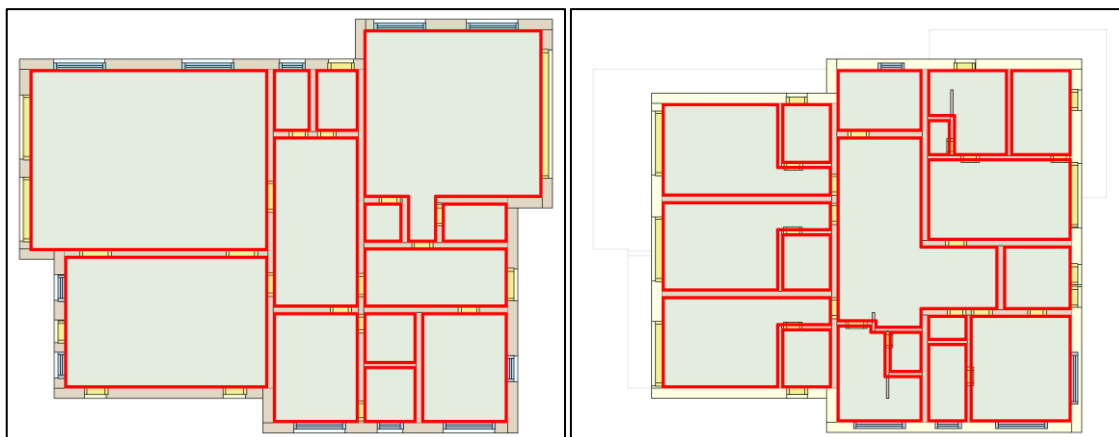
Ohledně počtu a rozmístění zón je důležité si stanovit, čeho má být dosaženo. Čím více zón bude vytvořeno, tím složitější bude jejich následné nastavování. S počtem zón roste také složitost matematického modelu a tím se prodlužuje čas následné simulace. Zároveň to dává více prostoru pro chyby v simulačních výpočtech, které mohou znehodnotit výsledky. Na druhou stranu nízký počet zón může znamenat příliš velké zjednodušení modelu a takové výsledky by pak mohly být zavádějící.

Pro porovnání vlivu počtu zón byly vytvořeny 3 varianty. Model č. 1 obsahuje samostatnou zónu pro každou místnost zvlášť. Půdorysné pohledy tohoto modelu jsou na obrázku 7. Následné nastavení tohoto modelu ale bylo poměrně náročné.

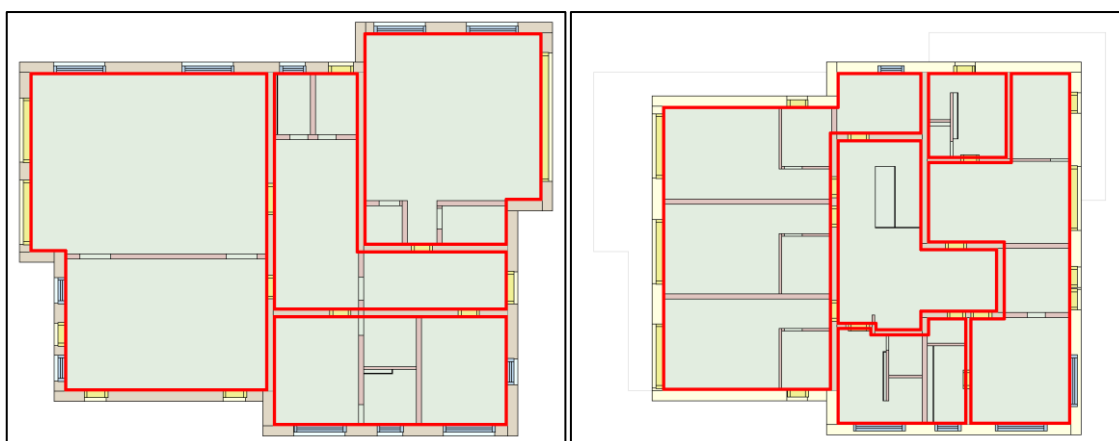
V modelu č. 2 byly sloučeny některé místnosti do zón tak, aby tvořily větší celky. Půdorysné pohledy tohoto řešení jsou na obrázku 8.

Model č. 3 obsahuje pouze 3 zóny. V 1. podlaží byly vytvořeny dvě samostatné zóny pro obytné a neobytné prostory. Celé 2. podlaží je pak tvořeno pouze jednou zónou. Půdorysné pohledy modelu č. 3 jsou na obrázku 9.

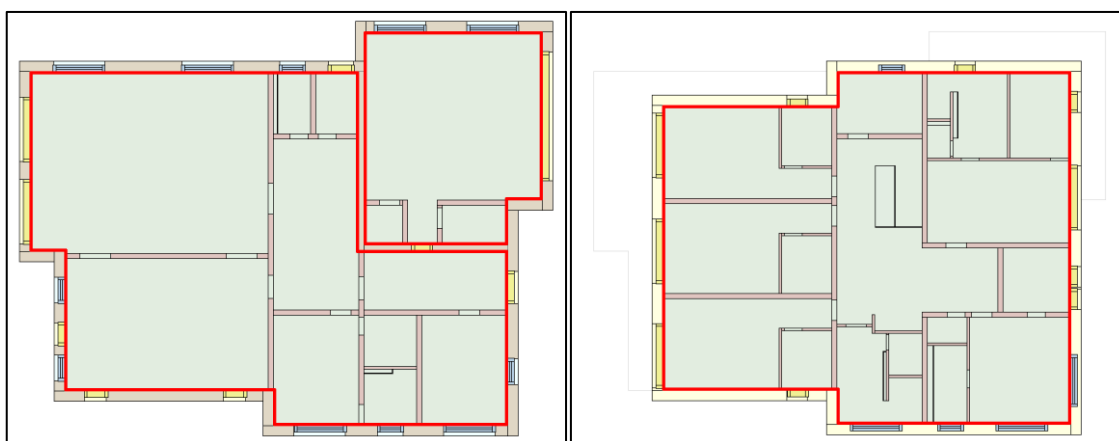
Na obrázcích 7 až 9 je možné vidět půdorysné pohledy podlaží z prostředí IDA-ICE a uspořádání zón jednotlivých modelů. Hranice zón jsou pro větší přehlednost červeně orámovány. Běžově jsou vyznačeny stěny původního modelu. V případech světle červené barvy se překrývá původní zeď s vytvořenou zónou a znamená to, že simulační model s touto stěnou nepočítá. Světle zelené plochy jsou vytvořené zóny. Žluté elementy značí dveře nebo průchozí otvory a modré elementy zobrazují okna. Na obrázcích 8 a 9 si lze také všimnout černých čar, které vyjadřují instalační předstěny, příčky ze sádrokartonu apod. Zóny jsou však vytvořeny přes tyto prvky. Znamená to tedy, že simulační model s těmito prvky nepočítá.



Obr. 7: Model č. 1 – Zóna pro každou místnost, vlevo 1. NP, vpravo 2. NP



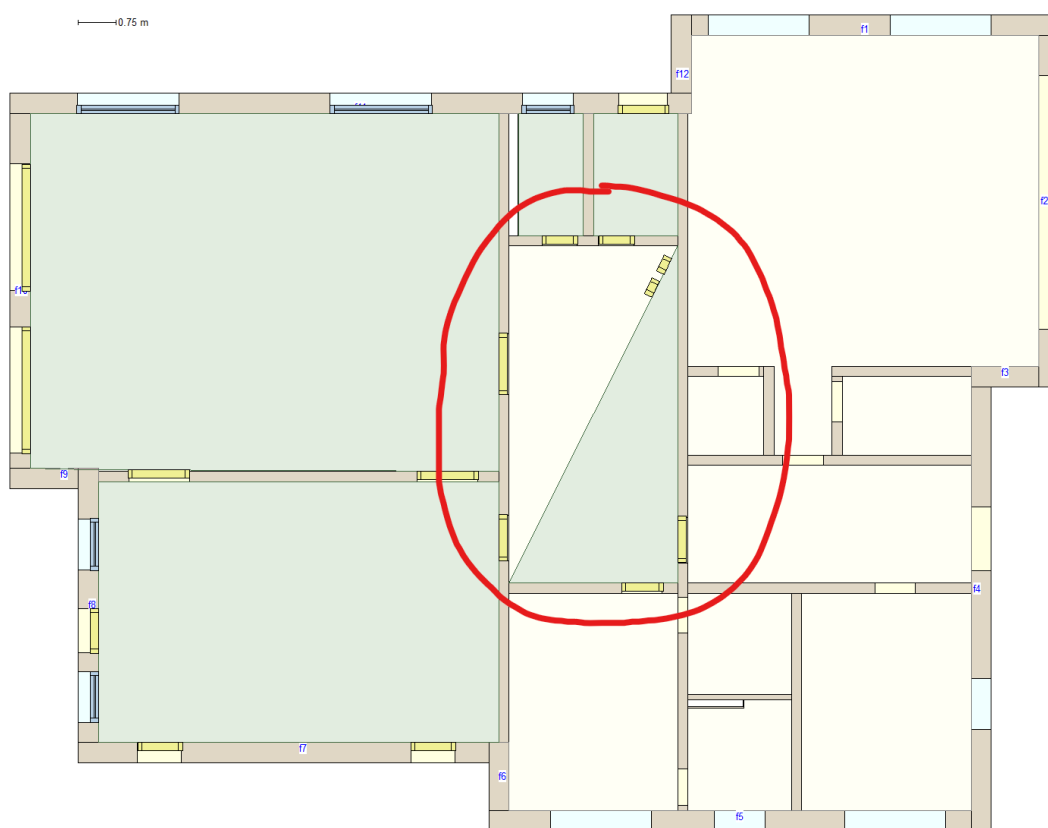
Obr. 8: Model č. 2 – Sloučení některých zón, vlevo 1. NP, vpravo 2. NP



Obr. 9: Model č. 3 – Minimální počet zón, vlevo 1. NP, vpravo 2. NP

Při generování zón však nastalo několik chyb a nepřesností. Nejčastěji se jednalo o nepřesné vytváření hranic zón nebo mírně posunuté rohy. Okraje takovýchto zón pak nejsou totožné, případně nejsou ani rovnoběžné se zdmi původního modelu. Manuální oprava těchto chyb není příliš náročná, ale u velkých objektů by to mohlo znamenat hodně práce navíc.

