

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ**

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



**OPTIMALIZACE BUDOVY
Z HLEDISKA PRIMÁRNÍ ENERGIE**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vypracovala:

Bc. Zuzana Plojharová

Vedoucí práce:

prof. Ing. Karel Kabele, CSc.

2018/2019



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Plojharová Jméno: Zuzana Osobní číslo: 423811

Zadávací katedra: K 11125 TZB

Studijní program: Budovy a prostředí

Studijní obor: Budovy a prostředí

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Optimalizace budovy z hlediska primární energie

Název diplomové práce anglicky: Optimization of the building in terms of primary energy

Pokyny pro vypracování:

Na daném objektu zpracujte varianty koncepčního řešení stavebních konstrukcí, zásobování energiemi, větrání a hospodaření s vodou. Za podpory nástrojů pro modelování a simulaci stanovte energetickou náročnost jednotlivých variant a metodikou SBTOOL odhadněte množství svázané energie v hlavních konstrukcích budovy. Proveďte multikriteriální analýzu primární energie a vyhodnoťte optimální řešení.

Pro vybrané řešení zpracujte projekt vytápění a větrání na úrovni rozšířené dokumentace pro stavební povolení ve smyslu vyhlášky 499/2006 Sb.

Seznam doporučené literatury:

[1] Vonka, M. a kol.: SBToolCZ pro bytové domy. Praha 2013 ISBN 978-80-01-05125-2

[2] Kabele., K. a kol.: Energetické a ekologické systémy budov 1 Zdravotní technika Vytápění ČVUT 2005, ISBN 80-01-03327-9

[3] Kabele, K. a kol.: TZB.Vytápění - podklady pro cvičení, ČVUT 2014, ISBN 978-80-01-05203-7

[4] Chadderton, D.: Building Services Engineering, Routledge 2013, ISBN 0415699312

[5] Petráš, D. a kol.: Vytápění rodinných a bytových domů, Jaga 2005, ISBN 80-8076-020-9

[6] Papež, K., Vyoralová Z., Marková L., Garlík B., Jokl M. Energetické a ekologické systémy budov 2.

Vzduchotechnika, chlazení, elektroinstalace, umělé osvětlení. Fakulta stavební, 1. vydání, ISBN:

978-80-01-03622-8, 2007. (NTK TH6021 .P37 2007 z)

Jméno vedoucího diplomové práce: prof. Ing. Karel Kabele, CSc.

Datum zadání diplomové práce: 8.10.2018

Termín odevzdání diplomové práce: 6.1.2019

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové 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“.

8.10.2018

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

SPECIFIKACE ZADÁNÍ

Jméno diplomanta: Zuzana Plojharová

Název diplomové práce: Optimalizace budovy z hlediska primární energie

Základní část: TZB podíl: 90 %

Formulace úkolů: Zpracujte varianty koncepčního řešení zásobování energiemi, větrání a hospodaření s vodou.

Stanovte energetickou náročnost jednotlivých variant řešení technického zařízení budovy.

Pro vybrané řešení vypracujte projekt vytápění a větrání na úrovni rozšířené dokumentace pro stavební povolení ve smyslu vyhlášky 499/2006 Sb.

Podpis vedoucího DP:..... Datum: 8.10.18

Případné další části diplomové práce (části a jejich podíl určí vedoucí DP):

2. Část: KPS podíl: 10 %

Konzultant (jméno, katedra): prof. Ing. Jan Tywoniak, CSc.

Formulace úkolů: Navrhněte varianty stavebních konstrukcí budovy.

Metodikou SBTOOL odhadněte množství svázané a provozní primární energie.

Proveďte multikriteriální analýzu a vyhodnoťte optimální řešení.

Podpis konzultanta:..... Datum: 8.10.2018

3. Část: podíl: %

Konzultant (jméno, katedra):

Formulace úkolů:

Podpis konzultanta:..... Datum:.....

4. Část: podíl: %

Konzultant (jméno, katedra):

Formulace úkolů:

Podpis konzultanta:..... Datum:.....

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svoji diplomovou práci vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a podkladů.

V Příbrami, 2.1.2019

Bc. Zuzana Plojharová

.....

Poděkování

Děkuji prof. Ing. Karlovi Kabelemu, CSc. za cenné rady, připomínky k mé práci a konzultace během studia. Dále děkuji svým rodičům, že mi umožnili studovat.

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá tématem energetické optimalizace budovy z hlediska primární energie. Studie je zaměřena na analýzu rodinného domu se dvěma bytovými jednotkami z hlediska spotřeby primární energie ve fázi výstavby i provozu. Jsou porovnána různá řešení stavebních konstrukcí z hlediska svázané energie v materiálech a tepelného chování budovy. Dále je pro vybranou materiálovou variantu objektu zpracována analýza různých řešení technického zařízení budovy z hlediska spotřeby primární energie na vytápění, větrání, přípravu teplé vody a provoz energetických systémů. Pro nejvhodnější ze zvažovaných variant jsou zpracovány projekty techniky prostředí – vytápění a větrání.

Annotation

This diploma thesis deals with energy optimization of the building in terms of primary energy. The study focuses on the analysis of a detached house with two housing units with respect to primary energy input during construction and operation of the building. Different solutions of building structure are compared in terms of primary energy in materials and the thermal behavior of the building. Different HVAC solutions are analyzed from the point of primary energy input for heating, ventilation and hot water preparation. Heating and ventilation projects are designed for the most suitable design of the structure and design of the HVAC system with respect to primary energy input.

Obsah

| | |
|---|----|
| Seznam zkratek..... | 9 |
| 1 Úvod | 9 |
| 1.1 Analýza tématu | 9 |
| 1.2 Cíl práce | 9 |
| 1.3 Úvod do problematiky spotřeby primární energie | 10 |
| 2 Popis řešeného objektu..... | 13 |
| 2.1 Účel a popis objektu | 13 |
| 2.2 Architektonická studie | 13 |
| 3 Použitý software a hodnotící metodika | 17 |
| 3.1 Software pro dynamickou simulaci – DesignBuilder | 17 |
| 3.2 Hodnotící metodika spotřeby primární energie – SBToolCZ | 18 |
| 4 Definice zadání | 19 |
| 5 Dynamická simulace pro posouzení materiálového řešení objektu | 21 |
| 5.1 Vstupní data dynamické simulace | 21 |
| 5.1.1 Umístění objektu a klimatická data..... | 21 |
| 5.1.2 Zóny objektu | 22 |
| 5.1.3 Provoz objektu..... | 25 |
| 6 Analýza materiálového řešení objektu | 28 |
| 6.1 Skladby konstrukcí | 29 |
| 6.1.1 Skladby konstrukcí - 1.PP..... | 29 |
| 6.1.2 Skladby konstrukcí – varianta A | 31 |
| 6.1.3 Skladby konstrukcí – varianta B..... | 33 |
| 6.1.4 Skladby konstrukcí – varianta C..... | 35 |
| 6.2 Analýza tepelného chování objektu | 37 |
| 6.2.1 Tepelná ztráta objektu, potřeba tepla na vytápění, potřeba chladu na chlazení..... | 37 |
| 6.2.2 Letní tepelná stabilita | 40 |
| 6.2.3 Zimní tepelná stabilita | 45 |
| 6.3 Analýza svázané spotřeby energie..... | 49 |
| 6.3.1 Výpočet roční svázané spotřeby energie | 49 |
| 6.4 Vyhodnocení materiálového řešení objektu | 60 |
| 7 Dynamická simulace pro posouzení řešení technického zařízení budovy..... | 64 |

| | | |
|-------|---|----|
| 7.1 | Vstupní data dynamické simulace..... | 64 |
| 7.1.1 | Provoz objektu | 64 |
| 8 | Analýza řešení technického zařízení budovy..... | 66 |
| 8.1 | Koncepce technického zařízení budovy | 68 |
| 8.1.1 | Varianta A..... | 68 |
| 8.1.2 | Varianta B..... | 71 |
| 8.1.3 | Varianta C..... | 74 |
| 8.2 | Spotřeba provozní energie..... | 77 |
| 8.2.1 | Vytápění..... | 77 |
| 8.2.2 | Větrání..... | 80 |
| 8.2.3 | Příprava teplé vody | 82 |
| 8.2.4 | Provoz energetických systémů | 84 |
| 8.3 | Spotřeba primární energie | 88 |
| 8.3.1 | Varianta A..... | 88 |
| 8.3.2 | Varianta B..... | 88 |
| 8.3.3 | Varianta C..... | 89 |
| 8.4 | Vyhodnocení řešení technického zařízení budovy..... | 90 |
| 9 | Závěr | 92 |
| 10 | Zdroje | 93 |
| 10.1 | Seznam použité literatury | 93 |
| 10.2 | Seznam použitých zdrojů | 94 |

SEZNAM ZKRATEK

| | | | | | |
|----|---|------------------|----|---|------------------|
| PP | - | Podzemní podlaží | TV | - | Teplá voda |
| NP | - | Nadzemní podlaží | TČ | - | Tepelné čerpadlo |

2 ÚVOD

2.1 ANALÝZA TÉMATU

Tématem této diplomové práce je energetická optimalizace rodinného domu z hlediska primární energie pomocí metodiky SBToolCZ a dynamické simulační analýzy objektu provedené v softwaru DesignBuilder.

Pro zvolenou optimální variantu jsou vypracovány projekty techniky prostředí staveb – vytápění a větrání.

2.2 CÍL PRÁCE

Cílem práce je komplexní analýza budovy z hlediska spotřeby primární energie. Hlavním záměrem této studie je posouzení různých variant řešení objektu z hlediska množství svázané energie v konstrukcích a spotřeby energie při provozu.

Simulační analýzou objektu v softwaru DesignBuilder je nejprve posouzena koncepce architektonicko-stavebního řešení z hlediska chování objektu při použití různých typů konstrukcí. Následuje analýza svázané spotřeby energie zvolených variant konstrukčních systémů metodikou SBToolCZ. Optimální varianta materiálového řešení objektu je vybrána na základě svázané spotřeby energie s ohledem na tepelné ztráty, tepelné zisky a schopnost tepelné stability objektu.

Dále dynamický model slouží k optimalizaci objektu z hlediska energetické náročnosti ve fázi provozu. Jsou zvažovány odlišné varianty technického zařízení budovy a zdrojů energie s cílem najít řešení s nejnižší energetickou náročností.

Pro vybranou variantu technického systému budovy jsou zpracovány projekty vytápění a větrání objektu.

2.3 ÚVOD DO PROBLEMATIKY SPOTŘEBY PRIMÁRNÍ ENERGIE

V souvislosti s tím, jak roste počet obyvatel na Zemi a dochází k rozvoji společnosti, roste i spotřeba energie. Světové zásoby uhlí, ropy a dalších neobnovitelných zdrojů energie jsou omezené, a je třeba se s nimi naučit hospodařit.

Podle studie Evropské unie z roku 2009 spotřebují budovy až 40 % celkové spotřeby energie v rámci Evropské unie [21]. V této spotřebě je zahrnuta energie na vytápění, chlazení, přípravu teplé vody, osvětlení a celkový provoz všech budov domácností a zařízení pro sport a kulturu. Dvě třetiny této energie spotřebovávají pouze domácnosti [1]. Právě budovy v sobě tedy skrývají největší potenciál k úsporám energie v rámci Evropské unie.

Na základě těchto poznatků byly Evropskou unií vydány dokumenty shrnující strategii úspor energie v budovách. Požadavky na energetickou náročnost budov byly zapracovány do české legislativy, a tak byl učiněn první krok k energetickým úsporám v budovách podložený zákonem. Dnes je snižování energetické náročnosti budov zakotveno v §7 zákona č. 318/2012 Sb., o hospodaření energií a dále ve vyhlášce č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov. Na základě platné legislativy České republiky jsou stavebník, vlastník budovy nebo společenství vlastníků jednotek při pořízení stavby nebo změně stavby povinni splnit požadavky na energetickou náročnost budovy [2]. Splnění těchto požadavků se dokládá Průkazem energetické náročnosti budovy [2].

Zákonem stanovené posuzování energetické náročnosti budov a přijímání opatření pro splnění předepsaných požadavků byl důležitý krok pro to, aby naše společnost začala o dané problematice aktivně přemýšlet a hledat možná řešení energetických úspor. Zatímco pro jednotlivce znamená snížení energetické náročnosti především snížení nákladů, v globálním měřítku se jedná o úsporu surovinových zdrojů a snižování ekologické zátěže. Trend šetření energiemi vedl k rozvoji nízkoenergetických a pasivních domů, u nichž je nejvýznamnější provozní energie, energie na vytápění, snížena až několikanásobně [4].

Nicméně hodnotit pouze spotřebu energie při provozu budovy z environmentálního hlediska není dostatečné, protože budova spotřebovává množství

energie již ve fázi výstavby. Tato energie je svázána v použitých materiálech pro výstavbu objektu a jedná se o energii, která byla spotřebována při těžbě surovin, při výrobě materiálu a konstrukčního prvku, k užití výrobku a jeho vyřazení. Takzvaná svázaná spotřeba energie byla dlouho opomíjena, ale vzhledem k výraznému snížení provozní energie začalo množství svázané energie tvořit významný díl celkové spotřeby.

Problematiku celkové spotřeby energie budovami v sobě zahrnuje, mimo jiného, strategie trvale udržitelné výstavby. Jedná se o vývoj stavebnictví směrem k dosažení trvale udržitelného rozvoje, který řeší otázku environmentálních limitů a současného rozvoje společnosti. Trvale udržitelný rozvoj je definován jako způsob rozvoje, který naplňuje potřeby přítomných generací, aniž by ohrozil schopnost budoucích generací naplňovat vlastní potřeby.

Na základech kritérií trvale udržitelné výstavby jsou vyvíjeny metodiky pro hodnocení komplexní kvality budovy. Cílem hodnocení komplexní kvality budovy je vést vývoj stavebnictví k trvalé udržitelnosti. Prakticky se jedná o nástroj, kterým je možné hodnotit budovu nejenom ze stránky ekonomické, což je běžnou praxí, ale i z hlediska vlivů stavby na životní prostředí a sociálně kulturních dopadů objektu. Stavby budované podle trvale udržitelné výstavby by měly uživatelům poskytovat kvalitní vnitřní prostředí budovy i jejího okolí při snížení celkových nákladů a dopadů na životní prostředí. To by mělo vést ke snížení environmentální zátěže stavebnictvím a provozem budov a k úspoře zdrojů. [12]

Hodnocení komplexní kvality budovy není na rozdíl od hodnocení energetické náročnosti dle české legislativy povinností. I přesto jsou metodiky hodnocení čím dál častěji používány v projektovém a realizačním procesu výstavby. Českým hodnotícím systémem SBToolCZ vychází z mezinárodní metodiky SBTool s ohledem na místní klimatické a geomorfologické podmínky, dostupné materiály a technologie a tradici ve formě bydlení. Metodika SBToolCZ hodnotí budovu z hlediska jednotlivých kritérií z oblasti environmentální, sociálně-kulturní a ekonomické. Jednotlivým kritériím i zkoumaným oblastem je přiřazena váha důležitosti stanovená panelem expertů. V případě metodiky SBToolCZ určené k hodnocení bytových staveb zaujímá environmentální skupina kritérií celých 50 % důležitosti v rámci trvalé udržitelnosti. Kritérium spotřeby primární energie z neobnovitelných zdrojů je v této skupině

nejvýznamnější, a byla mu udělena váha 21 %, což odpovídá v celkové struktuře metodiky 10,5 %. Spotřeba primární energie z neobnovitelných zdrojů byla tedy určena jako nejvýznamnější kritérium k dosažení trvale udržitelné výstavby. [12]

Hodnocení pomocí primární energie slouží ke skutečnému posouzení spotřeby energie. Nezáleží pouze na množství reálně spotřebované energie, ale i na tom, odkud energie pochází. Proto se jednotlivé spotřeby energií převádí na množství primární energie, která vyjadřuje celkovou spotřebu přírodních zdrojů energie, jež neprošly žádným procesem přeměny. [24]

3 POPIS ŘEŠENÉHO OBJEKTU

3.1 ÚČEL A POPIS OBJEKTU

Posuzovaný objekt je využíván jako rodinný dům a horská chata nabízející turistům krátkodobé ubytování.

Třípodlažní objekt jednoduchého obdélníkového půdorysu s plochou střechou je orientován delší fasádou směrem na jih a částečně zapuštěn do svažitého terénu. Umístění objektu je uvažováno na úpatí Jizerských hor na okraji města Liberec v České republice. První podzemní a první nadzemní podlaží tvoří rodinný dům se čtyřmi obytnými místnostmi, kuchyňským koutem a místnostmi hygienického zázemí v nadzemním podlaží a garáží s dílnou, technickou místností, WC a jednou obytnou místností určenou pro sport a relaxaci v podzemním podlaží. Druhé nadzemní podlaží je určeno pro ubytování turistů, největší prostor zaujímá společenská místnost s kuchyňským koutem, dále dva dvojlůžkové a jeden trojlůžkový pokoj, místnosti hygienického zázemí a sklad.

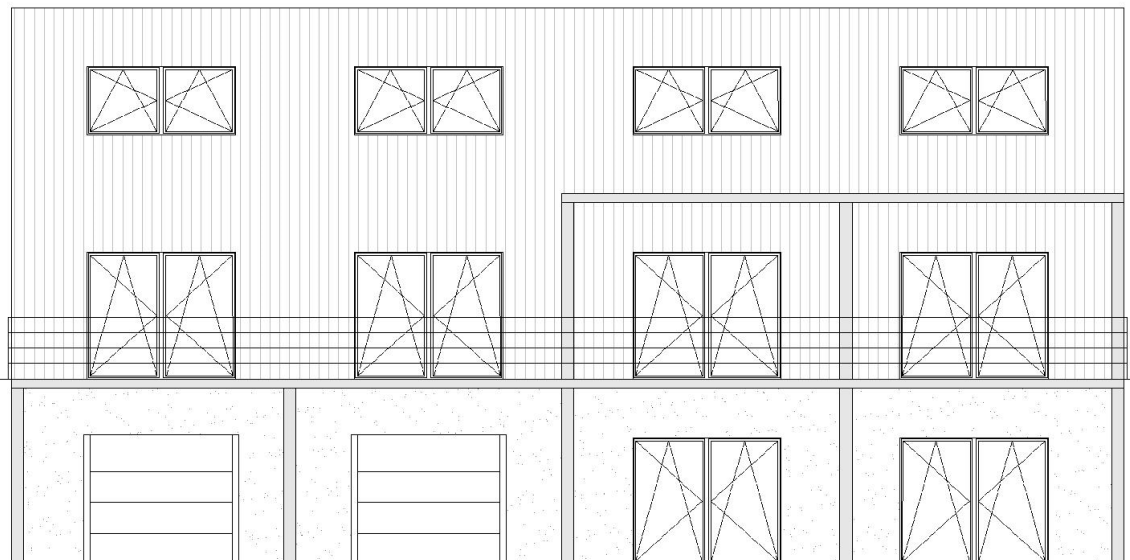
3.2 ARCHITEKTONICKÁ STUDIE

Snížování celkového množství spotřeby energie pro výstavbu i provoz objektu je prioritou tohoto projektu. Z tohoto důvodu je objekt navržen podle zásad energeticky úsporných budov.

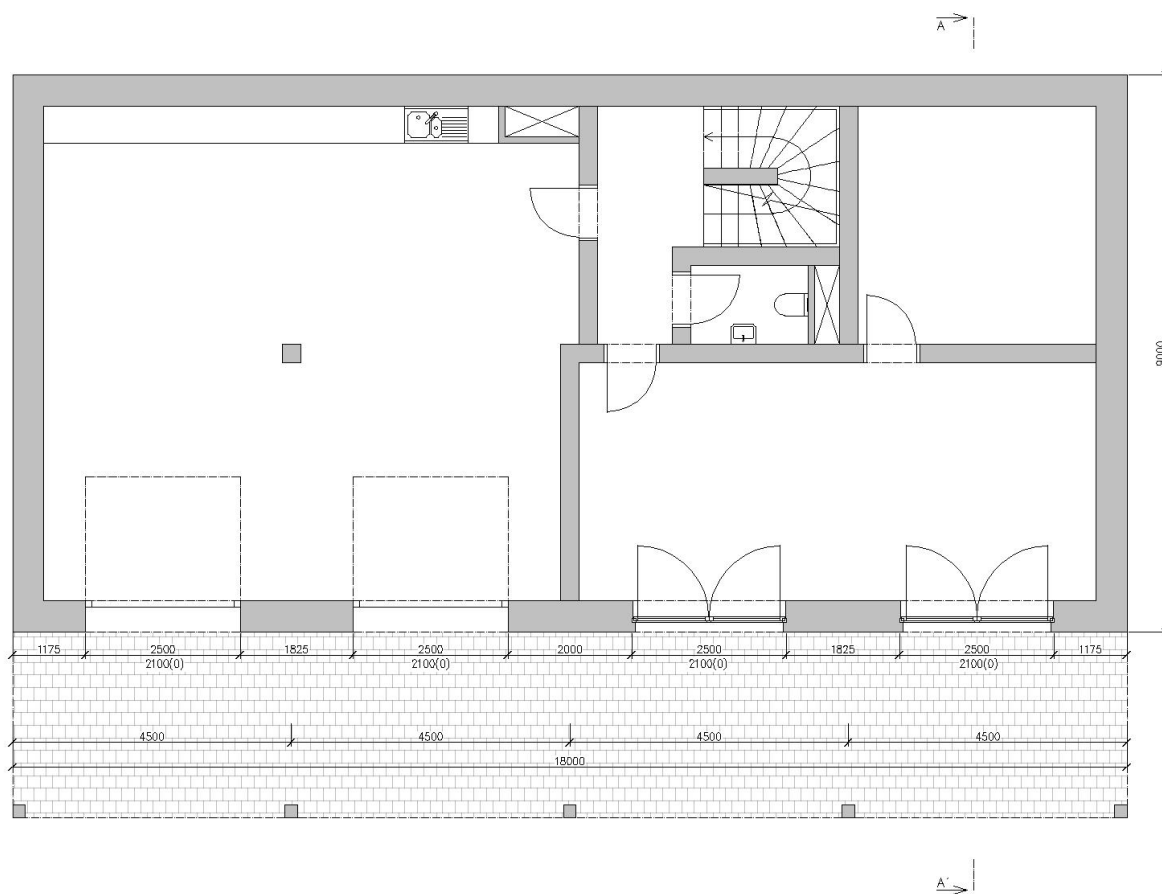
Návrh je založen na kompaktní hmotě objektu, která vytváří předpoklady pro snížování tepelných ztrát v zimním období [4]. Hmotu budovy představuje kvádr orientovaný delší stranou na jih.

Jižní fasáda je z velké části prosklená, nejenom kvůli rovnoměrnému proslunění interiéru, ale i za účelem využití pasivních solárních zisků. Toto prosklení nepřesahuje více než 40 % plochy fasády, vyšší míra prosklení by nepřinesla zásadně vyšší solární zisky během dne v zimním období, naopak by se zvyšovaly tepelné ztráty během noci a riziko přehřívání interiéru v letním období [4]. Prosklení na východní a západní fasádě je omezeno a navrženo především k přirozenému osvětlení místností. Úplná absence okenních otvorů na severní fasádě je předpokladem ke snížení tepelných ztrát v zimě.

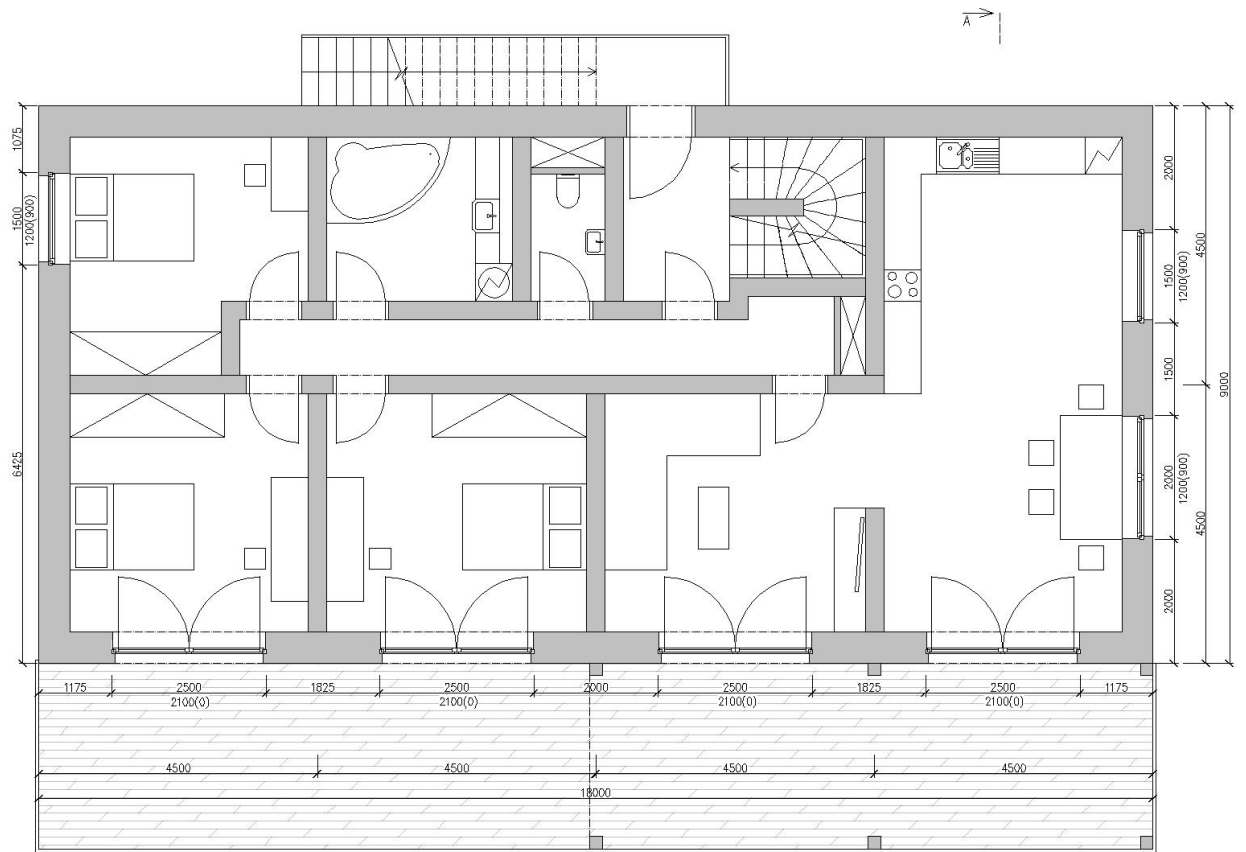
Vnitřní dělení prostoru je koncipováno tak, že obytné místnosti jsou umístěny především směrem na jih, zatímco místnosti hygienického zázemí, chodby, technická místnost a sklad směrem na sever.