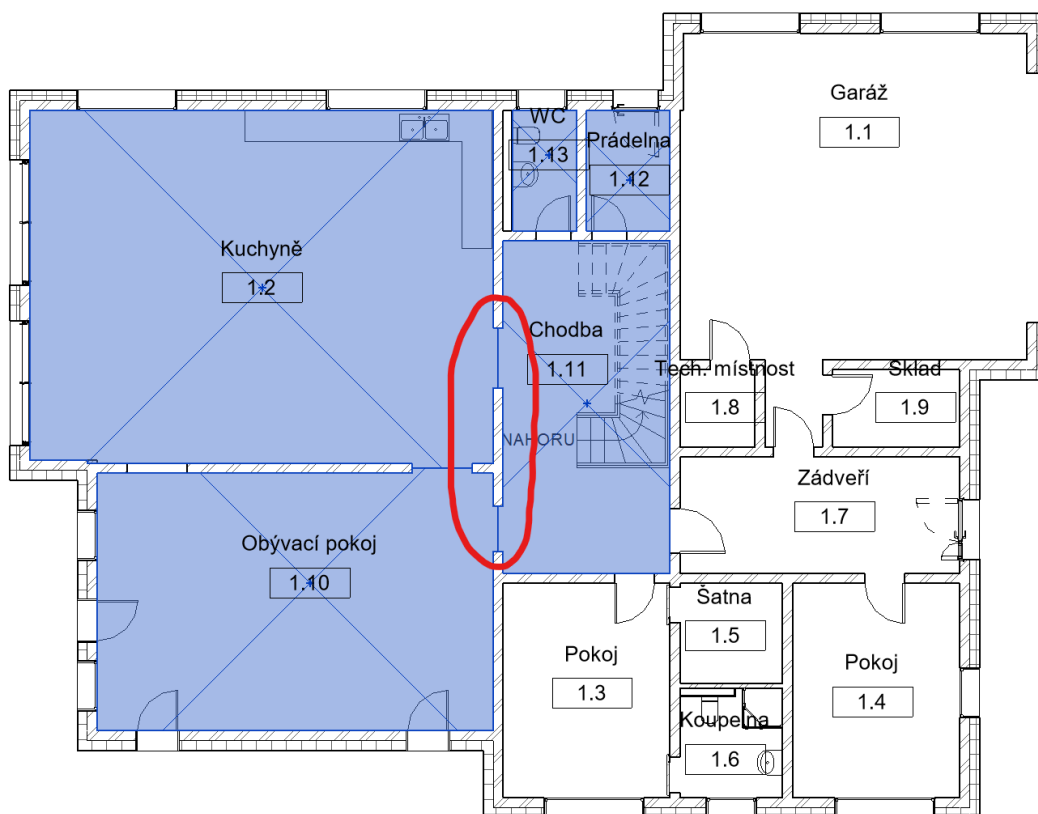
V horších případech se ale může stát, že se vytvořená zóna vůbec neshoduje s původní místností. Takovým případem byla tvorba zóny v chodbě 1.11. Tato zóna se místo přes celou plochu místnosti vygenerovala pouze přes polovinu jako trojúhelník. Takto chybně vytvořená zóna je červeně zvýrazněná na obrázku 10.



Obr. 10: Chybné vygenerování zóny v chodbě 1.11

Tento problém se dá opět vyřešit manuální úpravou půdorysu zóny a případným manuálním odebráním, přidáním nebo upravením oken a dveří. Při hledání příčiny, která tuto chybu způsobila, byly v Revitu nalezeny oddělovače místností definované pouze čarami. Takto oddělené místnosti jsou vidět na obrázku 11 z prostředí Revitu, kde je také červeně vyznačeno rozdělení místností pomocí čarového oddělovače. Tvar chodby pak byl pravděpodobně pro generátor zón v IDA-ICE příliš složitý a ten vyhodnotil místnost chybně. Po opravení oddělovače na šířku stěny se zjednodušil půdorys chodby a při

následném generování místnosti už tato chyba nenastala. Je ale zajímavé, že tento problém nenastal při vytváření zóny v kuchyni 1.2, u které byly oddělovače nastaveny stejným způsobem. Pravděpodobně je to ovlivněno více faktory, jako jsou třeba délky stěn, tvar místnosti apod. Na tomto příkladu je názorně vidět, že i nepatrný nedostatek v původním modelu může způsobit problémy, které se projeví až mnohem později. Pokud je tedy BIM model tvořen s myšlenkou, že bude použit jako podklad pro simulaci, je důležité ho tomuto použití přizpůsobit. Pro omezení chyb při generování zón by měl mít importovaný model BIM jednoduchou geometrii. Znamená to tedy tvorbu modelu s nízkými detaily. Takový požadavek se však liší od původního záměru modelu BIM, kdy by měl obsahovat co nejvíce informací. Při použití modelu BIM vypracovaného do velkých detailů je tedy potřeba předem počítat s možnými manuálními úpravami chybně vytvořených zón.



Obr. 11: Příčina chybného generování zóny v chodbě 1.11

#### 4.4 Nastavení okrajových podmínek

Protože simulace při výpočtech používá typický meteorologický rok, je potřeba nastavit umístění budovy. V tomto případě to je lokalita Praha-Libuš. IDA-ICE pak automaticky nalezne a stáhne soubor s potřebnými klimatickými daty. V tomto souboru jsou obsaženy

především informace o teplotě a relativní vlhkosti vzduchu, tepelné radiaci, rychlosti větru a oblačnosti.

V nastavení infiltrace byla zvolena hodnota intenzity větrání 1 l/h při rozdílu tlaků 50 Pa. Tato hodnota byla zvolena na základě doporučených hodnot z normy [5], aby byla stejná jako při klasickém výpočtu. Tlakové součinitele větru byly zadány pomocí možnosti automatického vyplnění pro částečně exponovanou budovu.

Pro každou zónu také byly nastaveny tepelné zisky od osvětlení a spotřebičů. Hodnoty těchto zisků však byly určeny pouze odhadem, protože v BIM modelu žádné informace o spotřebičích a osvětlení zadány nebyly. Osvětlení bylo uvažováno úsporné typu LED. Pro pokoje a chodby bylo uvažováno osvětlení o výkonu 20 W. Výkon spotřebičů v pokojích byl nastaven na hodnotu 75 W. Osvětlení koupelen počítá s výkonem 50 W a spotřebičem o výkonu 50 W. Pro osvětlení kuchyně a obývacího pokoje pak bylo uvažováno dohromady 80 W a spotřebiče v těchto místnostech o celkovém výkonu 600 W.

Parametry prostupů tepla a konstrukčních skladeb vycházejí z hodnot definovaných v modelu BIM. Vnější stěny se skládají z cihel o tloušťce 20 cm a izolace z pěnového polystyrenu o tloušťce 20 cm. Vnitřní stěny jsou pak tvořeny pouze cihlami o tloušťce 20 cm. Na všech stěnách je pak ještě omítka o tloušťce 10 cm. Podlahy jsou tvořeny 20 cm vrstvou betonu, 10 cm polystyrenovou izolací a podlahovou krytinou o tloušťce 1 cm. Vlastnosti materiálů jsou v tabulce 1 níže.

*Tabulka 1: Tepelně-technické vlastnosti použitých materiálů*

<b>Materiál</b>	<b>Tepelná vodivost [W/mK]</b>	<b>Hustota [kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Měrná tepelná kapacita [J/kgK]</b>
Cihla	0,54	1 550	840
Polystyren	0,035	23	1 470
Omítka	0,8	1 800	790
Beton	1,046	2 300	657
Podlahová krytina	0,06	190	1 360

## 5 Energetické výpočty a simulace

### 5.1 Manuální výpočet podle normových hodnot

Aby bylo možné ověřit výstupy simulace, je potřeba získat srovnatelná vstupní a výstupní data. Vzhledem k tomu, že je zde navrhováno rovnotlaké větrání, tak se jako nejjednodušší varianta jeví návrh potřebných průtoků vzduchu právě podle normy ČSN EN 15665/Z1.

V praxi bude návrh podle platných předpisů a norem stejně potřeba, neboť se stavební úřady musí řídit jasně stanovenými pokyny. Výstupy simulací však mohou posloužit pro optimalizaci návrhu, případně pro ověření provozních stavů systému.

Minimální intenzita trvalého větrání v obytných místnostech je stanovena na 0,3 l/h, doporučená hodnota je pak 0,5 l/h. Po dobu dlouhodobé nepřítomnosti osob v budově stačí, aby byla intenzita výměny vzduchu pouze 0,1 l/h. U menších místností (např. pokojů a ložnic) je potřeba zkontrolovat, aby minimální dávka čerstvého vzduchu na osobu byla alespoň 15 m<sup>3</sup>/h·os. Doporučená hodnota je pak 25 m<sup>3</sup>/h·os. Čerstvý vzduch je potřeba přivádět do obytných místností. Znehodnocený vzduch je naopak odváděn z místností se zdroji znečištění (např. koupelna, WC, kuchyně). Návrhové hodnoty průtoků vzduchu jednotlivých místností jsou v příloze 1.

Dalším krokem je výpočet tepelné ztráty větráním na základně navržených průtoků vzduchu. Tyto ztráty byly počítány podle normy ČSN EN 12831-1 [5]. Výstupy ztrát větráním jsou k dispozici v tabulce místností v příloze 1.

Protože jsou známy ztráty větráním, rovnou byl určen pomocí denostupňové metody hrubý odhad potřeby tepla na pokrytí ztrát větráním za rok. Jako referenční časový úsek bylo zvoleno období od 1. 1. 2020 do 31. 12. 2020. Počty denostupňů byly určeny pomocí kalkulačky na portálu TZB-info [11] pro lokaci Praha-Libuš, průměrnou teplotu v interiéru 20 °C a referenční teplotu  $t_{em} = 13$  °C. Referenční teplota byla zvolena na základě průměrné denní teploty pro zahájení a ukončení dodávky tepla [11]. Celkový počet denostupňů za zadané období je 3 096 d·K. Po dosazení známých hodnot do rovnice (2) vyšla celková potřeba tepla na pokrytí ztrát nuceným větráním 1 572 kWh/rok, potřeba tepla na pokrytí ztrát převodem vzduchu 466 kWh/rok a potřeba tepla na pokrytí ztrát větráním obálkou budovy 2 718 kWh/rok. Celková potřeba tepla na pokrytí ztrát větráním pak vychází na 4 755 kWh/rok.



## 5.2 Simulace větrání s konstantním průtokem vzduchu

Jako první je potřeba ověřit, zda jsou výsledky simulace platné. Mají-li být výsledky simulace porovnány s výsledky vypočtenými pomocí norem, je potřeba v simulaci nastavit stejné okrajové podmínky.

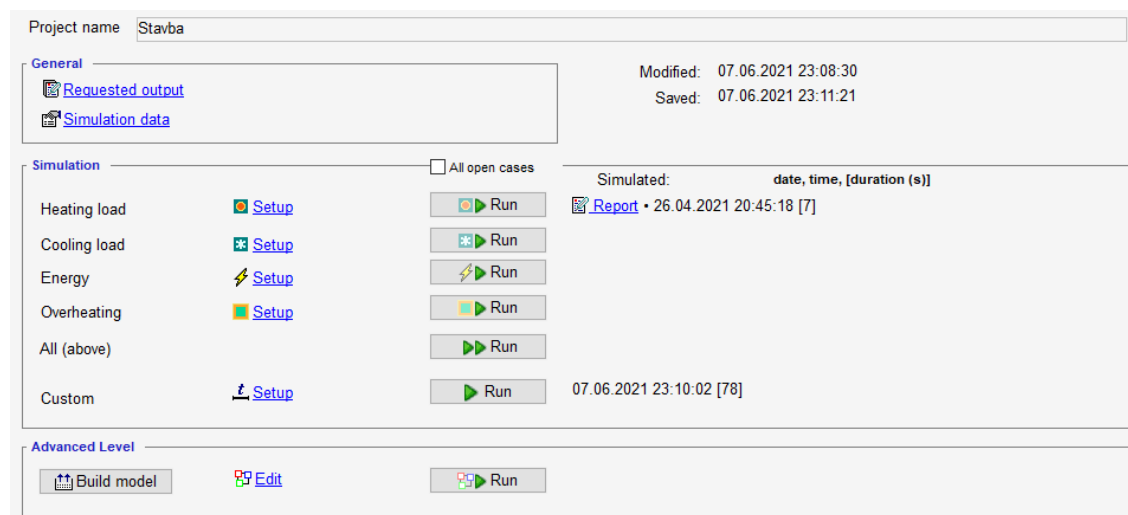
Jelikož už jsou známy návrhové průtoky vzduchu, mohou být zadány do simulace pro systém s konstantním větráním. V každé vytvořené zóně bylo potřeba specifikovat rozmezí teplot, ve kterém se má vnitřní teplota pohybovat a průtoky přiváděného a odváděného vzduchu. V případě zjednodušených modelů se zónou obsahující více místností je pak zadáván součet návrhových průtoků místností nacházejících se v každé zóně.

Dále bylo potřeba nastavit parametry vzduchotechnické jednotky. V tomto případě se jednalo prakticky jen o nastavení účinnosti zpětného získávání tepla na hodnotu 85 %, která byla použita již při výpočtu tepelných ztrát. Také byla snížena minimální teplota vystupujícího vzduchu z jednotky na velmi nízkou hodnotu (-20 °C). Je to z důvodu porovnání výsledků s normou [5], ve které se s možností namrzání výměníku také nepočítá. Dále byl aktivován ohříváč vstupního vzduchu a byla vypnuta možnost chlazení. Teplota dodávaného vzduchu byla nastavena na konstantních 20 °C. Je zde také možné nastavit tepelné zisky od pohonu ventilátorů. Ty ale byly pro účely porovnání výsledků s normou [5] opět vypnuty.