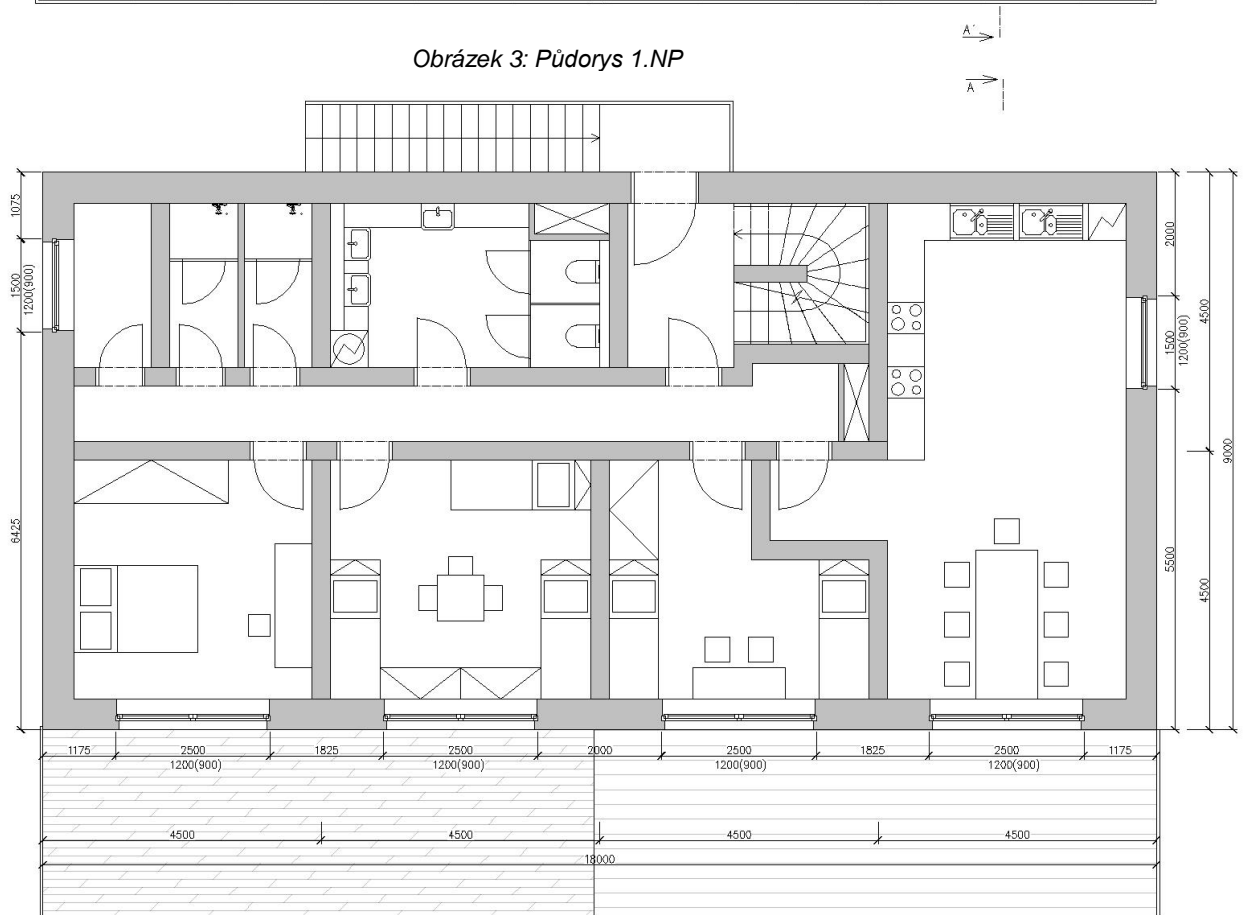
Obrázek 1: Jižní pohled



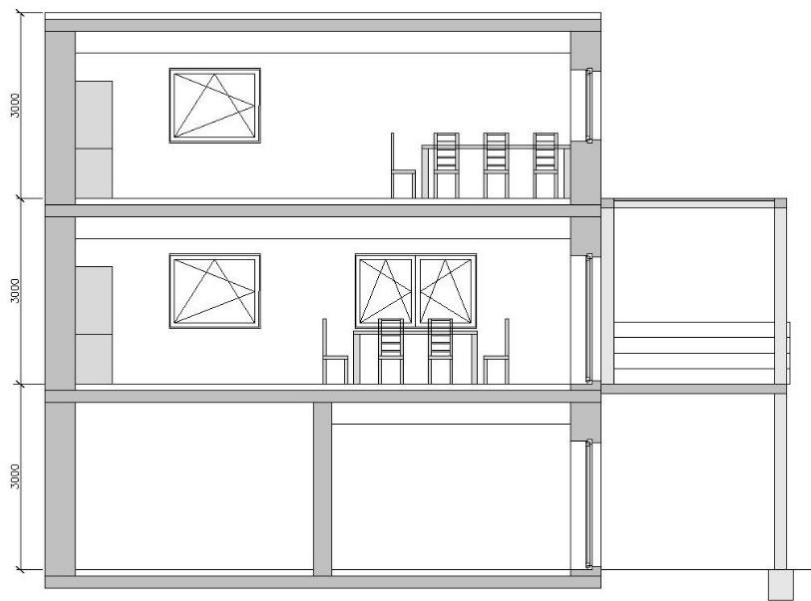
Obrázek 2: Půdorys 1.PP



Obrázek 3: Půdorys 1.NP



Obrázek 4: Půdorys 2.NP



Obrázek 5: Řez A-A'

4 POUŽITÝ SOFTWARE A HODNOTÍCÍ METODIKA

4.1 SOFTWARE PRO DYNAMICKOU SIMULACI – DESIGNBUILDER

Pro potřeby analýzy tepelného chování objektu a spotřeby energie při provozu je využit software DesignBuilder, který umožňuje komplexní dynamickou simulaci budovy pomocí výpočetního jádra EnergyPlus. Dynamická simulace budovy umožňuje efektivně porovnávat různá kritéria a návrhy budovy a jejích částí, a tak může sloužit k optimalizaci objektu a kvalitnímu návrhu budovy z hlediska komfortu vnitřního prostředí, minimalizace investičních a provozních nákladů a dopadů na životní prostředí. DesignBuidler se nejčastěji používá při multikriteriální optimalizaci budov, výpočtu denního osvětlení, zhodnocení tepelné pohody, analýze nákladů životního cyklu a při certifikaci budov z hlediska komplexní kvality v souladu s principy trvale udržitelné výstavby. [29]

Základním předpokladem pro vytvoření funkčního modelu pro dynamickou simulaci je definování zadání a okrajových podmínek výpočtu. Mezi základní okrajové podmínky patří provoz, konstrukce a systémy budovy. Objekt je třeba rozdělit do jednotlivých zón, které se od sebe odlišují základními atributy provozního schématu budovy. Každé zóně jsou definovány požadavky na tepelně-vlhkostním mikroklima, profil užívání z hlediska provozní doby a obsazenosti, požadavky na osvětlení a dodávku čerstvého vzduchu a provoz technického zařízení. Následuje vytvoření trojrozměrného modelu objektu a jeho okolí, definování konstrukcí a přiřazení vlastností jednotlivým zónám. Následně je možné přejít k dynamické simulaci objektu.

4.2 HODNOTÍCÍ METODIKA SPOTŘEBY PRIMÁRNÍ ENERGIE – SBTOOLCZ

Pro hodnocení spotřeby primární energie při provozu objektu a svázané spotřeby energie v konstrukčních materiálech je využit národní certifikační nástroj SBToolCZ pro hodnocení komplexní kvality budov v souladu s principy trvale udržitelné výstavby.

Metodika SBToolCZ vychází z mezinárodní metodiky SBTool, která obsahuje rozsáhlou databázi kritérií ovlivňujících trvale udržitelnou výstavbu. Národní metodika SBToolCZ je upravena pro hodnocení budov v konkrétních podmínkách České republiky. [12]

Metodika neslouží pouze ke zhodnocení kvality budovy z hlediska trvale udržitelné výstavby, jedná se i o velmi efektivní nástroj umožňující projektantům navrhovat budovu v širších souvislostech a v souladu s trvalou udržitelností. [12]

Hodnotící metodika je založena na posuzování jednotlivých kritérií trvale udržitelné výstavby z oblasti environmentální, sociální a ekonomické. Jednotlivým kritériím je přiřazena váha vyjadřující jejich důležitost z hlediska veřejného zájmu. Environmentální skupina kritérií v metodice SBToolCZ pro bytové domy zaujímá 50 % váhu a kritérium spotřeby primární energie je v této skupině nejvýznamnější s váhou 21 %. Z toho vyplývá, že spotřeba primární energie z neobnovitelných zdrojů má v této metodice největší váhu ze všech 33 posuzovaných kritérií. [12]

Posouzení spotřeby primární energie z neobnovitelných zdrojů se skládá ze dvou částí, a to svázané spotřeby energie v jednotlivých konstrukčních materiálech budovy a spotřeby energie z neobnovitelných zdrojů při provozu budovy určené dle energetické náročnosti budovy. Svázaná spotřeba primární energie vyplývá z výkazu výměr konstrukčních prvků, ke kterému se přiřadí jednotkové hodnoty svázaných spotřeb energií a zohlední se i životnost materiálů a konstrukcí. Provozní spotřeba primární energie vychází ve fázi návrhu objektu z vypočteného množství energie pro splnění standardizovaného užívání objektu a zahrnuje potřebu energie na vytápění, větrání, přípravu teplé vody, chlazení, zvlhčování, osvětlení a provoz technických zařízení. [12]

5 DEFINICE ZADÁNÍ

Porovnat vybraná materiálová řešení objektu z hlediska tepelných ztrát, tepelných zisků a schopnosti tepelné stability objektu. Zhodnotit tři typické konstrukční systémy používané v České republice navržené s ohledem na tepelně-vlhkostní chování stavebních konstrukcí a stavebně-konstrukční řešení objektu.

- Materiálová řešení objektu:
 - Varianta A – zděná stavba z keramických tvárnic s vnějším kontaktním zateplovacím systémem z polystyrenu
 - Varianta B – lehká rámová dřevostavba s difúzně otevřenou konstrukcí a vnitřním zateplením foukanou celulózovou izolací
 - Varianta C – zděná stavba z pórobetonových tepelněizolačních tvárnic bez dodatečného zateplení

Porovnat materiálová řešení objektu z hlediska svázané spotřeby primární energie metodikou SBToolCZ.

Na základě multikriteriální analýzy vybrat nejvhodnější materiálovou variantu daného objektu. V rozhodovacím procesu zohlednit tepelné chování objektu a svázanou spotřebu primární energie ve fázi výstavby.

Pro vybranou materiálovou variantu objektu porovnat spotřebu primární energie při předpokládaném provozu pro různé systémy technického zařízení budovy zajišťující vytápění, větrání, přípravu teplé vody a provoz energetických systémů.

- Systémy technického zařízení budovy:
 - Varianta A
 - Zdroj tepla – plynový kotel
 - Vytápění – teplovzdušné vytápění centrální vzduchotechnickou jednotkou s rekuperací tepla
 - Větrání – nucené větrání centrální vzduchotechnickou jednotkou s rekuperací tepla
 - Varianta B
 - Zdroj tepla – tepelné čerpadlo vzduch-voda
 - Systém vytápění – nízkoteplotní teplovodní podlahové vytápění v kombinaci s deskovými otopnými tělesy v technických místnostech
 - Větrání – mechanické větrání centrální vzduchotechnickou jednotkou s rekuperací tepla
 - Varianta C
 - Zdroj tepla – kotel na biomasu
 - Systém vytápění – teplovodní vytápění konvektory a deskovými či trubkovými otopnými tělesy
 - Větrání – mechanické větrání centrální vzduchotechnickou jednotkou s rekuperací tepla

Na základě spotřeby primární energie při provozu jednotlivých řešení technického zařízení budovy vybrat variantu s nejmenší energetickou náročností.

Pro nejvhodnější materiálovou variantu objektu a nejméně energeticky náročné řešení technického zařízení budovy z hlediska spotřeby primární energie zpracovat projekt vytápění a větrání v rozsahu na úrovni rozšířené dokumentace pro stavební povolení ve smyslu vyhlášky 499/2006 Sb.

6 DYNAMICKÁ SIMULACE PRO POSOUZENÍ MATERIÁLOVÉHO ŘEŠENÍ OBJEKTU

6.1 VSTUPNÍ DATA DYNAMICKÉ SIMULACE

6.1.1 UMÍSTĚNÍ OBJEKTU A KLIMATICKÁ DATA

Poloha objektu je uvažována na úpatí Jizerských hor na okraji města Liberec. Pro polohu objektu byl v šabloně umístění zvolen Liberec, kterému odpovídají dle použitého softwaru následující charakteristiky:

| | |
|--------------------------------|---------------------|
| – Zeměpisná šířka: | 50,77 ° |
| – Zeměpisná délka: | 15,02 ° |
| – Klimatické pásmo dle ASHRAE: | 7 |
| – Nadmořská výška: | 401,0 m n.m. |
| – Zatížení větrem: | stupeň 2 (normální) |

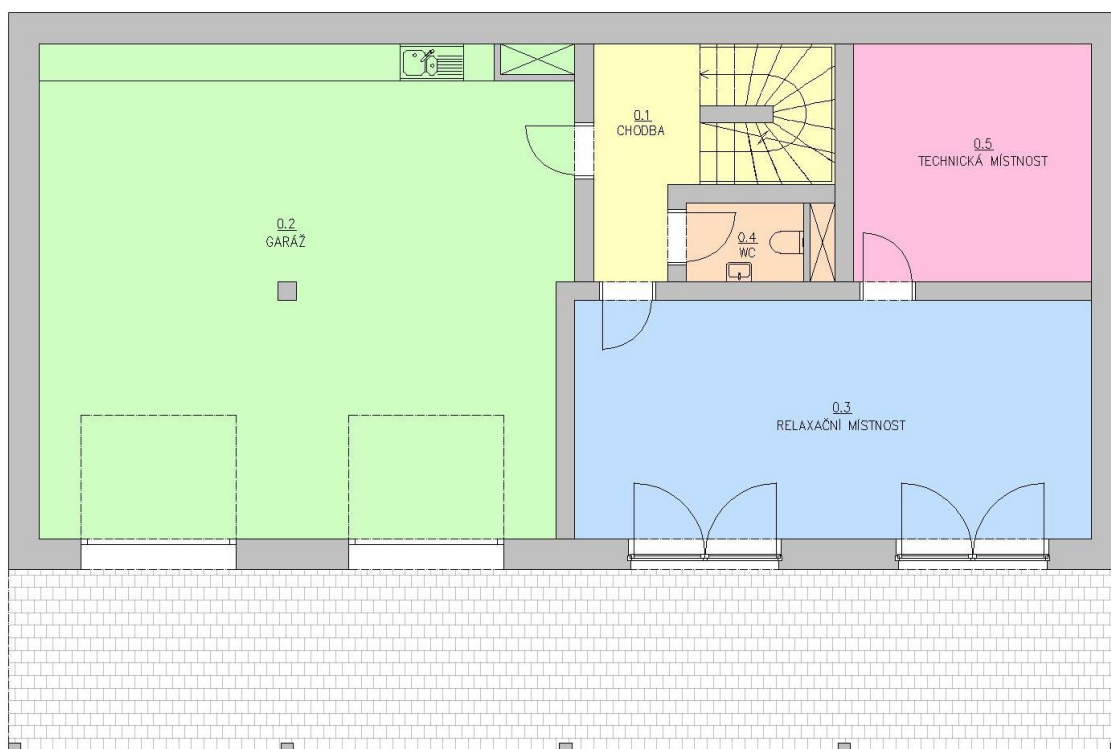
Pro výpočet jsou použita klimatická data Sněžky z polské databáze, protože jsou nejpodobnější skutečným klimatickým podmínkám v podhůří Jizerských hor. Použitým klimatickým datům odpovídají následující návrhové parametry:

| | |
|-------------------------------------|----------|
| – Venkovní návrhová teplota v zimě: | -14,1 °C |
| – Rychlost větru v zimě: | 12,8 m/s |

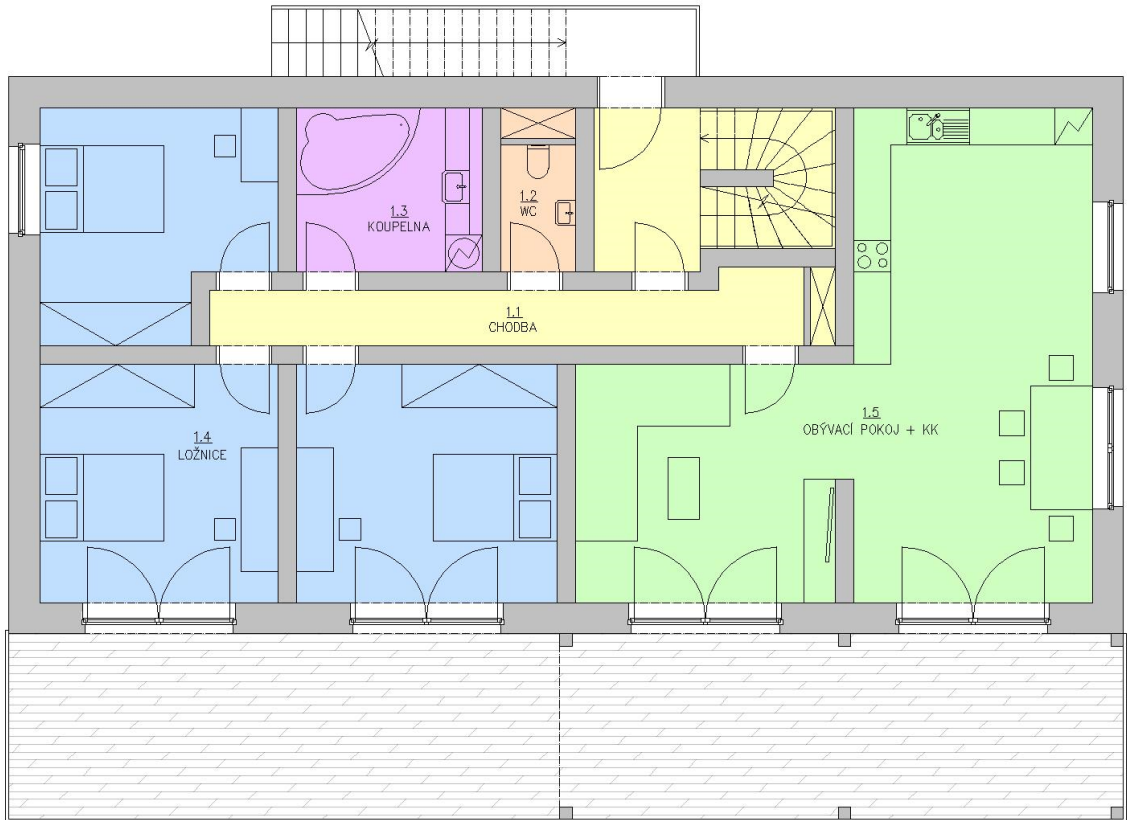
Orientace objektu je zadána na 0 °, což odpovídá navrhované orientaci objektu hlavní fasádou na jih.

6.1.2 ZÓNY OBJEKTU

Model objektu v DesignBuilderu sloužící k dynamické simulaci je rozdělen do bloků tvořících jednotlivá podlaží, následně jednotlivé bloky do zón se stejnými tepelně-vlhkostními parametry a provozem. Pro zjednodušení dynamické simulace jsou ložnice na jednotlivých podlažích spojeny do jedné zóny. Taktéž zádveří a chodby tvoří jednu zónu propojenou otvory mezi podlažími. Zbylé místnosti objektu jsou samostatné zóny, viz schémata rozdělení objektu na zóny níže.



Obrázek 6: Schéma zón v 1.PP

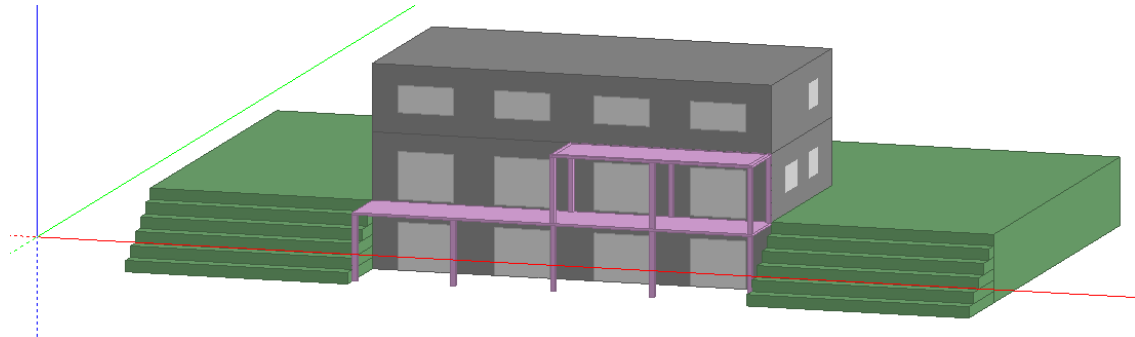


Obrázek 7: Schéma zón v 1.NP



Obrázek 8: Schéma zón v 2.NP

Dále byly okolo modelu umístěny bloky podle uvažované situace objektu. Jedná se především o blok terénu, do kterého je objekt zasazen, a o terasu prvního nadzemního podlaží.



Obrázek 9: Schéma bloků objektu a okolí



Obrázek 10: Vizualizace modelu objektu v softwaru DesignBuilder

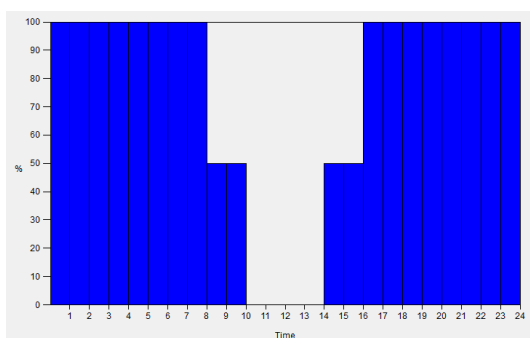
6.1.3 PROVOZ OBJEKTU

Pro dynamickou simulační analýzu je provoz objektu nastaven podle předpokládaného skutečného způsobu užívání. Všechny zóny objektu jsou rozděleny do pěti provozních schémat, které se liší především obsazeností a požadovanými parametry vnitřního prostředí. Provoz objektu je nastaven na 365 dní v roce.

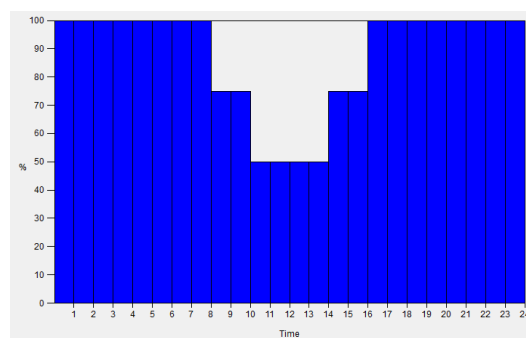
6.1.3.1 Obytné místnosti

Do provozního schématu obytných místností jsou zahrnuty relaxační místnost v 1.PP, ložnice a obývací pokoj s kuchyňským koutem v 1.NP i 2.NP.

V obytných místnostech je uvažována maximální obsazenost 12 osobami (5 osob v 1.NP a 7 osob ve 2.NP). Obsazenost objektu je ve všední dny předpokládána od 0:00 do 8:00 a od 16:00 do 24:00 hodin 100 %, od 8:00 do 10:00 a od 14:00 do 16:00 hodin 50 % a mezi 10:00 a 14:00 hodinou 0 %. Během víkendu je uvažovaná obsazenost vyšší, od 0:00 do 8:00 a od 16:00 do 24:00 hodin 100 %, od 8:00 do 10:00 a od 14:00 do 16:00 hodin 75 % a mezi 10:00 a 14:00 hodinou 50 %. U všech osob se předpokládá uvolňování metabolického tepla 126 W na osobu, což je hodnota odpovídající uvolněnému stání a metabolický faktor zohledňující pohlaví, věk a velikost těla uživatelů je určen na 0,9.



Obrázek 11: Obsazenost ve všední dny



Obrázek 12: Obsazenost o víkendu

V zónách nejsou uvažovány žádné trvalé vnitřní zisky, ani tepelné zisky od počítačů, vybavení, vaření a dalších. Do provozu jsou však zahrnuty vnitřní zisky od osvětlení, jehož chod je nastaven od 6:00 do 22:00 hodin a požadovaná intenzita osvětlení je 100 lux. V objektu jsou navrženy podstropní světelné zdroje, jejichž viditelná složka záření tvoří 18 % celkového výkonu. Ovládání osvětlení je nastaveno na režim zapnuto/vypnuto podle požadované intenzity osvětlení na pracovní ploše ve výšce 0,8 m nad zemí.

Parametry vnitřního prostředí jsou v provozním schématu obytných místností nastaveny následovně. Provoz vytápění je uvažován denně od 5:00 do 23:00 hodin při přerušovaném vytápění a od 0:00 do 24:00 hodin při stálém vytápění objektu po celý rok kromě měsíců června, července a srpna. V tomto období se zapíná systém vytápění pouze pokud teplota vnitřního vzduchu poklesne pod 20 °C, což je teplota, na kterou je systém vytápění nastaven. Provoz chlazení je nastaven od 9:00 do 20:00 hodin během měsíců června, července a srpna a při jeho provozu je požadovaná teplota vnitřního vzduchu 25 °C. Požadovaná teplota přiváděného vzduchu pro větrání je 20 °C a minimální objem čerstvého vzduchu je 25 m³/h na osobu, což odpovídá 7 l/s na osobu.

6.1.3.2 Chodby

Provozní schéma chodeb je vytvořeno pro místnosti zádveří a chodeb v celém objektu.

V této zóně není uvažováno s trvalým výskytem lidí, tedy ani tepelnými zisky od lidí. Do provozu jsou však zahrnuty vnitřní zisky od osvětlení, a to denně od 6:00 do 22:00 hodin. Intenzita osvětlení je nastavena na 75 lux a navržená svítidla a jejich spínání je shodné se zdroji osvětlení v obytných místnostech.

Jediným parametrem vnitřního prostředí sledovaným v těchto místnostech je teplota vnitřního vzduchu při vytápění. Provoz vytápění je shodný obytnými místnostmi, ale požadovaná teplota je nastavena na 18 °C.

6.1.3.3 Koupelny

Dalšími zónami s odlišným provozem jsou koupelny v 1.NP a 2.NP. V koupelnách není uvažováno s žádnými vnitřními zisky a řízena je pouze teplota vnitřního vzduchu při vytápění, jehož provoz je shodný s ostatními zónami a požadovaná teplota je 24 °C.

6.1.3.4 WC

Provoz WC v objektu se od koupelen liší pouze nastavenou teplotou při vytápění, a to na 20 °C.

6.1.3.5 Technické místnosti

Provozní schéma technických místností je užito pro zónu garáže, technické místnosti v 1.PP a skladu ve 2.NP. Tyto zóny mají až na požadovanou teplotu při vytápění stejný provoz jako je nastaven v koupelnách a na WC. Požadovaná teplota během otopného období objektu je 15 °C.

| Provozní schéma | | Obytné m. | Chodby | Koupelny | WC | Technické m. |
|-------------------------|------------|--|---|---|---|---|
| Obsluhované zóny | | 0.3 Relax. m. 1.4 Ložnice 1.5 Obývací p. 2.5 Ložnice 2.6 Obývací p. | 0.1 Chodba 1.1 Chodba 2.1 Chodba | 1.3 Koupelna 2.3 Koupelna | 0.4 WC 1.2 WC 2.2 WC | 0.2 Garáž 0.5 Technic. m. 2.4 Sklad |
| Obsazenost | Maximální | 12 osob | 0 osob | 0 osob | 0 osob | 0 osob |
| | Všední dny | 0:00-8:00 100% 8:00-10:00 50% 10:00-14:00 0% 14:00-16:00 50% 16:00-24:00 100% | - | - | - | - |
| | Víkendy | 0:00-8:00 100% 8:00-10:00 75% 10:00-14:00 50% 14:00-16:00 75% 16:00-24:00 100% | - | - | - | - |
| Osvětlení | Provoz | 6:00-22:00 | 6:00-22:00 | - | - | - |
| | Intenzita | 100 lux | 75 lux | - | - | - |
| Vytápění | Provoz | 5:00-23:00 od 1.1. do 31.5. od 1.9. do 31.12. | 5:00-23:00 od 1.1. do 31.5. od 1.9. do 31.12. | 5:00-23:00 od 1.1. do 31.5. od 1.9. do 31.12. | 5:00-23:00 od 1.1. do 31.5. od 1.9. do 31.12. | 5:00-23:00 od 1.1. do 31.5. od 1.9. do 31.12. |
| | | 0:00-24:00 od 1.1. do 31.5. od 1.9. do 31.12. | 0:00-24:00 od 1.1. do 31.5. od 1.9. do 31.12. | 0:00-24:00 od 1.1. do 31.5. od 1.9. do 31.12. | 0:00-24:00 od 1.1. do 31.5. od 1.9. do 31.12. | 0:00-24:00 od 1.1. do 31.5. od 1.9. do 31.12. |
| | Teplota | 20 °C | 18 °C | 24 °C | 20 °C | 15 °C |
| Chlazení | Provoz | 9:00-20:00 od 1.6. do 31.8. | - | - | - | - |
| | Teplota | 25 °C | - | - | - | - |
| Mech. větrání | Provoz | dle obsazenosti | - | - | - | - |
| | Teplota | 20 °C | - | - | - | - |
| | Objem | 25 m ³ /h na osobu | - | - | - | - |
| Infiltrace | Provoz | 0:00-24:00 | 0:00-24:00 | 0:00-24:00 | 0:00-24:00 | 0:00-24:00 |
| | Intenzita | 0,3 h ⁻¹ | 0,3 h ⁻¹ | 0,3 h ⁻¹ | 0,3 h ⁻¹ | 0,3 h ⁻¹ |

Tabulka 1: Souhrnná tabulka provozních schémat

7 ANALÝZA MATERIÁLOVÉHO ŘEŠENÍ OBJEKTU

Analýza materiálového řešení slouží k posouzení objektu z hlediska spotřeby primární energie při použití různých konstrukčních materiálů. V této analýze bude zahrnuto chování různých materiálových variant objektu z hlediska tepelných ztrát, tepelných zisků a schopnosti tepelné stability objektu na základě dynamické simulace objektu v softwaru DesignBuilder.

Materiálová analýza objektu posuzuje tři standardní konstrukční systémy používané v České republice, a to:

- Varianta A – zděný objekt z keramických tvárnic s vnějším kontaktním zateplovacím systémem z polystyrenu
- Varianta B – lehkou rámovou dřevostavbu s difúzně otevřenou konstrukcí a vnitřním zateplením foukanou celulózovou izolací
- Varianta C – zděnou stavbu z pórobetonových tepelněizolačních tvárnic bez dodatečného zateplení.

Skladby konstrukcí jsou navrženy s ohledem na tepelně-vlhkostní chování konstrukcí a stavebně-konstrukční řešení objektu. Jednotlivé konstrukce všech zvažovaných variant splňují doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla a blíží se k hodnotám doporučeným pro pasivní budovy dle ČSN 73 0540-2.

Vzhledem k požadavkům stavebně-konstrukčního řešení objektu je konstrukční řešení 1.PP v jednotlivých variantách neměnné. Různé materiálové řešení objektu je tedy uvažováno pouze pro 1.NP a 2.NP.