K nastavení a spuštění samotného simulačního výpočtu je zde na výběr hned několik možností. První možností je simulační mód „Heating load“ pro výpočet topného výkonu. V tomto módu simulace by měly být uvažovány nejhorší možné zimní podmínky. Ve výchozím nastavení algoritmus vyhodnotí nejchladnější týden a na základě tohoto vyhodnocení pak proběhne simulace. Tento výpočet navíc nabízí také možnost manuálního nastavení teploty venkovního vzduchu na konstantní hodnotu.

Jednou z dalších možností je pak simulace s možností uživatelského nastavení (mód „Custom“). Tato simulace počítá s klimatickými parametry typického meteorologického roku v nastaveném časovém rozpětí. Výhodou tohoto módu je možnost energetické simulace pro celý rok, což u módu „Heating load“ není možné. Simulační mód „Custom“ bude použit v kapitole 5.3 při simulaci větrání s proměnným průtokem vzduchu.

Na obrázku 12 je vidět kompletní nabídka simulačních módů v programu IDA-ICE. V okénku „General“ jsou hlavní společná nastavení parametrů a výstupů pro všechny simulace. Každý simulační mód je pak možné ještě nastavit pomocí kliknutí na „Setup“. Po proběhnutí simulace se pak vpravo zobrazí data o čase, kdy byla simulace provedena a ve hranatých závorkách doba trvání simulace. V posledním okénku „Advanced Level“ je možné vygenerovat grafické vyjádření matematického modelu, který pak lze následně upravit. Jak ale již název napovídá, je tato funkce určena spíše pro pokročilé uživatele.



Obr. 12: Nabídka simulací a jejich nastavení v IDA-ICE

Pro ověření výsledků simulace a porovnání s výpočtem podle normy [5] bude použit simulační mód „Heating load“ s manuálním nastavením vnější teploty na  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , která je v klasickém výpočtu použita jako návrhová venkovní teplota pro nucené větrání. Výsledky těchto simulací pro všechny tři varianty modelů v porovnání s návrhovými výpočty pomocí normy [5] jsou v tabulce 2. Ztráty převodem vzduchu a větráním obálkou budovy jsou u simulace sloučené z důvodu, že je IDA-ICE není schopná rozlišit.

Tabulka 2: Srovnání hodnot ztrát větráním

	Nucené větrání [W]	Převod [W]	Větrání obálkou [W]	Celkem [W]
ČSN EN 12831-1	677	201	1 170	2 048
Model č. 1	526		424	950
Model č. 2	528		377	905
Model č. 3	565		165	730

Ztráty nuceným větráním se pohybují na podobných hodnotách, ale nelze si nevšimnout velikých rozdílů u ztrát převodem a infiltrací. Tyto rozdíly mohou být způsobeny odlišnou metodou výpočtu ztrát větráním v simulaci oproti normě [5], kdy simulace zohledňuje i tepelné zisky (ačkoliv v tomto případě budou malé). Rozdíl může být způsoben i odlišným způsobem výpočtu infiltrace, při kterém norma stojí více na straně bezpečnosti.

Při simulaci mohou nastat i nečekané chyby. Jako příklad bude uveden model č.1 se zónami pro každou místnost zvlášť. Ve výsledcích simulace byly abnormální průtoky vzduchu mezi kuchyní 1.2, obývacím pokojem 1.10 a chodbou 1.11. Průtoky vzduchu mezi těmito místnostmi násobně převyšovaly průtoky přiváděného a odváděného vzduchu. Při hledání původu tohoto problému bylo zjištěno, že za to mohou průchozí otvory mezi těmito místnostmi (tzn. otvory bez dveří). Simulační výpočet pravděpodobně chybně vyhodnotil, že zde proudící vzduch má minimální hydraulický odpor a převod vzduchu mezi místnostmi pak nebyl nijak omezen. Tato chyba byla opravena předefinováním prázdných otvorů na zavřené dveře.

### 5.3 Simulace větrání s proměnným průtokem vzduchu

Pro provedení simulace větrání s proměnným průtokem vzduchu byl zvolen model č. 2. Hlavní důvod pro jeho volbu je jednodušší nastavování a také kratší čas simulace oproti modelu č. 1. Na druhou stranu je model č. 2 oproti modelu č. 3 stále podrobnější a může to znamenat menší zkreslení výsledků.

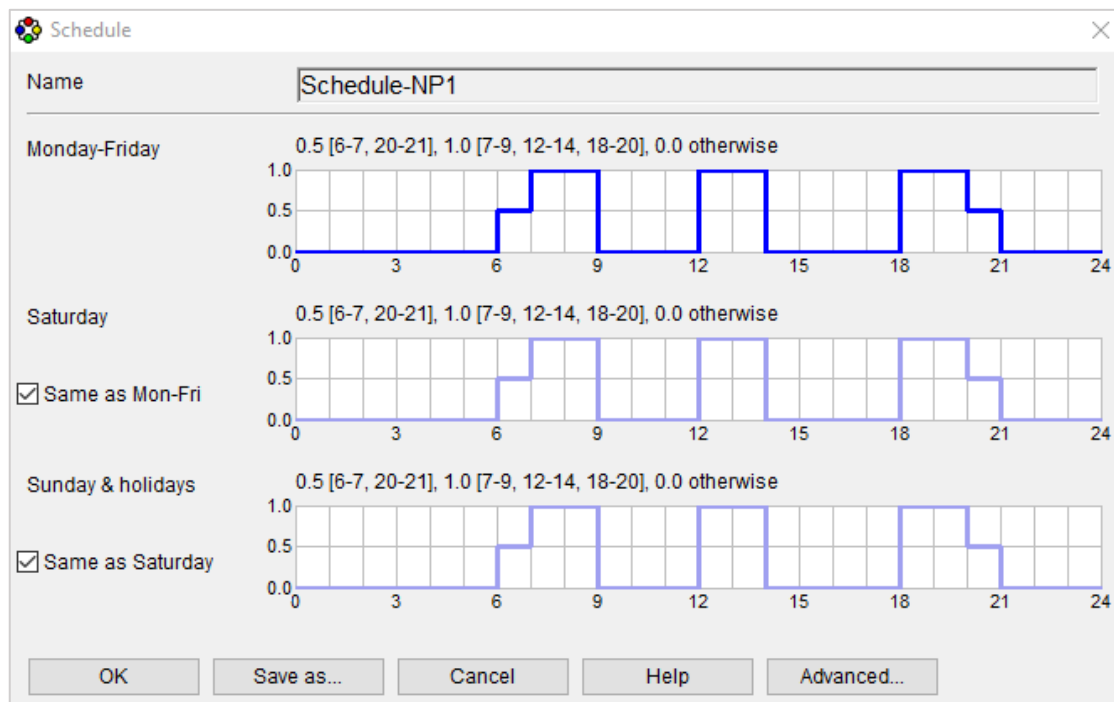
Ve všech zónách, do kterých je přiváděn čerstvý vzduch, byla nastavena možnost proměnného průtoku vzduchu v závislosti na koncentraci oxidu uhličitého. Maximální přípustné limity koncentrace uvnitř pak byly nastaveny na 1 500 ppm na základě maximálních přípustných hodnot z vyhlášky [6]. U koncentrace oxidu uhličitého ve venkovním vzduchu byla ponechána přednastavená hodnota 400 ppm.

V zónách, ze kterých je vzduch pouze odváděn (koupelny a WC) byl nastaven průtok vzduchu v závislosti na množství vzduchu přiváděného do jiné místnosti v patře. Toto nastavení je provedeno z důvodu zachování principu rovnotlakého větrání.

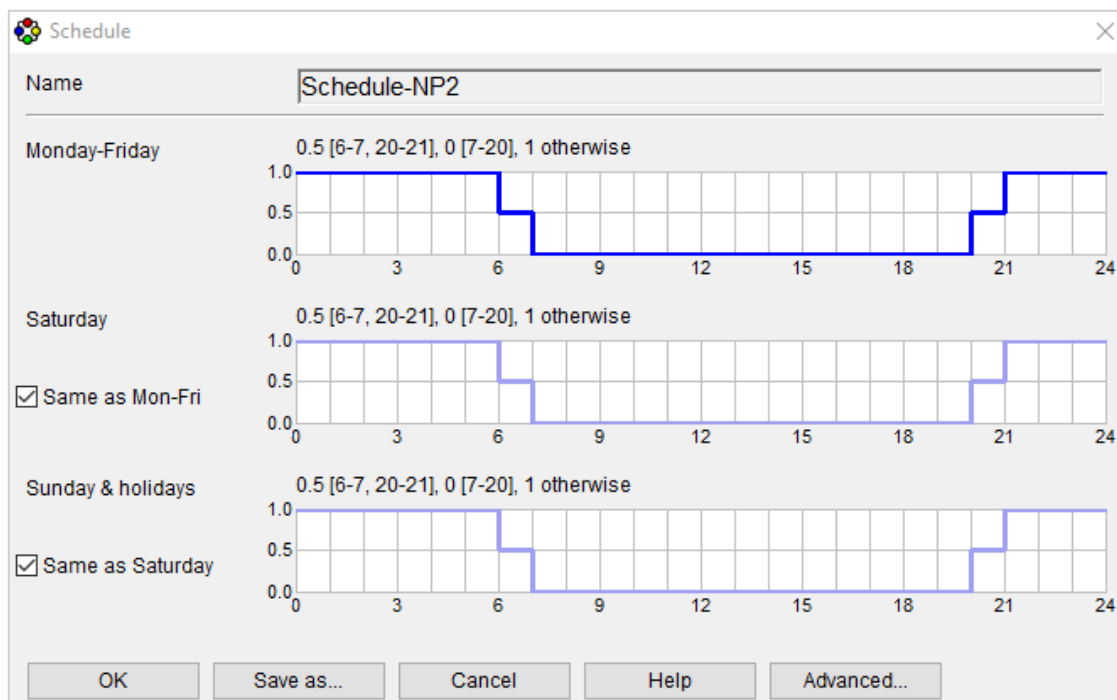
Dále také bylo potřeba nastavit limity, ve kterých se mají průtoky vzduchu v jednotlivých zónách pohybovat. Vzhledem k tomu, že je důležité místnosti větrat i v nepřítomnosti osob kvůli zabránění vzniku plísní, byly dolní hranice průtoků vzduchu zvoleny z minimálních požadavků na větrání. Horní limity pak byly nastaveny přibližně jako pětinasobek minimálních průtoků vzduchu tak, aby větrání nebylo zbytečně shora omezováno.

Vzhledem k tomu, že produkce oxidu uhličitého závisí na počtu osob, bylo nutné zadat jejich počty a také jejich časový rozvrh. Celkový počet obývajících osob je 6. Časový rozvrh předpokládá, že je přes noc všech 6 lidí v pokojích, které jsou ve 2. podlaží. Mezi

6. a 7. hodinou ranní se postupně přesunou do kuchyně a obývacího pokoje v 1. podlaží. Od 9 do 12 hodin v objektu nikdo není. Ve 12 hodin přijde všech 6 osob do kuchyně. Mezi 14. a 18. hodinou uvnitř opět nikdo není. Všichni přijdou až v 18 hodin, kdy se až do 20 hodin zdržují v 1. podlaží. Mezi 20. a 21. hodinou se obyvatelé opět přesunou do pokojů ve 2. podlaží. Na obrázcích 13 a 14 jsou pro lepší představu časové rozvrhy zobrazeny tak, jak jsou definovány přímo v prostředí IDA-ICE.