7.1 SKLADBY KONSTRUKCÍ

Při zvažování různých materiálových variant objektu jsou měněny především obvodové a vnitřní konstrukce 1.NP a 2.NP objektu. Skladby konstrukcí 1.PP jsou pro všechny varianty shodné, v tomto podlaží je uvažováno jen s jiným materiálem rámu okenních výplní. Vstupní dveře do objektu a garážová vrata jsou uvažovány ve všech variantách stejné se součinitelem prostupu tepla $U = 0,953 \text{ W/m}^2\text{K}$.

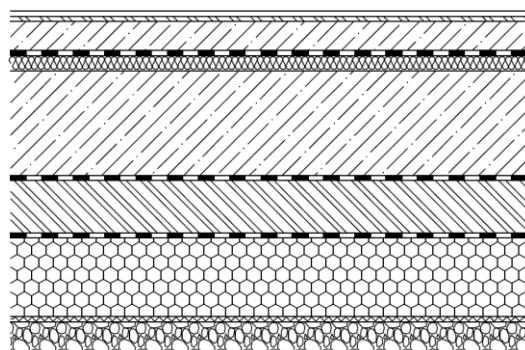
7.1.1 SKLADBY KONSTRUKCÍ - 1.PP

Skladby konstrukcí v 1.PP jsou shodné pro všechna materiálová řešení objektu z důvodu požadavků stavebně-konstrukčního řešení objektu – přenos zatížení do základové půdy a ochrana spodní stavby proti vodě a vlhkosti.

- PD 1 – Podlaha na zemině – obytná část
 - Součinitel prostupu tepla: $U = 0,213 \text{ W/m}^2\text{K}$

| FUNKCE | MATERIÁL | TLOUŠŤKA |
|------------------------|---------------------------|----------|
| | | d [mm] |
| nášlapná vrstva | kaučuk | 3 |
| samonivelační stěrka | cementová stěrka | 4 |
| roznášecí vrstva + síť | betonová mazanina | 55 |
| separační vrstva | PE fólie | - |
| kročeje izolace | minerální vlna | 30 |
| základová deska | železobeton | 200 |
| hydroizolace | penetrace + asfaltový pás | 5 |
| podkladní beton | beton prostý | 100 |
| separační vrstva | PE fólie | - |
| tepelná izolace | granulát z pěnového skla | 150 |
| separační vrstva | geotextilie | - |
| drenážní vrstva | štěrk 36-63 | min. 60 |
| rostlý terén | | |

Tabulka 2: Skladba podlahy na zemině – obytná část

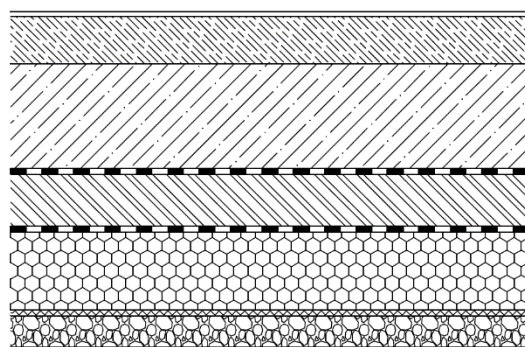


Obrázek 13: Schéma skladby podlahy na zemině – obytná část

- PD 2 – Podlaha na zemině – garáž
 - Součinitel prostupu tepla: $U = 0,251 \text{ W/m}^2\text{K}$

| FUNKCE | MATERIÁL | TLOUŠŤKA |
|------------------|-------------------------------|----------|
| | | d [mm] |
| krycí vrstva | nástřik akrylátové pryskyřice | - |
| nášlapná vrstva | drátkobeton | 90 |
| základová deska | železobeton | 200 |
| hydroizolace | penetrace + asfaltový pás | 5 |
| podkladní beton | beton prostý | 100 |
| separační vrstva | PE fólie | - |
| tepelná izolace | granulát z pěnového skla | 150 |
| separační vrstva | geotextilie | - |
| drenážní vrstva | štěrk 36-63 | min. 60 |
| rostlý terén | | |

Tabulka 3: Skladba podlahy na zemině – garáž



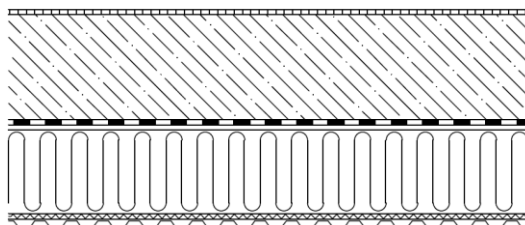
Obrázek 14: Schéma skladby podlahy na zemině – garáž

- **SS 1 – Suterénní stěna**

- Součinitel prostupu tepla: $U = 0,215 \text{ W/m}^2\text{K}$

| FUNKCE | MATERIÁL | TLOUŠŤKA |
|------------------|------------------------------|----------|
| | | d [mm] |
| vnitřní omítka | vápenocementová stěrka | 5 |
| nosná stěna | monolitický železobeton | 200 |
| hydroizolace | penetrace + asfaltový pás | 5 |
| lepící hmota | dvousložkové živičné lepidlo | 2 |
| tepelná izolace | extrudovaný polystyren | 160 |
| separační vrstva | geotextilie | - |
| ochranná vrstva | popová fólie | 20 |

Tabulka 4: Skladba suterénní stěny



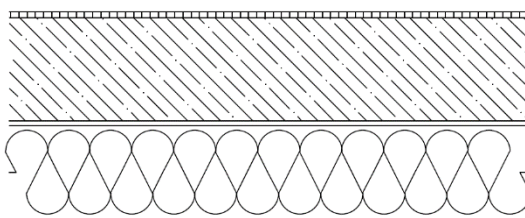
Obrázek 15: Schéma skladby suterénní stěny

- **OS 1 – Obvodová stěna**

- Součinitel prostupu tepla: $U = 0,194 \text{ W/m}^2\text{K}$

| FUNKCE | MATERIÁL | TLOUŠŤKA |
|-----------------------|------------------------------|----------|
| | | d [mm] |
| vnitřní omítka | vápenocementová stěrka | 5 |
| nosná stěna | monolitický železobeton | 200 |
| lepící hmota | dvousložkové živičné lepidlo | 2 |
| tepelná izolace | expandovaný polystyren | 180 |
| základní omítka + síť | cementová stěrka | 3 |
| fasádní omítka | silikonová stěrka | 2 |

Tabulka 5: Skladba obvodové stěny 1.PP



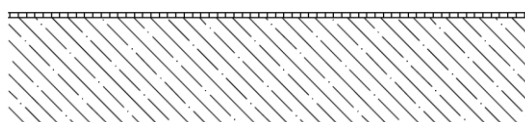
Obrázek 16: Schéma skladby obvodové stěny 1.PP

- **VS 1 – Vnitřní stěna**

- Součinitel prostupu tepla: $U = 2,597 \text{ W/m}^2\text{K}$

| FUNKCE | MATERIÁL | TLOUŠŤKA |
|-------------|-------------------------|----------|
| | | d [mm] |
| omítka | vápenocementová stěrka | 5 |
| nosná stěna | monolitický železobeton | 200 |
| omítka | vápenocementová stěrka | 5 |

Tabulka 6: Skladba vnitřní stěny 1.PP



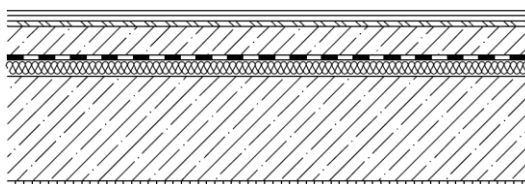
Obrázek 17: Schéma skladby vnitřní stěny 1.PP

- **SR 1 – Strop**

- Součinitel prostupu tepla: $U = 0,869 \text{ W/m}^2\text{K}$

| FUNKCE | MATERIÁL | TLOUŠŤKA |
|------------------------|------------------------|----------|
| | | d [mm] |
| nášlapná vrstva | vinylové dílce (PVC) | 3 |
| podložka | | 2 |
| samonivelační stěrka | cementová stěrka | 4 |
| roznášecí vrstva + síť | betonová mazanina | 55 |
| separační vrstva | PE fólie | - |
| kročežová izolace | minerální vlna | 30 |
| nosná konstrukce | železobeton | 200 |
| omítka | vápenocementová stěrka | 5 |

Tabulka 7: Skladba stropu nad 1.PP



Obrázek 18: Schéma skladby stropu nad 1.PP

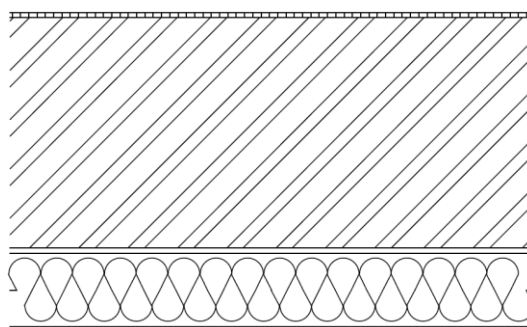
7.1.2 SKLADBY KONSTRUKCÍ – VARIANTA A

Konstrukční systém 1.NP a 2.NP varianty A je tvořen kompletním stavebním systémem z pálených dutinových keramických tvárnic. Obvodové konstrukce jsou zatepleny kontaktní zateplovacím systémem tepelnou izolací z pěnového polystyrenu.

- OS A – Obvodová stěna
 - Součinitel prostupu tepla: $U = 0,145 \text{ W/m}^2\text{K}$

| FUNKCE | MATERIÁL | TLOUŠŤKA |
|-----------------------|------------------------------|----------|
| | | d [mm] |
| vnitřní omítka | vápenocementová stěrka | 5 |
| obvodové zdivo | pálené keramické tvárnice | 440 |
| lepící hmota | dvousložkové živичné lepidlo | 2 |
| tepelná izolace | expandovaný polystyren | 140 |
| základní omítka + síť | cementová stěrka | 3 |
| fasádní omítka | silikonová stěrka | 2 |

Tabulka 8: Skladba obvodové stěny varianty A

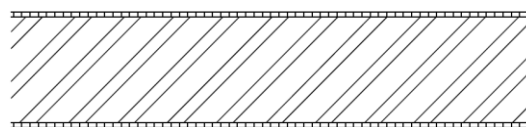


Obrázek 19: Schéma skladby obvodové stěny varianty A

- VS A1 – Vnitřní stěna – nosná
 - Součinitel prostupu tepla: $U = 0,624 \text{ W/m}^2\text{K}$

| FUNKCE | MATERIÁL | TLOUŠŤKA |
|---------------|---------------------------|----------|
| | | d [mm] |
| omítka | vápenocementová stěrka | 5 |
| vnitřní zdivo | pálené keramické tvárnice | 200 |
| omítka | vápenocementová stěrka | 5 |

Tabulka 9: Skladba vnitřní nosné stěny varianty A

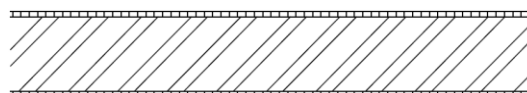


Obrázek 20: Schéma skladby vnitřní nosné stěny varianty A

- VS A2 – Vnitřní stěna – příčka
 - Součinitel prostupu tepla: $U = 0,831 \text{ W/m}^2\text{K}$

| FUNKCE | MATERIÁL | TLOUŠŤKA |
|---------------|---------------------------|----------|
| | | d [mm] |
| omítka | vápenocementová stěrka | 5 |
| vnitřní zdivo | pálené keramické tvárnice | 140 |
| omítka | vápenocementová stěrka | 5 |

Tabulka 10: Skladba příčky varianty A



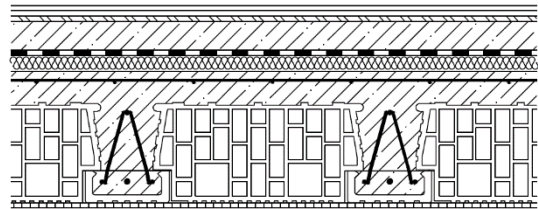
Obrázek 21: Schéma skladby příčky varianty A

- SR A – Strop

- Součinitel prostupu tepla: $U = 0,754 \text{ W/m}^2\text{K}$

| FUNKCE | MATERIÁL | TLOUŠŤKA |
|------------------------|------------------------|----------|
| | | d [mm] |
| nášlapná vrstva | vinylové dílce (PVC) | 3 |
| podložka | | 2 |
| samonivelační stěrka | cementová stěrka | 4 |
| roznášecí vrstva + síť | betonová mazanina | 55 |
| separační vrstva | PE fólie | - |
| kročejevá izolace | minerální vata | 30 |
| nosná konstrukce | strop MIAKO | 250 |
| omítka | vápenocementová stěrka | 5 |

Tabulka 11: Skladba stropu varianty A



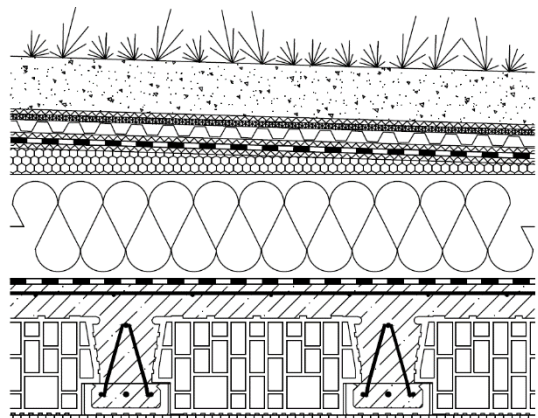
Obrázek 22: Schéma skladby stropu varianty A

- SCH A – Střecha

- Součinitel prostupu tepla: $U = 0,149 \text{ W/m}^2\text{K}$

| FUNKCE | MATERIÁL | TLOUŠŤKA |
|--------------------|---------------------------|----------|
| | | d [mm] |
| extenzivní zeleň | rozchodník, netřesk | 50-100 |
| substrát | extenzivní substrát | 100 |
| filtrační vrstva | PP geotextilie | - |
| drenážní vrstva | PE smyčková rohož | - |
| drenážní vrstva | nopová fólie | 25 |
| ochranná textilie | PP/PES textilie | 3 |
| hydroizolace | PVC-P fólie | 1,5 |
| separační vrstva | geotextilie | - |
| spádová vrstva 3 % | expandovaný polystyren | min. 20 |
| tepelná izolace | expandovaný polystyren | 200 |
| parozábrana | penetrace + asfaltový pás | 5 |
| nosná konstrukce | strop MIAKO | 250 |
| omítka | vápenocementová stěrka | 5 |

Tabulka 12: Skladba střechy varianty A



Obrázek 23: Schéma skladby střechy varianty A

- OK A – Okna

- Plastová okna s izolačním trojsklem – tloušťka skla 3 mm, prostor mezi skly tloušťky 13 mm vyplněný argonem
 - Součinitel prostupu tepla zasklení: $U_g = 0,780 \text{ W/m}^2\text{K}$
 - Součinitel prostupu tepla rámu: $U_f = 0,980 \text{ W/m}^2\text{K}$

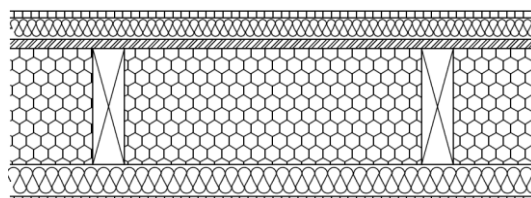
7.1.3 SKLADBY KONSTRUKCÍ – VARIANTA B

Konstrukční systém nadzemních podlaží druhé zvažované materiálové varianty objektu tvoří lehká rámová dřevostavba izolovaná foukanou celulózou. Osová vzdálenost nosných prvků je 625 mm. Vodorovné konstrukce jsou tvořeny trámovými stropy a plochá střecha je zateplena minerální izolací. Plastové okenní rámy z předchozí varianty jsou nahrazeny dřevěnými.