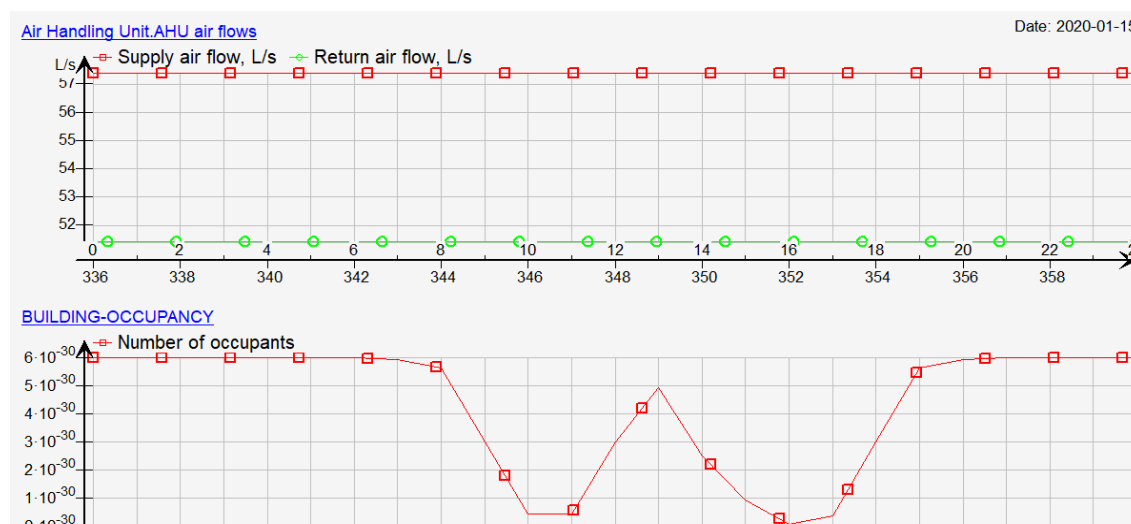


Obr. 13: Časový rozvrh přítomnosti osob v 1. podlaží



Obr. 14: Časový rozvrh přítomnosti osob ve 2. podlaží

Při použití výpočetního módu „Heating load“ nastal problém s počtem osob. Jak je patrné ze spodního grafu na obrázku 15, tento výpočet snižuje počet přítomných osob o 30 řádů, tedy téměř na nulu. Pravděpodobně je to z důvodu tvorby nejméně příznivých podmínek, při kterých se tímto snížením počtu osob výpočet snaží eliminovat jakékoliv tepelné zisky. Pokud je ale nastaveno řízení průtoků vzduchu v závislosti na koncentraci oxidu uhličitého, stane se snížení počtu osob problémem. Jelikož se v objektu nenachází prakticky žádné osoby, výpočet neuvažuje ani zdroje oxidu uhličitého. Tím pádem větrací jednotka vyhodnotí minimální koncentrace oxidu uhličitého a dodává pouze nastavené minimální množství vzduchu. Dále si lze také v horním grafu všimnout rozdílu mezi průtoky přiváděného a odváděného vzduchu. Tento jev nastal u všech provedených simulací. Průtoky se ale nepodařilo žádným způsobem srovnat. Může to být způsobeno kompenzováním infiltrace, případně i interním výpočtem.



Obr. 15: Průběh sníženého počtu osob a neměnný průtok vzduchu

Proto se pro simulaci tohoto systému s proměnným řízením větrání hodí spíše použití simulačního módu „Custom“, který zadané parametry neupravuje a také, jak už bylo dříve napsáno, počítá s daty typického meteorologického roku. Zároveň lze pomocí tohoto módu simulovat průběh celého roku. Z výsledků ale není možné rozlišit ztráty přestupem vzduchu a ztráty větráním obálkou budovy po měsících během vytápění. Tyto ztráty lze odečíst pouze jako celkovou sumu za období simulace. Ztráty mimo období vytápění jsou způsobeny velkými tepelnými zisky od slunce a tím pádem jsou chtěné. Po měsících se dá odečíst pouze součet těchto ztrát. Pro návrh vzduchotechnického systému ale tyto ztráty nelze kombinovat. Proto bylo pro srovnání ročních průběhů potřeby tepla při vytápění nutné provést simulaci pro každý měsíc zvlášť.

## 6 Výsledky simulací a jejich diskuze

### 6.1 Maximální ztráty

V tabulce 3 je možné vidět výsledky maximálních ztrát ve wattch. V případě všech simulací byl použit simulační model č. 2. Pro simulaci v módu „Heating load“ byly použity stejné parametry jako ve výpočtu podle normy. Rozdílné hodnoty mohou být způsobeny odlišnými metodami výpočtu. Nelze si nevšimnout že u simulací v módu „Custom“ je vyplněné pouze pole pro nucené větrání. Je to z důvodu nemožnosti odečtení zbylých hodnot a tím pádem nelze určit ani celkový ztrátový výkon vzniklý větráním. Ze ztrát nuceného větrání (resp. potřebného výkonu ohřívače vzduchu) je také patrné, že při použití klimatických dat z typického meteorologického roku (mód „Custom“) klesne maximální potřebný výkon o 10,4 %. Při použití systému s proměnným průtokem vzduchu tento maximální výkon klesne ještě o dalších 24,7 % oproti systému s konstantním průtokem vzduchu.

Tabulka 3: Srovnání maximálních ztrát určených pomocí různých metod

Metoda určení	Nucené větrání [W]	Převod [W]	Větrání obálkou [W]	Celkem [W]
ČSN EN 12831-1	677	201	1 170	2 048
Simulace větrání s konstantním průtokem vzduchu, mód „Heating load“	528		377	905
Simulace větrání s konstantním průtokem vzduchu, mód „Custom“	473		-	-
Simulace větrání s proměnným průtokem vzduchu, mód „Custom“	356		-	-

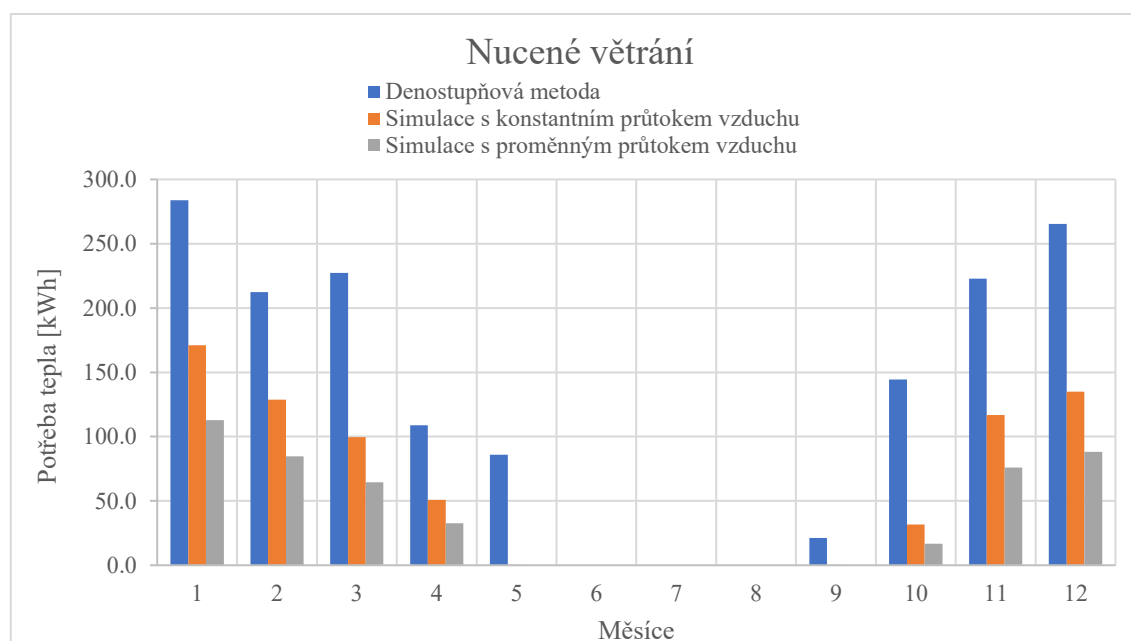
### 6.2 Spotřeba tepla během roku

Tabulka 4 vyjadřuje potřebu tepla pro nucené větrání po měsících pro rok 2020. Vstupní hodnoty pro denostupňovou metodu jsou z výpočtů provedených pomocí normy [5].

Hodnoty potřeby tepla pro konstantní i proměnné větrání jsou provedeny pomocí simulačního módu „Custom“. Grafické porovnání hodnot z tabulky je na obrázku 16.

Tabulka 4: Potřeba tepla – nucené větrání

Měsíc	Denostupňová metoda [kWh]	Simulace s konstantním průtokem vzduchu [kWh]	Simulace s proměnným průtokem vzduchu [kWh]
1.	283,7	171,1	112,8
2.	212,3	128,7	84,6
3.	227,2	99,6	64,6
4.	108,9	50,8	32,6
5.	85,9	0,3	0,0
6.	0,0	0,0	0,0
7.	0,0	0,0	0,0
8.	0,0	0,0	0,0
9.	21,2	0,4	0,0
10.	144,5	31,7	16,8
11.	222,8	116,9	76,1
12.	265,3	134,9	88,1
<b>Celkem</b>	<b>1571,9</b>	<b>734,4</b>	<b>475,5</b>

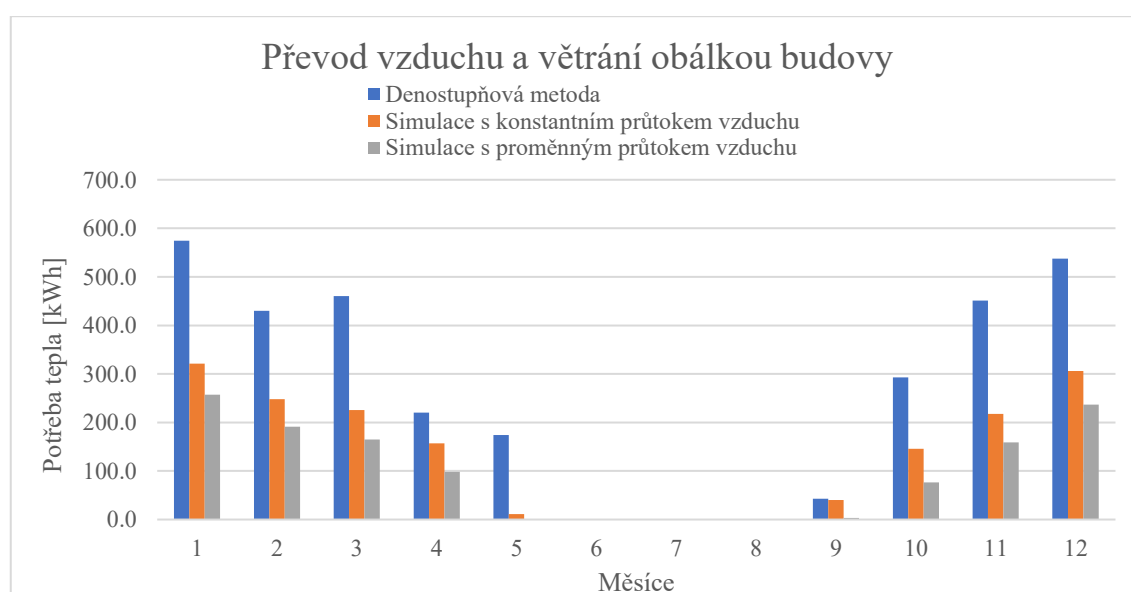


Obr. 16: Grafické porovnání potřeby tepla pro nucené větrání

V tabulce 5 jsou pak hodnoty potřeby tepla na převod vzduchu a větrání obálkou budovy vyjádřené opět po měsících pro rok 2020. Vstupní hodnoty i typy simulací jsou shodné jako v předchozím případě. Grafické porovnání hodnot je na obrázku 17.