- OS B – Obvodová stěna
 - Součinitel prostupu tepla: $U = 0,139 \text{ W/m}^2\text{K}$

| FUNKCE | MATERIÁL | TLOUŠŤKA d [mm] |
|----------------------|-----------------------------|--------------------|
| povrchová deska | sádrokarton | 12,5 |
| instalační předstěna | latě 40x60 + minerální vata | 40 |
| konstrukční deska | OSB 4 PD | 18 |
| nosná konstrukce | sloupky 240x60 + climatizer | 240 |
| fasádní deska | dřevovláknitá deska | 60 |
| fasádní omítka | silikonová stěrka | 5 |

Tabulka 13: Skladba obvodové stěny varianty B

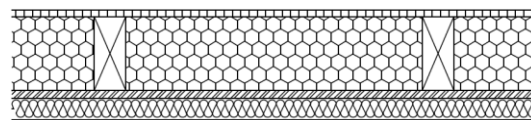


Obrázek 24: Schéma skladby obvodové stěny varianty B

- VS B1 – Vnitřní stěna – nosná
 - Součinitel prostupu tepla: $U = 0,237 \text{ W/m}^2\text{K}$

| FUNKCE | MATERIÁL | TLOUŠŤKA d [mm] |
|----------------------|-----------------------------|--------------------|
| povrchová deska | sádrokarton | 12,5 |
| nosná konstrukce | sloupky 140x60 + climatizer | 140 |
| konstrukční deska | OSB 4 PD | 15 |
| instalační předstěna | latě 40x60 + minerální vata | 40 |
| povrchová deska | sádrokarton | 12,5 |

Tabulka 14: Skladba vnitřní nosné stěny varianty B

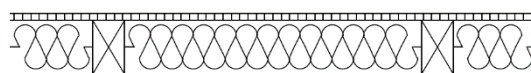


Obrázek 25: Schéma skladby vnitřní nosné stěny varianty B

- VS B2 – Vnitřní stěna – příčka
 - Součinitel prostupu tepla: $U = 0,401 \text{ W/m}^2\text{K}$

| FUNKCE | MATERIÁL | TLOUŠŤKA d [mm] |
|------------------|----------------------------|--------------------|
| povrchová deska | sádrokarton | 12,5 |
| nosná konstrukce | sloupky 100x60 + min. vata | 100 |
| povrchová deska | sádrokarton | 12,5 |

Tabulka 15: Skladba příčky varianty B



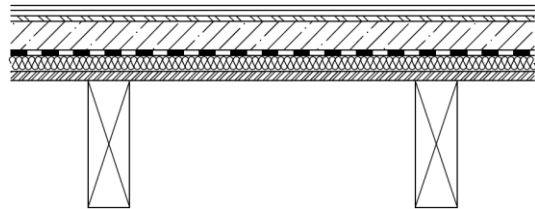
Obrázek 26: Schéma skladby příčky varianty B

- SR B – Strop

- Součinitel prostupu tepla: $U = 0,143 \text{ W/m}^2\text{K}$

| FUNKCE | MATERIÁL | TLOUŠŤKA |
|------------------------|----------------------|----------|
| | | d [mm] |
| nášlapná vrstva | vinylové dílce (PVC) | 3 |
| podložka | | 2 |
| samonivelační stěrka | cementová stěrka | 4 |
| roznášecí vrstva + síť | betonová mazanina | 55 |
| separační vrstva | PE fólie | - |
| kročejevá izolace | minerální vata | 30 |
| záklop | OSB 4 PD | 18 |
| nosná konstrukce | trámy 240x80 | 240 |

Tabulka 16: Skladba stropu varianty B



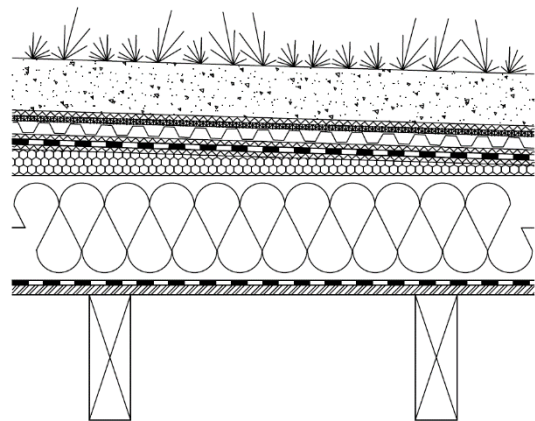
Obrázek 27: Schéma skladby stropu varianty B

- SCH B – Střecha

- Součinitel prostupu tepla: $U = 0,081 \text{ W/m}^2\text{K}$

| FUNKCE | MATERIÁL | TLOUŠŤKA |
|--------------------|---------------------------|----------|
| | | d [mm] |
| extenzivní zeleň | rozchodník, netřesk | 50-100 |
| substrát | extenzivní substrát | 100 |
| filtrační vrstva | PP geotextilie | - |
| drenážní vrstva | PE smyčková rohož | - |
| drenážní vrstva | popová fólie | 25 |
| ochranná textilie | PP/PES textilie | 3 |
| hydroizolace | PVC-P fólie | 1,5 |
| separační vrstva | geotextilie | - |
| spádová vrstva 3 % | minerální vata | min. 20 |
| tepelná izolace | minerální vata | 200 |
| parozábrana | penetrace + asfaltový pás | 5 |
| záklop | OSB 4 PD | 18 |
| nosná konstrukce | trámy 240x80 | 240 |

Tabulka 17: Skladba střechy varianty B



Obrázek 28: Schéma skladby střechy varianty B

- OK A – Okna

- Dřevěná okna s izolačním trojsklem – tloušťka skla 3 mm, prostor mezi skly tloušťky 13 mm vyplněný argonem
 - Součinitel prostupu tepla zasklení: $U_g = 0,780 \text{ W/m}^2\text{K}$
 - Součinitel prostupu tepla rámu: $U_f = 1,578 \text{ W/m}^2\text{K}$

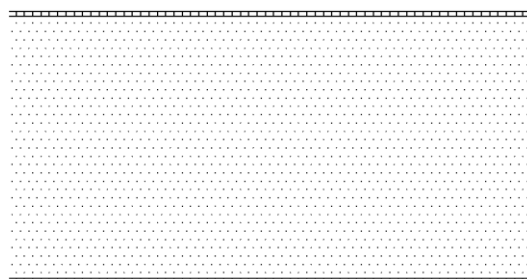
7.1.4 SKLADBY KONSTRUKCÍ – VARIANTA C

Třetí zvažovanou materiálovou variantou objektu je konstrukční systém tvořený kompletním stavebním systémem z pórobetonu bez dodatečného zateplení obvodových stěn. Plochá střecha je izolována expandovaným polystyrenem. Rámy oken jsou uvažovány hliníkové s tepelnou izolací.

- OS C – Obvodová stěna
 - Součinitel prostupu tepla: $U = 0,159 \text{ W/m}^2\text{K}$

| FUNKCE | MATERIÁL | TLOUŠŤKA d [mm] |
|-----------------------|---------------------------|--------------------|
| vnitřní omítka + síť | minerální tepelněizolační | 8 |
| tepelněizolační zdivo | pórobetonové tvárnice | 500 |
| fasádní omítka + síť | minerální tepelněizolační | 6 |

Tabulka 18: Skladba obvodové stěny varianty C

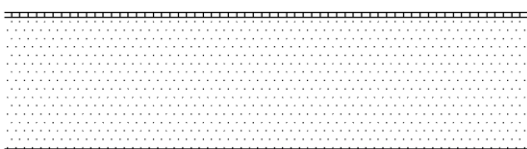


Obrázek 29: Schéma skladby obvodové stěny varianty C

- VS C1 – Vnitřní stěna – nosná
 - Součinitel prostupu tepla: $U = 0,619 \text{ W/m}^2\text{K}$

| FUNKCE | MATERIÁL | TLOUŠŤKA d [mm] |
|----------------------|------------------------|--------------------|
| vnitřní omítka + síť | vápenocementová stěrka | 5 |
| vnitřní zdivo | pórobetonové tvárnice | 250 |
| vnitřní omítka + síť | vápenocementová stěrka | 5 |

Tabulka 19: Skladba vnitřní nosné stěny varianty C

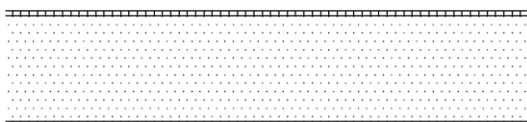


Obrázek 30: Schéma skladby vnitřní nosné stěny varianty C

- VS C2 – Vnitřní stěna – příčka
 - Součinitel prostupu tepla: $U = 0,536 \text{ W/m}^2\text{K}$

| FUNKCE | MATERIÁL | TLOUŠŤKA d [mm] |
|----------------------|------------------------|--------------------|
| vnitřní omítka + síť | vápenocementová stěrka | 5 |
| vnitřní zdivo | pórobetonové tvárnice | 200 |
| vnitřní omítka + síť | vápenocementová stěrka | 5 |

Tabulka 20: Skladba příčky varianty C



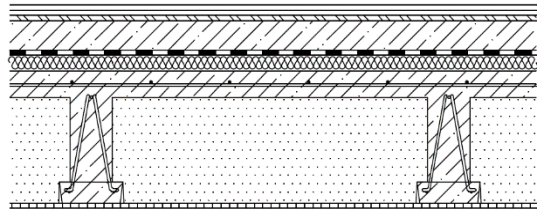
Obrázek 31: Schéma skladby příčky varianty C

- SR C – Strop

- Součinitel prostupu tepla: $U = 0,515 \text{ W/m}^2\text{K}$

| FUNKCE | MATERIÁL | TLOUŠŤKA |
|------------------------|-----------------------------|----------|
| | | d [mm] |
| nášlapná vrstva | vinylové dílce (PVC) | 3 |
| podložka | | 2 |
| samonivelační stěrka | cementová stěrka | 4 |
| roznášecí vrstva + síť | betonová mazanina | 55 |
| separační vrstva | PE fólie | - |
| kročejová izolace | minerální vata | 30 |
| nosná konstrukce | vložkový s. s nadbetonávkou | 250 |
| omítka | vápenocementová stěrka | 5 |

Tabulka 21: Skladba stropu varianty C



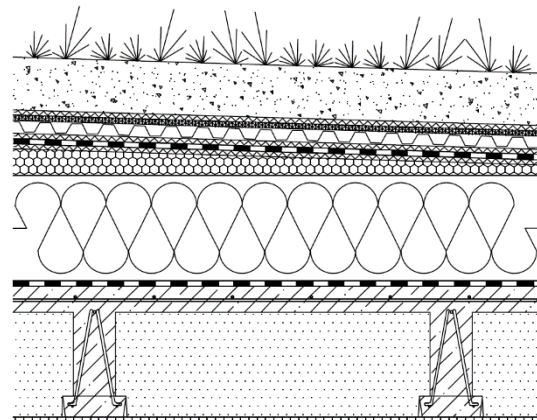
Obrázek 32: Schéma skladby stropu varianty C

- SCH C – Střecha

- Součinitel prostupu tepla: $U = 0,135 \text{ W/m}^2\text{K}$

| FUNKCE | MATERIÁL | TLOUŠŤKA |
|--------------------|-----------------------------|----------|
| | | d [mm] |
| extenzivní zeleň | rozchodník, netřesk | 50-100 |
| substrát | extenzivní substrát | 100 |
| filtrační vrstva | PP geotextilie | - |
| drenážní vrstva | PE smyčková rohož | - |
| drenážní vrstva | nopová fólie | 25 |
| ochranná textilie | PP/PES textilie | 3 |
| hydroizolace | PVC-P fólie | 1,5 |
| separační vrstva | geotextilie | - |
| spádová vrstva 3 % | expandovaný polystyren | min. 20 |
| tepelná izolace | expandovaný polystyren | 200 |
| parozábrana | penetrace + asfaltový pás | 5 |
| nosná konstrukce | vložkový s. s nadbetonávkou | 250 |
| omítka | vápenocementová stěrka | 5 |

Tabulka 22: Skladba střechy varianty C



Obrázek 33: Schéma skladby střechy varianty C

- OK C – Okna

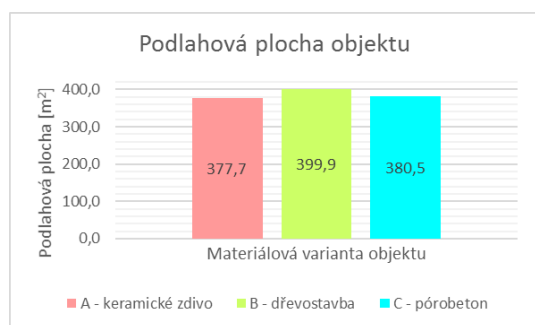
- Hliníková okna s izolačním trojsklem – tloušťka skla 3 mm, prostor mezi skly tloušťky 13 mm vyplněný argonem
 - Součinitel prostupu tepla zasklení: $U_g = 0,780 \text{ W/m}^2\text{K}$
 - Součinitel prostupu tepla rámu: $U_f = 1,625 \text{ W/m}^2\text{K}$

7.2 ANALÝZA TEPELNÉHO CHOVÁNÍ OBJEKTU

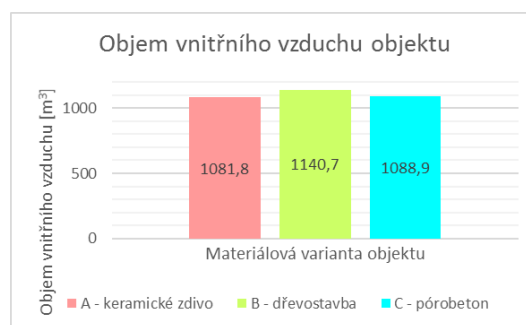
Následující analýza vychází z výsledků dynamické simulace objektu v softwaru DesignBuilder a je zaměřena na chování posuzovaného objektu z různých konstrukčních materiálů z hlediska tepelných ztrát, tepelných zisků a schopnosti tepelné stability.