Tabulka 5: Potřeba tepla – převod vzduchu a větrání obálkou budovy

Měsíc	Denostupňová metoda [kWh]	Simulace s konstantním průtokem vzduchu [kWh]	Simulace s proměnným průtokem vzduchu [kWh]
1.	574,6	321,5	257,5
2.	429,9	247,9	191,1
3.	460,1	225,7	165,2
4.	220,6	157,1	98,0
5.	174,0	11,1	0,0
6.	0,0	0,0	0,0
7.	0,0	0,0	0,0
8.	0,0	0,0	0,0
9.	43,0	40,5	3,1
10.	292,7	145,7	76,2
11.	451,3	217,8	159,1
12.	537,3	306,0	237,1
<b>Celkem</b>	<b>3183,4</b>	<b>1673,3</b>	<b>1187,3</b>



Obr. 17: Grafické porovnání spotřeb tepla převodem vzduchu a větráním obálkou budovy



Je patrné, že výsledky obou simulací vedou na nižší hodnoty než výsledky počítané manuálně. V případě potřeby tepla na pokrytí nuceného větrání je výsledek za celý rok u simulace s konstantním průtokem vzduchu o 53,3 % menší než výsledek vypočtený manuálně. Výsledek roční potřeby tepla na pokrytí nuceného větrání u simulace s proměnným průtokem vzduchu je pak o dalších 35,3 % nižší než výsledek simulace s konstantním průtokem vzduchu.

V případě potřeby tepla na pokrytí ztrát převodem vzduchu a větrání obálkou budovy je celkový výsledek simulace s konstantním průtokem vzduchu o 47,4 % menší v porovnání s výsledkem vypočteným manuálně. Roční potřeba tepla na pokrytí ztrát převodem vzduchu a větrání obálkou budovy je pro simulaci s proměnným průtokem vzduchu menší o 29 % ve srovnání se simulací s konstantním průtokem vzduchu.

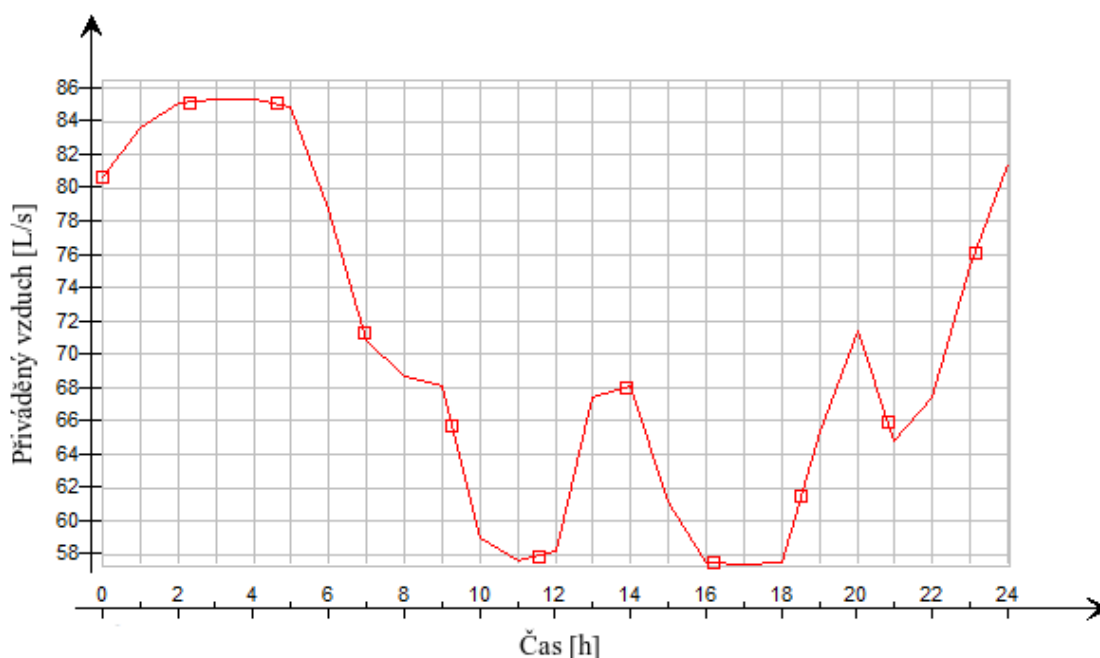
### 6.3 Dimenzování vzduchotechnického zařízení

Využitelná data pro návrh vzduchotechnického zařízení jsou v tabulce 6. Výkon vypočtený pomocí normy [5] je podle předpokladu nejvyšší. Pro simulaci konstantního větrání používající typický meteorologický rok je potřebný výkon výměníku nižší. Důvodem jsou menší teplotní extrémy typického meteorologického roku. Není zde však žádná další výkonová rezerva.

Potřebný výkon ohřívače dále klesne s použitím systému s proměnným větráním, který se řídí koncentrací oxidu uhličitého v místnostech. Klesne také maximální průtok vzduchu, který musí jednotka při trvalém větrání dodávat. Zároveň je ale z obrázku 18 patrné, že jednotka tento maximální průtok nemusí dodávat po celý den a většinu času pracuje na mnohem nižším výkonu. Množství dodávaného vzduchu v l/s je na ose y. Na ose x je pak čas v hodinách. Graf tedy zobrazuje průběh průtoku vzduchu vzduchotechnickou jednotkou v rámci jednoho dne.

Tabulka 6: Srovnání potřebného výkonu ohřívače vzduchu a maximálního průtoku vzduchu při trvalém větrání pro různé metody

Metoda určení	Výkon ohřívače [W]	Max. průtok vzduchu [m <sup>3</sup> /h]
ČSN EN 12831-1	677	383
Simulace s konstantním průtokem vzduchu	473	383
Simulace s proměnným průtokem vzduchu	356	310



Obr. 18: Průtok vzduchu dodávaný vzduchotechnickou jednotkou

## 6.4 Dopady na dokumentaci pro stavební povolení

S ohledem na legislativu mohou mít největší praktické využití hlavně výsledky energetických nároků. V kontextu této práce se jedná zejména o potřebu tepla pro pokrytí ztrát nuceného větrání. Díky energetické simulaci je možné získat mnohem přesnější představu o celkových energetických nárocích vzduchotechnického systému v průběhu roku. Tyto hodnoty by se v technické zprávě promítly především do předpokládané spotřeby energie.

Možné dopady lze pozorovat také v rámci dimenzování ohřívače vzduchu ve vzduchotechnické jednotce. Z výsledků výše je vidět, že potřebný výkon ohřívače

vzduchu vyjde při výpočtu podle normy a návrhových podmínek přibližně o 43 % vyšší než při simulaci stejného systému, používající jako klimatická data typický meteorologický rok. Vzduchotechnický systém ale musí být schopen zajistit požadované parametry přiváděného vzduchu za všech okolností. Proto by se výkon ohřívače musel navýšit o bezpečnostní konstantu, aby byl schopný zajistit ohřev vzduchu i při možném větším výkyvu teplot. Na druhou stranu tato hodnota ukazuje, kde se bude s největší pravděpodobností pohybovat maximální výkon ohřívače vzduchu při běžném zimním provozu. V praxi však musí být návrh vzduchotechnického systému proveden v souladu s legislativou a normovými hodnotami. Tím jsou možnosti dimenzování podle výsledků simulace omezeny.

Další změna nastane v případě, že bude uvažována instalace zařízení umožňujícího řízení větraného vzduchu v závislosti na koncentraci oxidu uhličitého. V prostorách bez přítomnosti osob jsou průtoky vzduchu sníženy na minimální hygienické limity. Jednotka pak může být dimenzována na menší celkový výkon než při konstantním větrání. To také platí i pro výkon ohřívače vzduchu, který při nižším průtoku nemusí dodávat tolik tepla. Celkově lze uvažovat, že provoz tohoto systému z výše uvedených důvodů bude energeticky méně náročný a tedy úspornější, což také potvrzují výsledky v kapitole 6.2. V technické zprávě by se pak tyto změny projevíly především na výkonových parametrech vzduchotechnické jednotky, množství přiváděného a odváděného vzduchu a předpokládaných energetických nárocích. V praxi však využití simulací znesnadňuje legislativa, která tento typ vyhodnocení neakceptuje.

## 7 Závěr

Cílem této práce bylo ověřit možnosti importování BIM modelu do nástroje pro energetickou simulaci a vyhodnotit využití těchto nástrojů v procesu návrhu vzduchotechnického systému. Konkrétně se jednalo o programy Autodesk Revit a IDA-ICE.

Nejzásadnější poznatky vyplývající z této práce:

- testovaný simulační nástroj dostatečně podporuje import BIM geometrie,
- importování ostatních parametrů z databáze BIM nebylo funkční,
- při návrhu vzduchotechnického systému se není možné obejít bez klasických výpočtů,
- největší uplatnění výsledků simulace v procesu návrhu v projekční praxi je v oblasti energetických nároků.

Tato práce ověřila, že je možné importovat geometrii BIM do simulačního nástroje IDA-ICE a následně ji využít pro simulaci provozu vzduchotechnického systému. Možnost importování tepelně-technických parametrů materiálů a skladeb konstrukcí z BIM databáze však selhala a tyto parametry musely být do IDA-ICE zadány ručně. Z práce vyplývá, že je nutné importovaný model důkladně kontrolovat, protože proces přenesení modelu rozhodně není bezchybný.

Dále byl demonstrován možný postup aplikovatelný v projekční praxi. Při tomto postupu se ale stále není možné obejít bez klasických návrhových výpočtů. Jedním důvodem je potřeba ověření výsledků simulace. Druhým důvodem jsou zákonné požadavky na návrh vzduchotechnického zařízení, který musí být v souladu s vyhláškou [6]. Výstupy simulací tedy mohou posloužit spíše pro přesnější predikci energetických nároků, ale také pro kontrolu navrženého vzduchotechnického systému.

Velkou nevýhodou softwaru IDA-ICE pak byly některé energetické výkazy, ze kterých se nedaly vyčíst hodnoty v potřebném rozsahu pro porovnání s denostupňovou metodou a bylo potřeba simulaci provést pro každý měsíc zvlášť. Další nevýhodou, která provázela celou tuto práci, byly jiné používané jednotky. Bohužel není možné nastavit, které jednotky má program používat. Vstupní parametry, ale i výsledky tak bylo potřeba často přepočítávat. V praxi to pak znamená zbytečné mezikroky navíc.

Vzhledem k náročnosti nastavení, množství a charakteru vstupních parametrů je simulace vhodná spíše u velkých budov, na jejichž návrh je obvykle vyčleněn delší časový horizont a více finančních prostředků. U těchto budov jsou zároveň s výhodou používány nástroje podporující BIM, pomocí kterého je možné do určité míry zjednodušit a urychlit tvorbu simulačního modelu. Zatímco BIM dokumentace je do značné míry podporována a u nadlimitních státních zakázek dokonce vyžadována [22], energetické simulace zatím takovou oporu ve vyhláškách a normách nemají. Záleží tak jen na požadavcích investora.

V této práci jsou výsledky simulací demonstrativně použity pouze pro obor vzduchotechniky. Obecně jsou však výstupy simulací velmi obsáhlé. Pokud je tedy simulace již jednou vytvořena, tak je z hlediska efektivity práce rozhodně lepší, aby byly výsledky uplatněny napříč profesemi. Komplexní energetická rozvaha vypracovaná již na úrovni architektonického návrhu by také mohla být použita jako součást zadávací dokumentace. Alternativním postupem k této práci by mohlo být použití integrovaného simulačního nástroje přímo v nástroji pro BIM a ověřením možností takového řešení.