7.2.1 TEPELNÁ ZTRÁTA OBJEKTU, POTŘEBA TEPLA NA VYTÁPĚNÍ, POTŘEBA CHLADU NA CHLAZENÍ

Při posuzování objektu z hlediska tepelného chování jednotlivých materiálových variant objektu jsou hlavními proměnnými parametry tepelně-technické vlastnosti konstrukcí a konstrukčních materiálů, a to především součinitel tepelné vodivosti, měrná tepelná kapacita a měrná hmotnost. V důsledku jiných celkových tloušťek konstrukcí a stejného vnějšího objemu objektu se mírně liší podlahová plocha a objem vnitřního vzduchu jednotlivých variant.



Graf 2: Porovnání podlahových ploch



Graf 1: Porovnání objemů vnitřního vzduchu

Z výše uvedených grafů srovnávajících podlahovou plochu a objem vnitřního vzduchu jednotlivých variant objektu je zřejmé, že nejméně vnitřního objemu zaujmají navržené konstrukce dřevostavby, zatímco podlahová plocha a vnitřní objem zděných variant budovy jsou menší. Větší objem vnitřního vzduchu, který je třeba upravit na požadované parametry systémem vytápění, by měl vést k vyšší potřebě tepla v případě dřevostavby, nicméně tepelnou bilanci objektu v tomto případě ovlivňují zásadněji tepelně-technické vlastnosti konstrukcí objektu.

Hlavní roli při porovnávání tepelné ztráty objektu a potřeby tepla na vytápění hraje součinitel prostupu tepla obalových konstrukcí. V následující tabulce jsou shrnuty použité konstrukce obálky budovy spolu s doporučenými hodnotami součinitelů prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2 a vypočtenými součiniteli prostupu tepla navržených konstrukcí, které používá software při dynamické simulaci. Pro snazší porovnání

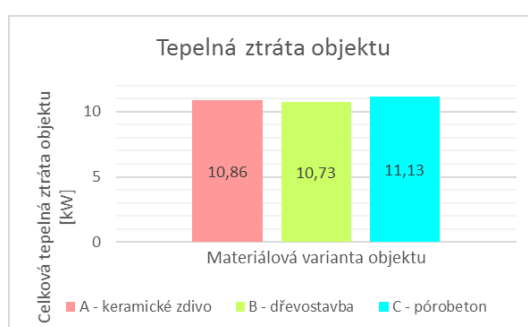
jsou na základě váženého průměru přes plochy konstrukcí uvedeny průměrné hodnoty součinitele prostupu tepla pro celý objekt.

| Konstrukce | Plocha konstrukce A [m ²] | Hodnoty součinitelů prostupu tepla U [W/(m ² K)] | | | |
|--|---------------------------------------|---|------------------------|------------------------|------------------------|
| | | Doporučené hodnoty dle ČSN 73 0540-2 | Materiálová varianta A | Materiálová varianta B | Materiálová varianta C |
| PD 1 - podlaha na zemině - obytná část | 79,65 | 0,30 | 0,213 | 0,213 | 0,213 |
| PD 2 - podlaha na zemině - garáž | 82,35 | 0,30 | 0,251 | 0,251 | 0,251 |
| SS 1 - suterénní stěna | 108,00 | 0,30 | 0,215 | 0,215 | 0,215 |
| OS 1 - obvodová stěna | 33,08 | 0,25; 0,20 | 0,194 | 0,194 | 0,194 |
| OS - obvodová stěna | 279,84 | 0,25; 0,20 | 0,145 | 0,139 | 0,159 |
| SCH - střecha | 162,00 | 0,16 | 0,149 | 0,081 | 0,135 |
| OK - okno | 53,10 | 1,20 | 0,833 | 0,989 | 1,002 |
| D - dveře | 14,90 | 1,20 | 0,935 | 0,935 | 0,935 |
| Průměrná hodnota součinitele prostupu tepla U _{em} [W/(m ² K)] | | | 0,234 | 0,229 | 0,247 |

Tabulka 23: Souhrnná tabulka součinitelů prostupu tepla obalových konstrukcí

Na základě porovnání hodnot průměrných součinitelů prostupu tepla obálkou budovy dosahuje nejlepších vlastností z hlediska tepelné izolace objektu, a tak snížení tepelných ztrát, dřevostavba. Následuje varianta zděného objektu z keramických tvárnic zatepleného expandovaným polystyrenem z exteriéru. Nejvyšší hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla, a tak nejhorších vlastností z hlediska tepelné izolace, vykazuje objekt zděný z pórobetonových tvárnic bez dodatečného zateplení. Na základě hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla obálkou budovy by měla být tepelná ztráta objektu a potřeba tepla na vytápění nejnižší u dřevostavby a nejvyšší u objektu z pórobetonových tepelně izolačních tvárnic.

Tepelně-izolační vlastnosti obalových konstrukcí jednotlivých materiálových variant objektu dokládá následující graf, který porovnává tepelnou ztrátu objektu jednotlivých variant.

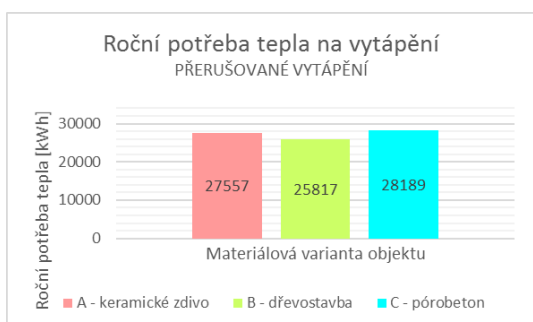


Graf 3: Porovnání tepelné ztráty objektu

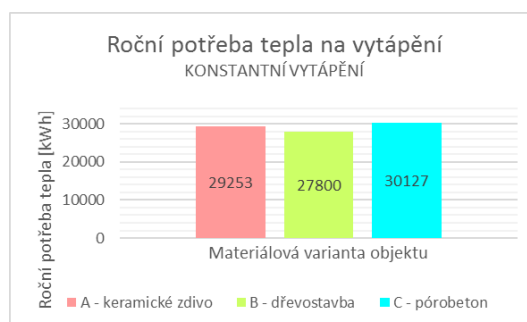
Tepelná ztráta objektu vyjadřuje okamžitou hodnotu tepelného toku, který uniká z interiéru objektu do vnějšího prostředí prostupem tepla přes obálku budovy, sáláním skrz průsvitné konstrukce a větráním. Na základě porovnání tepelné ztráty objektu lze potvrdit nejlepší tepelně-izolační vlastnosti obalových konstrukcí dřevostavby a nejhorší objektu z pórobetonu.

Potřeba tepla na vytápění a chlazení vyjadřuje množství energie, které je třeba dodat koncovým prvkům systému vytápění nebo chlazení, aby byla zajištěna požadovaná teplota vnitřního vzduchu.

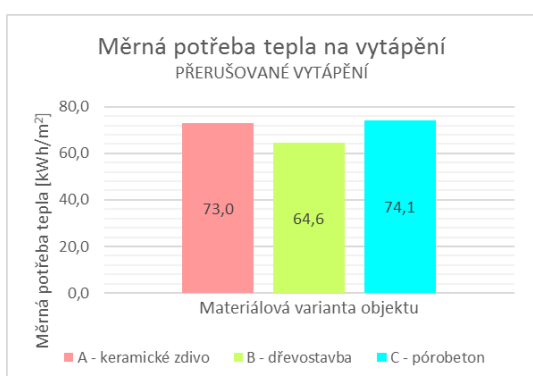
Roční potřeba tepla na vytápění je posuzována pro dva provozní stavy, prvním je provoz vytápění objektu s šestihodinovou noční přestávkou mezi 23:00 a 5:00 hodinami, v druhém provozním stavu je teplota vnitřního vzduchu po celou dobu otopného období udržována na konstantní hodnotě.



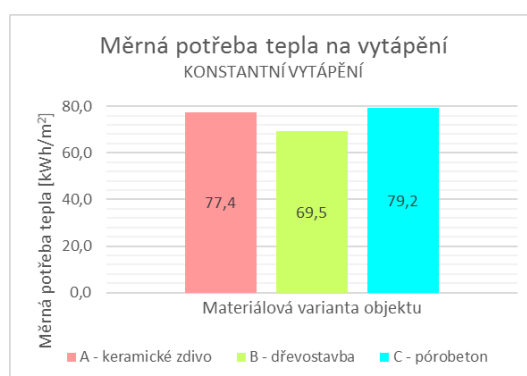
Graf 4: Porovnání roční potřeby tepla při přerušovaném vytápění



Graf 5: Porovnání roční potřeby tepla při konstantním vytápění



Graf 6: Porovnání měrné potřeby tepla při přerušovaném vytápění



Graf 7: Porovnání měrné potřeby tepla při konstantním vytápění

Roční potřeba tepla na vytápění se u jednotlivých materiálových variant objektu pohybuje od 25,8 MWh u dřevostavby do 28,2 MWh u objektu z pórobetonu při přerušovaném vytápění, při konstantním vytápění jsou potřeby tepla zhruba

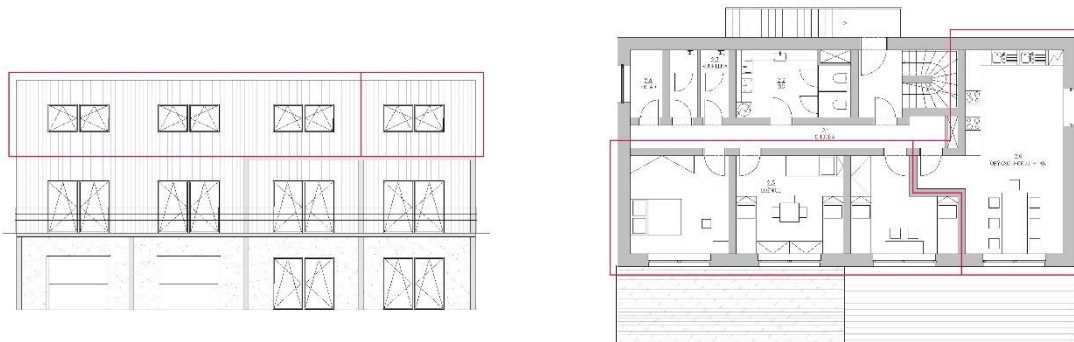
o 1,7 MWh až 2 MWh za rok vyšší. Měrná potřeba tepla na vytápění odpovídá parametrům kvalitnější novostavby, nedosahuje však hranice 50 kWh/m² charakteristické pro nízkoenergetické domy. Z výše uvedených grafů shrnujících potřebu tepla na vytápění pro různé konstrukční varianty je patrné, že díky nejlepším tepelně-izolačním vlastnostem obvodových konstrukcí i přes jejich nejmenší šířku, a tak největší vnitřní objem objektu, je dřevostavba ze zvažovaných variant energeticky nejúspěšnější z hlediska potřeb tepla na vytápění, a také že při konstantním vytápění je potřeba tepla ve všech případech vyšší než při přerušovaném provozu.

Z roční dynamické simulace jednotlivých variant objektu vyplývá, že objekt není potřeba chladit. Systém chlazení je nastaven tak, aby udržoval teplotu vnitřního vzduchu v obytných místnostech objektu během letních měsíců června, července a srpna na maximální hodnotě 25 °C. Vzhledem k použitým klimatickým datům ze Sněžky průměrná hodinová teplota vnitřního vzduchu v žádné zóně nedosahuje této hodnoty. Potřeba chladu je během roční simulace nulová v objektu kterékoliv navrhované materiálové varianty.

7.2.2 LETNÍ TEPELNÁ STABILITA

Letní tepelná stabilita je posuzována pro dvě kritické zóny objektu z hlediska přehřívání v letním období, a to pro obývací pokoj s kuchyňským koutem a pro zónu ložnic ve 2.NP. V těchto zónách dosahuje teplota vnitřního vzduchu v létě nejvyšších hodnot, a to především proto, že se jedná o zóny pod střechou s hlavní fasádou orientovanou na jih a bez stínění.

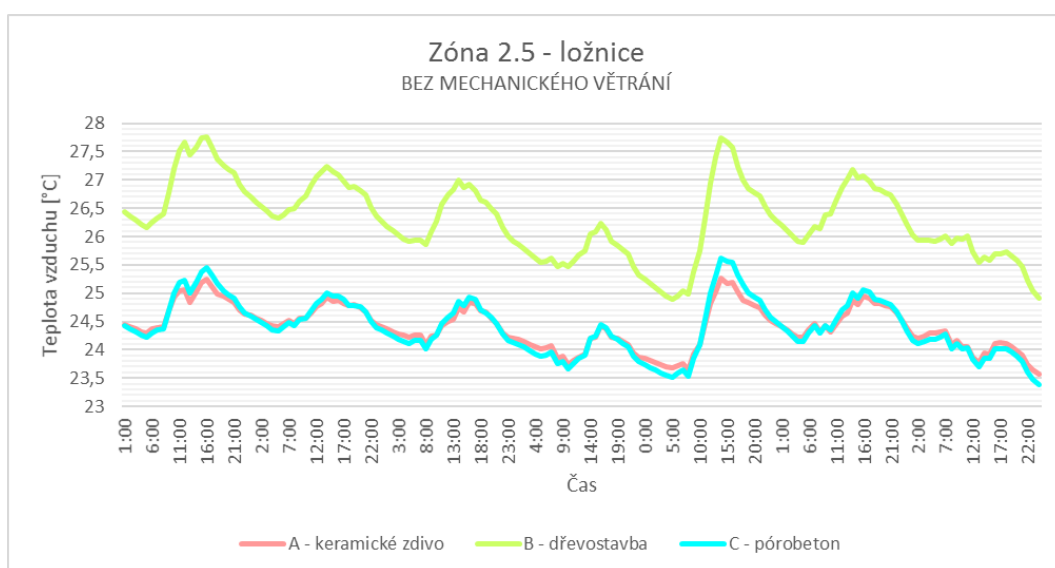
Průběh teploty vnitřního vzduchu, střední radiační teploty definující rovnoměrnou teplotu okolních sálajících ploch a operativní teploty, která zahrnuje kromě teploty vzduchu a střední radiační teploty i rychlost proudění vzduchu, jsou ve všech simulacích objektu téměř identické, proto je v následujícím posouzení tepelné stability porovnávána pouze teplota vnitřního vzduchu.