## 8 Seznam zdrojů

- [1] KABELE, Karel. Změna evropské směrnice o energetické náročnosti budov (EPBD 3). *TZB-info* [online]. 26. září 2018 [vid. 2021-06-01]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/17969-zmena-evropska-smernice-o-energeticke-narocnosti-budov-epbd-3>
- [2] HENSEN, Jan L. M. a Roberto LAMBERTS. *Building Performance Simulation for Design and Operation* [online]. 2. vyd. Abingdon: CRC Press LLC, 2019 [vid. 2021-06-01]. ISBN 9780429688546. Dostupné z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/cvut/detail.action?docID=5773007>
- [3] HEFFERNAN, Emma Elizabeth, Mohammed I. SOHEL, Scott F. BEAZLEY a Timothy J. MCCARTHY. *From BIM (Building Information Modelling) to BEM (Building Energy Modelling): a collaborative approach* [online]. 2017 [vid. 2021-06-02]. Dostupné z: <https://ro.uow.edu.au/eispapers1/1049>
- [4] ČSN EN 15665/Z1: *Větrání budov – Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov*
- [5] ČSN EN 12831-1: *Tepelné soustavy v budovách – Výpočet tepelného výkonu*
- [6] *Vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby*
- [7] ČSN 12 7010: *Vzduchotechnická zařízení – Navrhování větracích a klimatizačních zařízení*
- [8] ZMRHAL, Vladimír. Výběr stavů venkovního vzduchu pro dimenzování výměníků tepla ve vzduchotechnice. *Vytápění, větrání, instalace*. 2016.
- [9] GALÁD, Vladimír. Patří denostupňová metoda do archivu? *TZB-info* [online]. 13. červen 2016 [vid. 2021-06-03]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/14332-patri-denostupnova-metoda-do-archivu>
- [10] PANÁKOVÁ, Jaroslava. *Rešerše metodik prokazování energetických úspor dosahovaných regulací v budovách*. 2019.
- [11] REINBERK, Zdeněk a Ladislav TINTĚRA. Výpočet denostupňů. *TZB-info* [online]. [vid. 2021-06-01]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/103-vypocet-denostupnu>

- [12] *Vyhláška č. 499/2006 Sb., o dokumentaci staveb*
- [13] GOOGLE. *Google Trends* [online]. 2021 [vid. 2021-06-03]. Dostupné z: <https://trends.google.com/trends/explore?cat=32&date=all&q=revit,archicad,alplan,tekla,vectorworks>
- [14] WATERHOUSE, Richard et al. *10th Annual BIM Report 2020*. 2020.
- [15] SPIRIDIGLIOZZI GIULIA, DE SANTOLI LIVIO, CORNARO CRISTINA, LO BASSO GIANLUIGI a BARATI SHAHROKH. BIM tools interoperability for designing energy-efficient buildings. *AIP Publishing* [online]. 2019 [vid. 2021-06-02]. Dostupné z: doi:10.1063/1.5138873
- [16] PORSANI, Gabriela Bastos, Kattalin Del Valle DE LERSUNDI, Ana Sánchez Ostiz GUTIÉRREZ a Carlos Fernández BANDERA. Interoperability between Building Information Modelling (BIM) and Building Energy Model (BEM). *Applied Sciences* [online]. 2021 [vid. 2021-06-02]. Dostupné z: doi:10.3390/app11052167
- [17] BUILDINGSMART. *IFC Specifications Database* [online]. [vid. 2021-06-01]. Dostupné z: <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/ifc-schema-specifications/>
- [18] ŠMEJKAL, Daniel. Co je COBie? *BIMfo* [online]. 10. květen 2016 [vid. 2021-06-02]. Dostupné z: <https://www.bimfo.cz/Aktuality/Co-je-COBie.aspx>
- [19] ENERGY, U.S. Department od. *About Building Energy Modeling* [online]. [vid. 2021-06-02]. Dostupné z: <https://www.energy.gov/eere/buildings/about-building-energy-modeling>
- [20] TOOLS, Building Energy Software. *Best Directory* [online]. [vid. 2021-06-02]. Dostupné z: <https://www.buildingenergysoftwaretools.com/>
- [21] BANKS, J. a R. R. GIBSON. Don't Simulate When: Ten Rules for Determining When Simulation Is Not Appropriate. *Institute of Industrial Engineers, IIE Solutions*. 1997.
- [22] BÁČOVÁ, Marie. BIM bude povinný u nadlimitních zakázek od roku 2022. *Z+i* [online]. 31. prosinec 2017 [vid. 2021-06-27]. Dostupné z: <http://zpravy.ckait.cz/vydani/2017-05/bim-bude-povinny-u-nadlimitnich-zakazek/>

## 9 Seznam obrázků

Obr. 1: Plán snižování emisí v EU do roku 2050 [2].....	9
Obr. 2: Využití BIM od návrhu až po demolici stavby .....	13
Obr. 3: Průzkum nástrojů pro projekční činnost ve Spojeném království [14] .....	14
Obr. 4: Přehledná ukázka nástrojů a formátů pro BIM.....	16
Obr. 5: Schéma postupu práce .....	21
Obr. 6: Ukázka chybně importovaných vlastností materiálu.....	25
Obr. 7: Model č. 1 – Zóna pro každou místnost, vlevo 1. NP, vpravo 2. NP .....	28
Obr. 8: Model č. 2 – Sloučení některých zón, vlevo 1. NP, vpravo 2. NP .....	28
Obr. 9: Model č. 3 – Minimální počet zón, vlevo 1. NP, vpravo 2. NP .....	28
Obr. 10: Chybné vygenerování zóny v chodbě 1.11.....	29
Obr. 11: Příčina chybného generování zóny v chodbě 1.11 .....	30
Obr. 12: Nabídka simulací a jejich nastavení v IDA-ICE .....	34
Obr. 13: Časový rozvrh přítomnosti osob v 1. podlaží.....	36
Obr. 14: Časový rozvrh přítomnosti osob ve 2. podlaží .....	36
Obr. 15: Průběh sníženého počtu osob a neměnný průtok vzduchu.....	37
Obr. 16: Grafické porovnání potřeby tepla pro nucené větrání .....	39
Obr. 17: Grafické porovnání spotřeb tepla převodem vzduchu a větráním obálkou budovy .....	40
Obr. 18: Průtok vzduchu dodávaný vzduchotechnickou jednotkou .....	42



## 10 Seznam tabulek

Tabulka 1: Tepelně-technické vlastnosti použitých materiálů .....	31
Tabulka 2: Srovnání hodnot ztrát větráním .....	34
Tabulka 3: Srovnání maximálních ztrát určených pomocí různých metod .....	38
Tabulka 4: Potřeba tepla – nucené větrání .....	39
Tabulka 5: Potřeba tepla – převod vzduchu a větrání obálkou budovy .....	40
Tabulka 6: Srovnání potřebného výkonu ohřívače vzduchu a maximálního průtoku vzduchu při trvalém větrání pro různé metody .....	42

## 11 Seznam příloh

Příloha 1: Projektová dokumentace vzduchotechniky pro stavební povolení

Příloha 2: CD s výpočtovými Excely a daty ze simulací

# **Příloha 1:**

## **PROJEKTOVÁ DOKUMENTACE PRO STAVEBNÍ POVOLENÍ**

### **Část D 1.4**

**Technika prostředí staveb – Vzduchotechnika**

# Technická zpráva

## 1 Úvod

Předmětem této technické zprávy je popis řešení nuceného rovnotlakého větrání se zpětným získáváním tepla pro RD v lokalitě Praha – Libuš. Projektová dokumentace je vypracována v rozsahu pro stavební povolení.

Zařízení bylo navrženo podle ČSN EN 15665/Z1, tepelné ztráty větráním počítány dle ČSN EN 12831-1. Větrání je navrženo v souladu s vyhláškou č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby. Dokumentace provedena v souladu s vyhláškou č. 499/2006 Sb., o dokumentaci staveb.

## 2 Základní výpočtové údaje

### 2.1 Vnější výpočtové údaje

Vnější výpočtová teplota (zima):  $-12\text{ °C}$

Návrhová teplota pro dimenzování VZT:  $-15\text{ °C}$

### 2.2 Tepelně technické vlastnosti budovy

Vzduchotechnické zařízení bude zajišťovat větrání RD o dvou nadzemních podlažích. Obvodová konstrukce stavby je z děrovaných cihel, izolovaná polystyrenem. Stavba má středně velké akumulaci schopnosti.

Jako výpočtová intenzita výměny vzduchu je dle ČSN EN 12831-1 pro systémy s nuceným rovnotlakým větráním při rozdílu tlaků  $\Delta p = 50\text{ Pa}$  uvažována hodnota  $I_{50} = 1\text{ l/h}$ .

### 2.3 Tepelné zisky a ztráty

Tepelné zisky ani zátěže nebyly uvažovány.

Tepelnou ztrátu nuceným větráním kompenzuje výměník ZZT a ohřívač vzduchu ve vzduchotechnické jednotce. Tepelné ztráty převodem vzduchu a větráním obálkou budovy kompenzuje vytápění.

Tepelná ztráta nuceným větráním [W]	677	kompenzuje VZT
Tepelná ztráta převodem vzduchu [W]	201	kompenzuje VYT
Tepelná ztráta větráním obálkou budovy [W]	1 170	kompenzuje VYT
Celkem ztráty větráním [W]	2 048	

## 3 Požadavky na provoz větrání a klimatizace

### 3.1 Množství přiváděného a odváděného vzduchu

Množství větraného vzduchu je navrženo tak, aby při minimálním režimu splňovalo hygienické požadavky na větrání v obytných místnostech ( $I = 0,3\text{ l/h}$  nebo  $15\text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{os.}$ ) a kuchyni ( $40\text{ m}^3/\text{h}$ ). Při vyšších režimech větrání jsou pak splněny hygienické požadavky pro odvod znečištěného vzduchu z WC ( $25\text{ m}^3/\text{h}$ ) a koupelen ( $50\text{ m}^3/\text{h}$ ).

Místnost		Minimální větrání		Trvalé větrání		Nárazové větrání	
Číslo	Název	Přívod	Odvod	Přívod	Odvod	Přívod	Odvod
1.2	Kuchyně	53	56	88	93	134	142
1.3	Pokoj	20	-	33	-	50	-
1.4	Pokoj	15	-	25	-	38	-
1.6	Koupelna	-	20	-	33	-	50
1.7	Zá dveří	-	15	-	25	-	38
1.10	Obývací pokoj	33	-	55	-	84	-
1.12	Prádelna	-	15	-	25	-	38
1.13	WC	-	15	-	25	-	38
2.14	Pokoj	15	-	25	-	38	-
2.15	Pokoj	15	-	25	-	38	-
2.16	Pokoj	15	-	25	-	38	-
2.20	Koupelna	-	30	-	50	-	76
2.21	Pokoj	20	-	33	-	50	-
2.22	Koupelna	-	20	-	33	-	50
2.25	Pokoj	30	-	49	-	75	-
2.26	WC	-	15	-	25	-	38
2.27	WC	-	15	-	25	-	38
2.29	Pokoj	15	-	25	-	38	-
2.31	Koupelna	-	20	-	33	-	50
2.32	WC	-	10	-	16	-	25
<b>Celkem</b>		<b>231</b>		<b>383</b>		<b>583</b>	

### 3.2 Ochrana proti hluku a vibracím

Šíření hluku potrubím od vzduchotechnické jednotky je zabráněno napojením ohebným potrubím s akustickým útlumem, případně je možné doplnit tlumiče hluku. Přeslechy mezi místnostmi jsou eliminovány délkou potrubí a zapojením přes rozdělovací komory.

Hluk a vibrace od samotné větrací jednotky jsou řešeny umístěním jednotky v podkroví (mimo obytné prostory) a případným osazením dalších tlumících prvků (např. pryžové podložky).

### 3.3 Protipožární opatření

Dle ČSN 73 0833 je objekt tvořen 1 požárním úsekem. Vzduchotechnické rozvody jsou navrženy v souladu s ČSN 73 0872.

## 4 Koncepce řešení

Větrání celého objektu bude zajišťovat jedna větrací jednotka s výměníkem zpětného získávání tepla, ohřivačem vzduchu a filtry přívodního i odpadního vzduchu, která bude umístěna v izolovaném podkroví. Jednotka bude do objektu dodávat vzduch o teplotě 20 °C.

Přívod venkovního vzduchu do jednotky je řešen izolovaným potrubím ze západní fasády objektu a chráněn bude pomocí protidešťové žaluzie. Odvod znečištěného vzduchu z jednotky je realizován izolovaným potrubím vedoucím na střechu, chráněným pomocí střešní hlavice. Rozměr a typ přípojovacího potrubí se volí na základě dodané vzduchotechnické jednotky. Doporučeno je potrubí kruhového průřezu o průměru alespoň 180 mm.

Rozvody čerstvého a odpadního vzduchu po objektu budou provedeny pomocí páteřních rozvodů. Na páteřní vzduchotechnické rozvody doporučeno potrubí kruhového průřezu o průměru minimálně 125 mm. Potrubní rozvody v 1. NP jsou vedeny v podhledu chodby (1.11) a dále v kastlících pod stropem. Odvod znečištěného vzduchu v kuchyni (1.2) bude umístěn v prostoru nad recirkulační digestoři s uhlíkovými filtry. Rozvody pro větrání 2. NP jsou vedeny v podlaze podkrovního prostoru.

Kondenzát vznikající v jednotce bude odváděn přes zápchovou uzávěrku do kanalizace.

Zaregulování vzduchotechnického systému se provede pro podmínky trvalého větrání.

## 5 Energetické nároky

### 5.1 Výkonové parametry zařízení

Minimální účinnost zpětného získávání tepla při trvalém větrání a výpočtových podmínkách (venkovní teplota -15 °C) musí být alespoň 85 %. Výkon ohřivače vzduchu musí dosahovat minimálně 677 W. Jednotka musí být vybavena senzorem teploty dodávaného vzduchu a regulací ohřivače tak, aby byla schopná dodávat vzduch o stálé teplotě 20 °C (v případě, že je teplota venkovního vzduchu nižší než 20 °C). Dále také musí umožňovat nastavení v alespoň 3 výkonových úrovních. Jednotka musí zvládnout dodávat minimálně 383 m<sup>3</sup>/h vzduchu při trvalém větrání a 583 m<sup>3</sup>/h při nárazovém větrání.

### 5.2 Předpokládaná spotřeba energie

Pro orientační spotřebu el. energie na provoz ventilátorů byl uvažován výkon 2 x 100W.

Položka	Předpokládaná spotřeba [kWh/rok]
Ohřev vzduchu	1 572
Provoz ventilátorů	1 752

## 6 Požadavky na navazující profese

### 6.1 Stavební část

- Přípravení otvorů pro prostupy přes konstrukce
- Zajištění proti zatékání v prostupu potrubí střechou (např. oplechování)
- Utěsnění mezer mezi instalovaným potrubím a konstrukcí pomocí pružného uložení tak, aby se nepřenášelo chvění a vibrace do stavební konstrukce
- Zajištění podhledu v chodbě 1.11 a pohledových kastlíků pro potrubí
- Realizace podlahy nad potrubím v podkrovním prostoru

### 6.2 Elektro silnoproud

- Přípravení přívodu el. energie pro napájení vzduchotechnické jednotky v podkroví (samostatně jištěná přípojka 230 V, 16 A)

### 6.3 Elektro slaboproud a MaR

- Zajištění možnosti ovládní vzduchotechnické jednotky z chodby 1.11 v 1. NP, popřípadě i z více míst v objektu

### 6.4 Zdravotechnika

- Přípravení odpadu do kanalizace se zápachovou uzávěrkou v blízkosti vzduchotechnické jednotky v podkrovním prostoru pro odvod kondenzátu

### 6.5 Vytápění

- Při navrhování výkonu vytápění v místnostech nutno započítat tepelnou ztrátu převodem vzduchu a tepelnou ztrátu větráním obálkou budovy
- Tepelná ztráta nuceným větráním už je pokryta zpětným získáváním tepla a ohřívacem vzduchu

## 7 Ochrana životního prostředí

Zařízení neprodukuje žádné emise ani znečištění. Produkce hluku větrací jednotkou záleží na konkrétní zvolené jednotce a může být utlumena případnou instalací tlumičů hluku.

## 8 Obecné požadavky pro realizaci

Vybraná vzduchotechnická jednotka musí být v souladu navrženými hodnotami a také v souladu s platnou legislativou. Její parametry dále nesmí přesahovat maximální hodnoty jističe elektrické přípojky (230 V, 16 A).

## 9 Závěr

Technická dokumentace byla zpracována v rozsahu pro stavební povolení v souladu s platnou legislativou a použitými technickými normami. Pro realizaci vzduchotechnického systému je potřeba vypracovat podrobnější prováděcí dokumentaci a vybrat konkrétní vzduchotechnickou jednotku.

Vzduchotechnický systém v tomto objektu je navržen na uvedené parametry a při jejich nedodržení není zaručena správná funkce tohoto systému.

## 10 Přílohy technické zprávy

- Příloha 1 technické zprávy: Tabulka místností
- Příloha 2 technické zprávy: Výkaz množství

## 11 Výkresová dokumentace

<b>Číslo</b>	<b>Název</b>	<b>Měřítko</b>	<b>Rozměr</b>
D.1	VZT – NP1	1:100	A3
D.2	VZT – NP2	1:100	A3
D.3	VZT – podkroví	1:100	A3

## Příloha 1 technické zprávy: Tabulka místností

Výkaz místností					Tepelné ztráty větráním			
Číslo	Název	Plocha	Objem	Vnitřní teplota	Nuceným větráním	Převodem	Větráním obálkou budovy	Celkem
		[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[°C]	[W]	[W]	[W]	[W]
1.1	Garáž	47	127.27	5	0	0	84	84
1.2	Kuchyně	66	176.33	20	156	0	170	326
1.3	Pokoj	14	38.54	20	58	0	46	105
1.4	Pokoj	14	38.66	20	44	0	77	121
1.5	Šatna	4	11.02	20	0	0	0	0
1.6	Koupelna	4	12.08	24	0	44	24	68
1.7	Zádveří	13	35.13	15	0	0	20	20
1.8	Tech. místnost	2	6.25	15	0	0	0	0
1.9	Sklad	4	10.62	15	0	0	13	13
1.10	Obývací pokoj	41	109.90	20	97	0	126	223
1.11	Chodba	22	59.84	20	0	0	0	0
1.12	Prádelna	4	10.87	20	0	0	17	17
1.13	WC	4	9.57	20	0	0	16	16
2.14	Pokoj	19	50.91	20	44	0	81	125
2.15	Pokoj	18	49.25	20	44	0	34	79
2.16	Pokoj	19	50.24	20	44	0	81	125
2.17	Šatna	4	12.10	20	0	0	18	18
2.18	Šatna	4	11.70	20	0	0	0	0
2.19	Šatna	4	12.10	20	0	0	18	18
2.20	Koupelna	10	26.16	24	0	67	52	119
2.21	Pokoj	16	44.25	20	58	0	81	139
2.22	Koupelna	5	12.85	24	0	44	18	62
2.23	Chodba	32	85.90	20	0	0	0	0
2.24	Šatna	7	17.67	20	0	0	25	25
2.25	Pokoj	18	48.38	20	87	0	31	118
2.26	WC	2	4.16	20	0	0	0	0
2.27	WC	2	5.68	20	0	0	0	0
2.29	Pokoj	8	21.74	20	44	0	46	90
2.30	Šatna	8	21.40	20	0	0	58	58
2.31	Koupelna	9	23.89	24	0	44	34	79
2.32	WC	1	3.46	20	0	0	0	0
	<b>Celkem</b>	<b>425</b>	<b>1147.9</b>	<b>-</b>	<b>677</b>	<b>201</b>	<b>1170</b>	<b>2048</b>

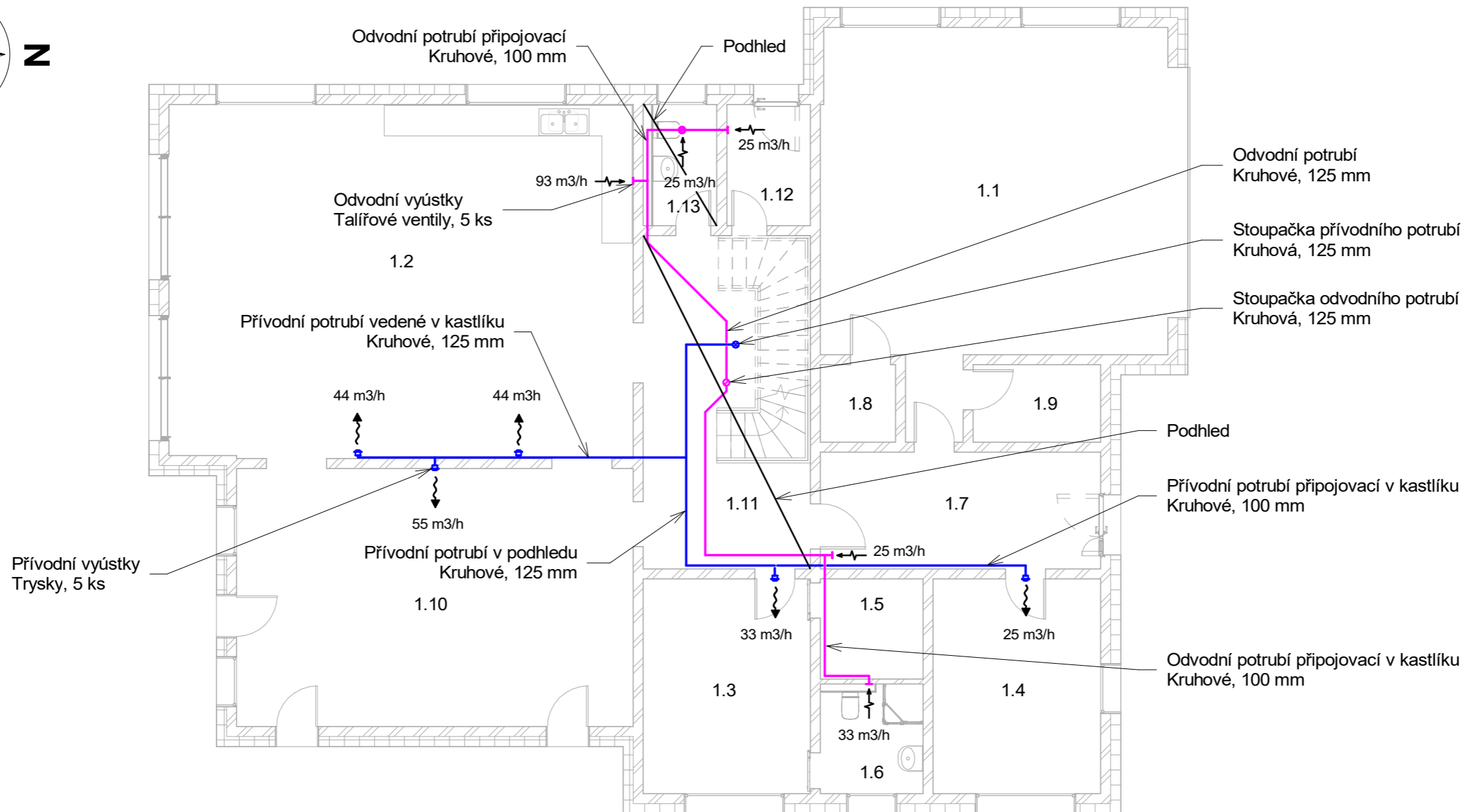
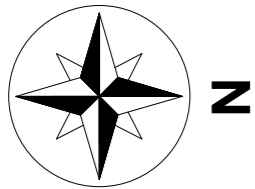



## Příloha 1 technické zprávy: Tabulka místností

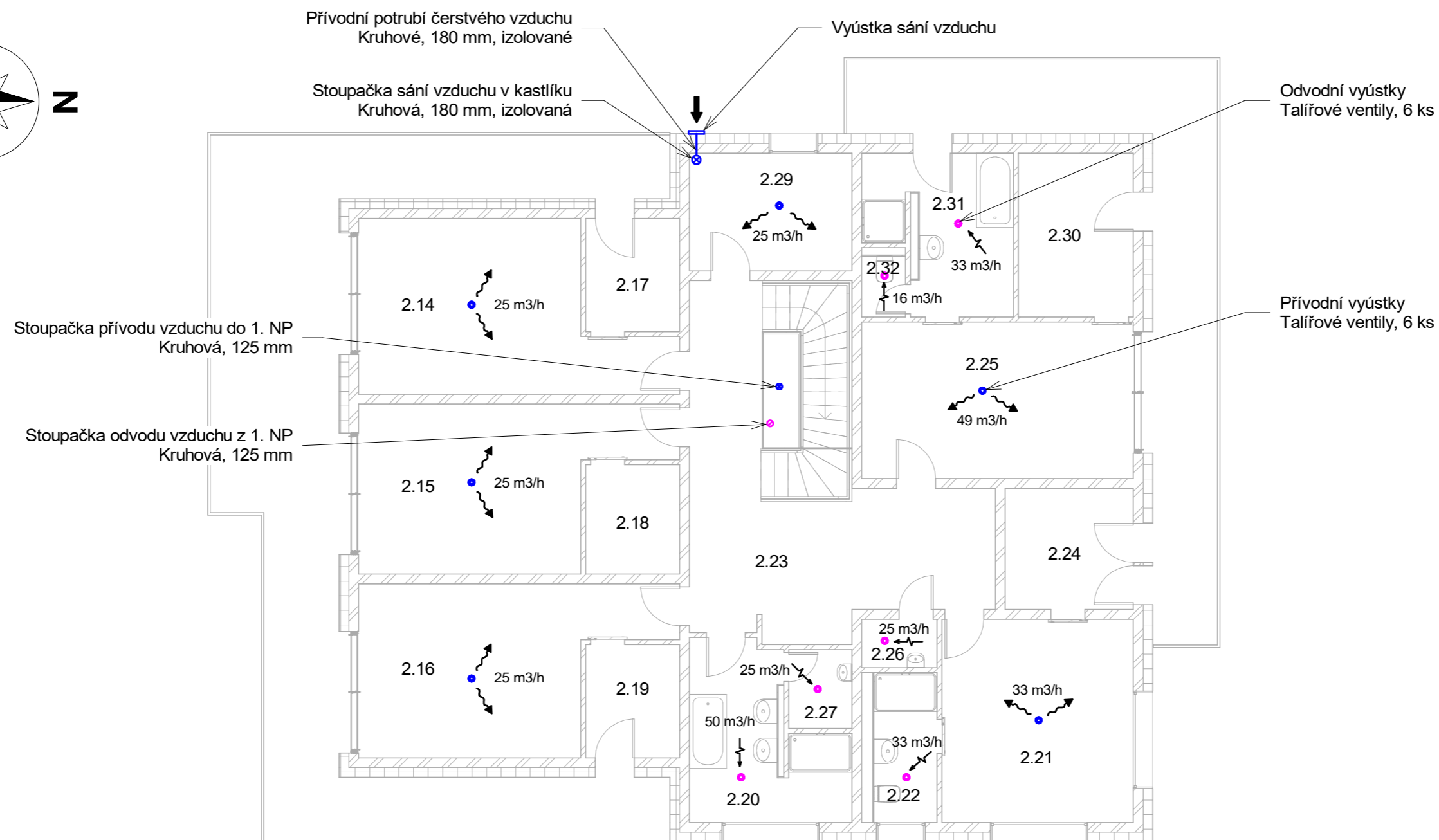
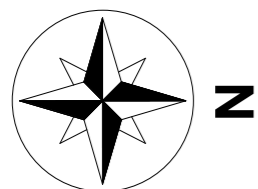
Číslo	Minimální větrání		Trvalé větrání		Nárazové větrání	
	Přívod	Odvod	Přívod	Odvod	Přívod	Odvod
	[m <sup>3</sup> /h]	[m <sup>3</sup> /h]	[m <sup>3</sup> /h]	[m <sup>3</sup> /h]	[m <sup>3</sup> /h]	[m <sup>3</sup> /h]
1.1	0	0	0	0	0	0
1.2	53	56	88	93	134	142
1.3	20	0	33	0	50	0
1.4	15	0	25	0	38	0
1.5	0	0	0	0	0	0
1.6	0	20	0	33	0	50
1.7	0	15	0	25	0	38
1.8	0	0	0	0	0	0
1.9	0	0	0	0	0	0
1.10	33	0	55	0	84	0
1.11	0	0	0	0	0	0
1.12	0	15	0	25	0	38
1.13	0	15	0	25	0	38
2.14	15	0	25	0	38	0
2.15	15	0	25	0	38	0
2.16	15	0	25	0	38	0
2.17	0	0	0	0	0	0
2.18	0	0	0	0	0	0
2.19	0	0	0	0	0	0
2.20	0	30	0	50	0	76
2.21	20	0	33	0	50	0
2.22	0	20	0	33	0	50
2.23	0	0	0	0	0	0
2.24	0	0	0	0	0	0
2.25	30	0	49	0	75	0
2.26	0	15	0	25	0	38
2.27	0	15	0	25	0	38
2.29	15	0	25	0	38	0
2.30	0	0	0	0	0	0
2.31	0	20	0	33	0	50
2.32	0	10	0	16	0	25
<b>Celkem</b>	<b>231</b>		<b>383</b>		<b>583</b>	


## Příloha 2 technické zprávy: Výkaz množství

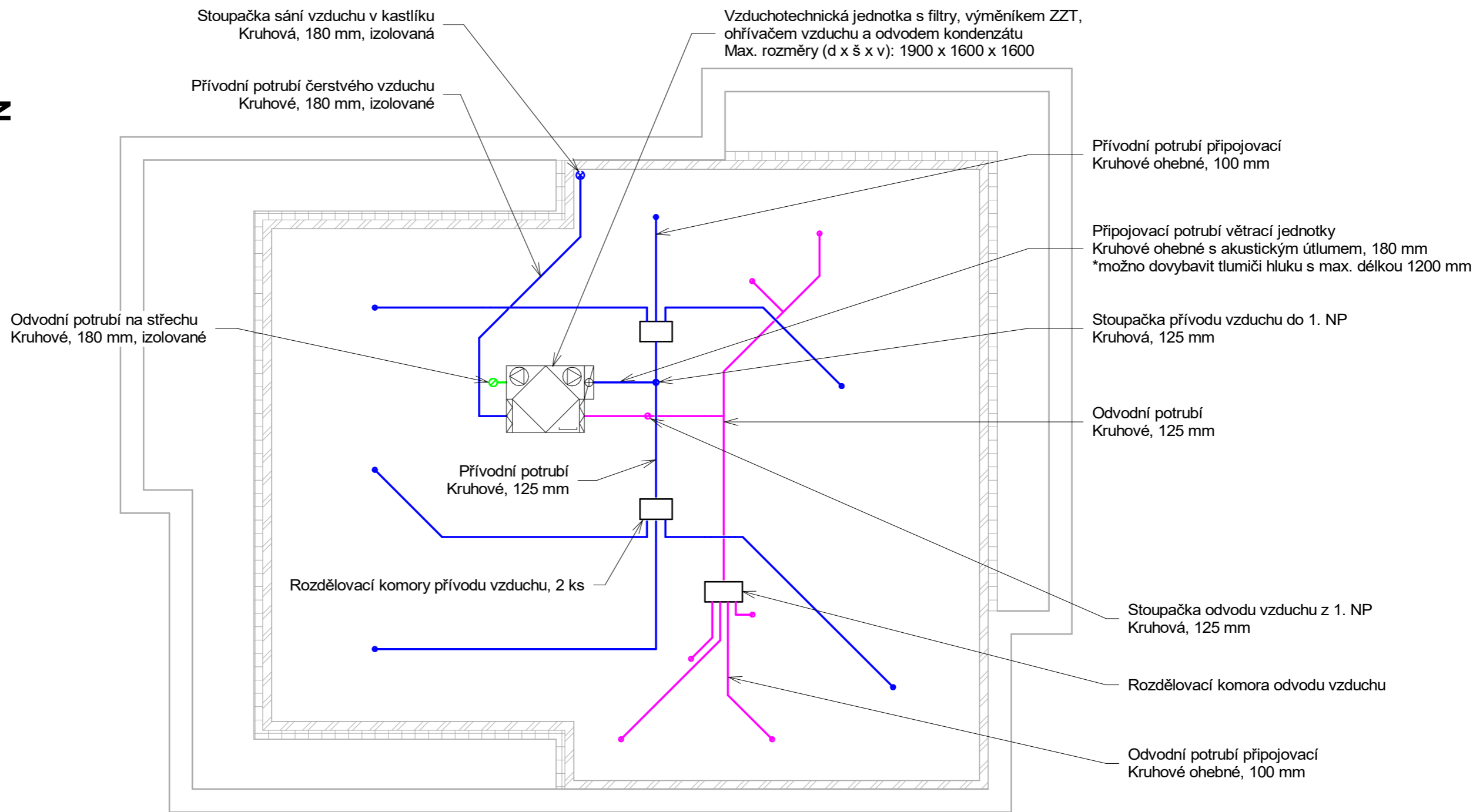
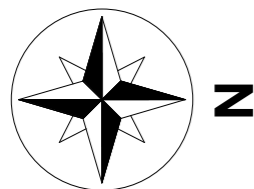
Název a popis elementu	Měrná jednotka	Počet
Větrací jednotka	ks	1
Rozdělovací komora 1x125 mm, 3x100 mm	ks	2
Rozdělovací komora 1x125 mm, 4x100 mm	ks	1
Venkovní vyústka sání vzduchu, 180 mm	ks	1
Střešní hlavice, 180 mm	ks	1
Potrubí kruhové s izolací, 180 mm	m	13,6
Potrubí kruhové, 125 mm	m	46,61
Potrubí kruhové, 100 mm	m	63,19
Přívodní vyústka: tryska, 100 mm	ks	5
Přívodní vyústka – talířový ventil, 100 mm	ks	6
Odvodní vyústka – talířový ventil, 100 mm	ks	11




VYPRACOVAL: Hynek Mečíř	VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. Vojtěch Zavřel, Ph.D	OBOR: TZSI	<b>ČVUT</b>  Fakulta strojní	
PŘEDMĚT: 2163992 - Bakalářská práce				
PROJEKT: <b>Rodinný dům Praha - Libuše</b>			MĚŘÍTKO: 1 : 100	
NÁZEV VÝKRESU: <b>VZT - NP1</b>			FORMÁT: A3	ČÍSLO VÝKRESU: <b>D.1</b>



VYPRACOVAL: Hynek Mečíř	VEDOUČÍ PRÁCE: Ing. Vojtěch Zavřel, Ph.D	OBOR: TZSI	<b>ČVUT</b>  Fakulta strojní
PŘEDMĚT: 2163992 - Bakalářská práce			
PROJEKT: <b>Rodinný dům Praha - Libuše</b>			DATUM: 9. 6. 2021
NÁZEV VÝKRESU: <b>VZT - NP2</b>			MĚŘÍTKO: 1 : 100
			FORMÁT: A3
			ČÍSLO VÝKRESU: <b>D.2</b>



VYPRACOVAL: Hynek Mečíř	VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. Vojtěch Zavřel, Ph.D	OBOR: TZSI	<b>ČVUT</b>  Fakulta strojní
PŘEDMĚT: 2163992 - Bakalářská práce			
PROJEKT: <b>Rodinný dům Praha - Libuše</b>			DATUM: 9. 6. 2021
NÁZEV VÝKRESU: <b>VZT - podkroví</b>			MĚŘÍTKO: 1 : 100
			FORMÁT: A3
			ČÍSLO VÝKRESU: <b>D.3</b>