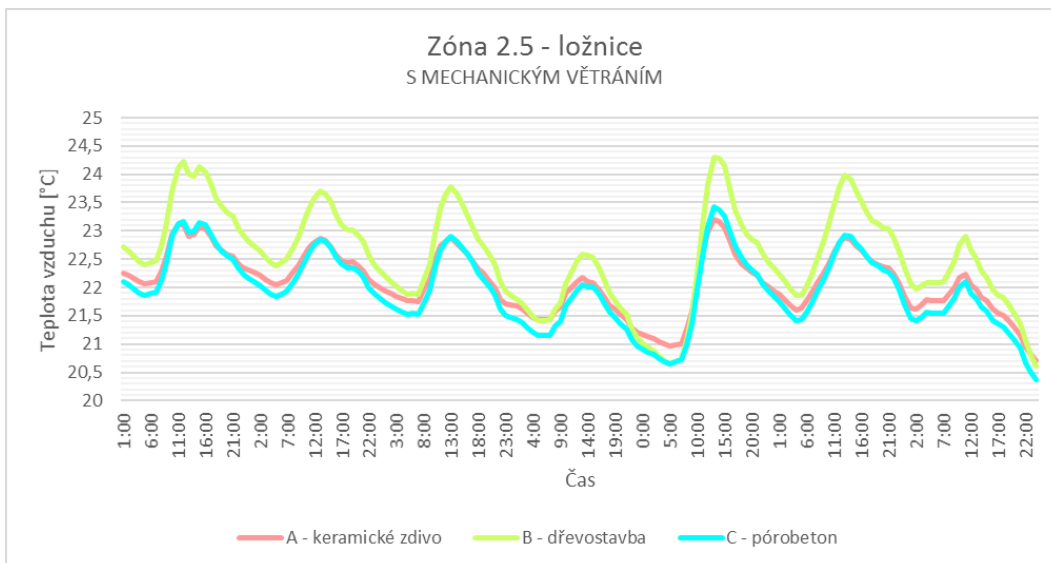
Obrázek 34: Vyznačení kritických zón letní tepelné stability v pohledu a půdorysu 2.NP

Letní tepelná stabilita je posuzována z dynamické simulace letního návrhového týdne. Výsledky této simulace jsou generovány v hodinovém intervalu a výpočet uvažuje s vnitřními tepelnými zisky od osvětlení a od lidí, vnějšími tepelnými zisky ze slunečního záření a ztrátami infiltrací, prostupem a případně i přiváděným venkovním vzduchem pomocí mechanického větrání dle uvažovaného provozu.

Letní tepelná stabilita je hodnocena z průběhu teploty vnitřního vzduchu. Na následujících grafech je zobrazen hodinový průběh teploty vnitřního vzduchu v kritických zónách během návrhového letního týdne pro jednotlivé materiálové varianty objektu. První z grafů pro danou zónu nezahrnuje účinek mechanického větrání, proto je průběh teploty vnitřního vzduchu řádově vyšší než na grafu následujícím.



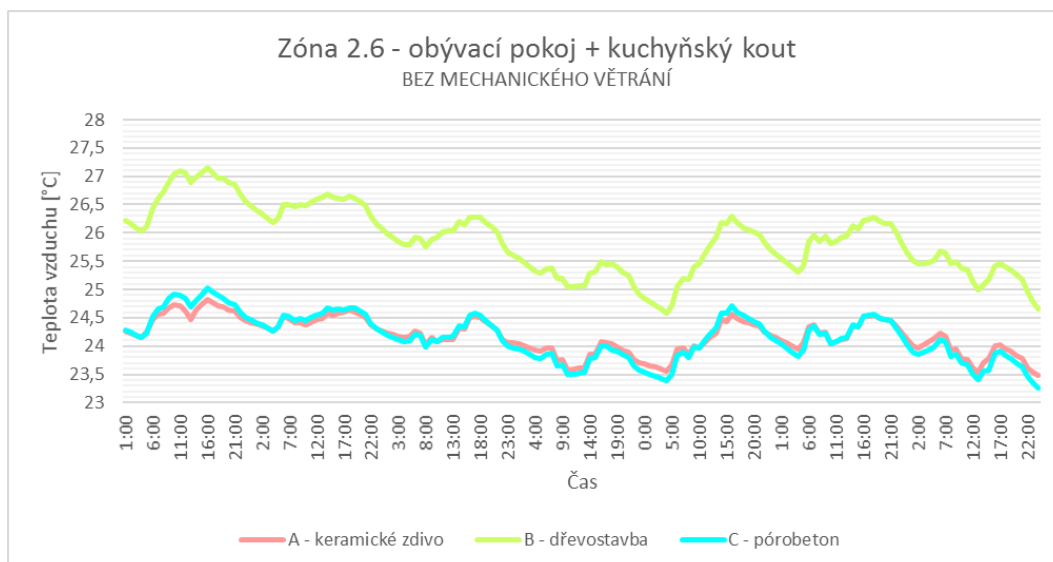
Graf 8: Průběh teploty vnitřního vzduchu v zóně ložnice 2.NP během návrhového letního týdne nezahnující účinky větrání venkovním vzduchem



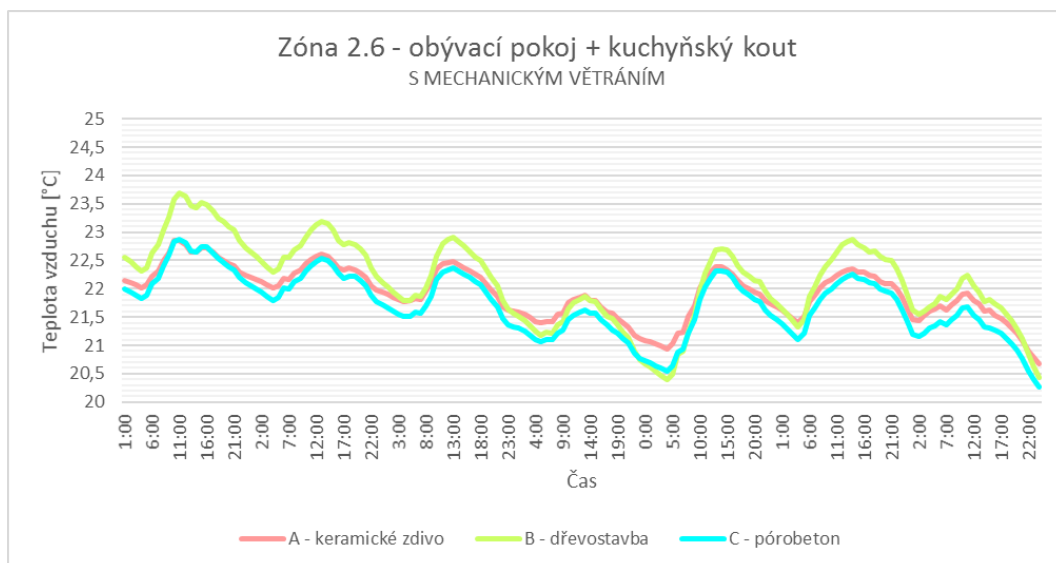
Graf 9: Průběh teploty vnitřního vzduchu v zóně ložnice ve 2.NP během letního návrhového týdne zahrnující účinky mechanického větrání venkovním vzduchem

| Zóna 2.5 - ložnice | Jednotka | Provoz | Materiálová varianta A | Materiálová varianta B | Materiálová varianta C |
|---|----------|-------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Nejvyšší dosažená teplota vnitřního vzduchu | [°C] | bez větrání | 25,27 | 27,77 | 25,61 |
| | | s větráním | 23,20 | 24,30 | 23,43 |
| Průměrná týdenní teplota vnitřního vzduchu | [°C] | bez větrání | 24,41 | 26,30 | 24,40 |
| | | s větráním | 22,09 | 22,53 | 21,96 |
| Největší rozdíl teplot během 5. dne | [°C] | bez větrání | 1,59 | 2,86 | 2,09 |
| | | s větráním | 2,23 | 3,66 | 2,78 |

Tabulka 24: Souhrnná tabulka základních hodnot sledovaných parametrů v zóně ložnice ve 2.NP pro posouzení letní tepelné stability



Graf 10: Průběh teploty vnitřního vzduchu v zóně obývacího pokoje a kuchyňského koutu ve 2.NP během návrhového letního týdne nezahrnující účinky větrání venkovním vzduchem



Graf 11: Průběh teploty vnitřního vzduchu v zóně obývacího pokoje a kuchyňského koutu ve 2.NP během letního návrhového týdne zahrnující účinky mech. větrání venkovním vzduchem

| Zóna 2.6 - obývací pokoj + kuchyňský kout | Jednotka | Provoz | Materiálová varianta A | Materiálová varianta B | Materiálová varianta C |
|---|----------|-------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Nejvyšší dosažená teplota vnitřního vzduchu | [°C] | bez větrání | 24,83 | 27,14 | 25,02 |
| | | s větráním | 22,85 | 23,68 | 22,88 |
| Průměrná týdenní teplota vnitřního vzduchu | [°C] | bez větrání | 24,19 | 25,88 | 24,17 |
| | | s větráním | 21,93 | 22,13 | 21,73 |
| Největší rozdíl teplot během 5. dne | [°C] | bez větrání | 1,00 | 1,70 | 1,32 |
| | | s větráním | 1,45 | 2,32 | 1,78 |

Tabulka 25: Souhrnná tabulka základních hodnot sledovaných parametrů v zóně obývacího pokoje a kuchyňského koutu ve 2.NP pro posouzení letní tepelné stability

Z průběhu teploty vnitřního vzduchu v obou kritických místnostech s větráním i bez něj během návrhové letního týdne lze sledovat nárůst teploty vnitřního vzduchu během dne a její pokles během noci. Při uvažování mechanického větrání je průměrná teplota během celého týdne řádově nižší, což je způsobeno přívodem venkovního chladnějšího vzduchu do interiéru. V případě větrání nastávají v interiéru i větší rozdíly teploty v interiéru mezi dnem a nocí.

Při srovnání průběhů teploty vnitřního vzduchu jednotlivých materiálových variant objektu je zřejmé, že při zanedbání větrání dochází ve dřevostavbě k přehřívání interiéru, při kterém dosahuje nejvyšší teplota vnitřního vzduchu 27,8 °C v zóně ložnice a 27,1 °C v obývacím pokoji, což je o 2 °C více než při stejných podmínkách v objektu z keramických tvárnic či pórobetonu. Průměrná teplota během celého týdne je za těchto podmínek 26,3 °C v ložnici resp. 25,9 °C v obývacím pokoji v případě dřevostavby, ve srovnání se zděnými objekty se jedná o teplotu o necelé 2 °C vyšší. Lze si však všimnout, že při větrání venkovním vzduchem se průběh teploty vnitřního vzduchu všech materiálových variant objektu vyrovnává, i když denní maxima má dřevostavba stále nejvyšší. Rozdíl v maximálních dosažených teplotách vnitřního vzduchu je mezi dřevostavbou a zděnými variantami objektu pouze zhruba 1 °C a průměrná teplota během celého týdne se liší zhruba o 0,7 °C. Z ploššího průběhu teploty vzduchu během celého týdne ve zděných objektech lze soudit, že disponují lepší schopností tepelné stability objektu oproti dřevostavbě.

Z hlediska letní tepelné stability dosahuje nejhorších výsledků dřevostavba, ve které interiér dosahuje nejvyšších teplot vnitřního vzduchu během dne a největších rozdílů teploty interiéru mezi dnem a nocí. Nicméně vzhledem k poloze objektu na úpatí Jizerských hor nedochází ani během návrhového letního týdne při navrženém mechanickém větrání venkovním vzduchem o objemovém průtoku 25 m³/h na osobu k přehřívání, kritická místnost dosahuje maximální teploty 24,3 °C v případě dřevostavby. Rozdíl v chování objektu z keramických tvárnic či pórobetonu z hlediska letní tepelné stability je zanedbatelný, lze si však všimnout větší schopnosti tepelné stability objektu z keramických tvárnic, při větrání dochází v noci k menšímu poklesu teploty vnitřního vzduchu.

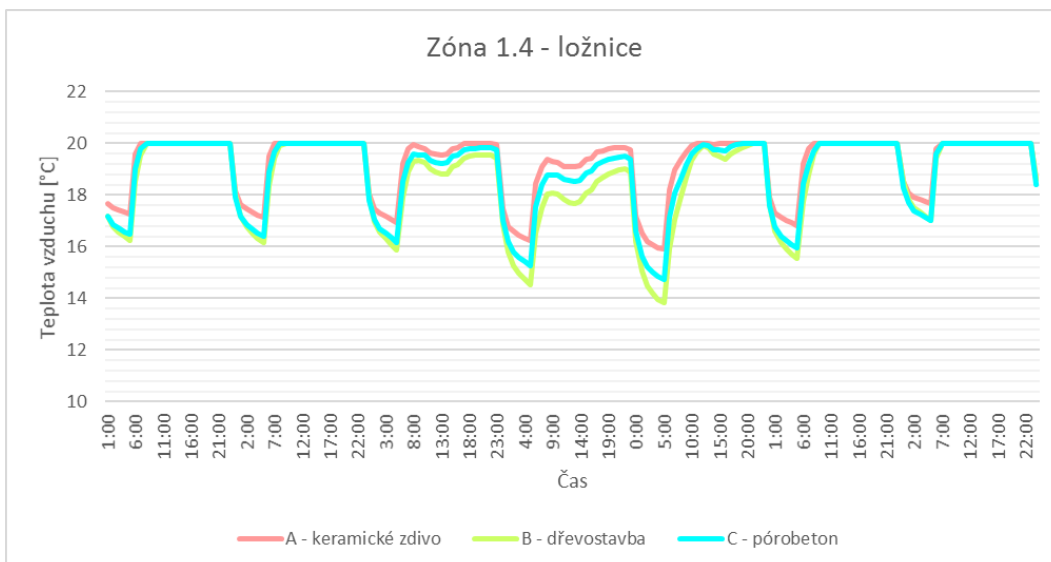
7.2.3 ZIMNÍ TEPELNÁ STABILITA

Zimní tepelná stabilita objektu je posuzována ve čtyřech kritických zónách, a to v zónách ložnic a obývacích pokojů s kuchyňským koutem v 1.NP a 2.NP. Obytné místnosti v 2.NP jsou tvořeny největší plochou ochlazovaných konstrukcí a obvodové stěny zón v 1.NP jsou opatřeny největšími prosklenými plochami, proto jsou tyto zóny považovány za kritické z hlediska zimní tepelné stability.

Pro posouzení tepelné stability objektu při přerušení vytápění je využita dynamické simulace objektu během zimního návrhového týdne v softwaru DesignBuilder. Provoz je nastaven podle provozního schématu tak, že vytápění je přerušeno mezi 23:00 a 5:00 hodinami. Dále v simulaci není uvažováno s mechanickým ani přirozeným větráním, aby nedocházelo k nadměrným tepelným ztrátám větráním při přestávce ve vytápění. Výsledky simulace jsou generovány v hodinovém intervalu a je uvažováno s vnitřními zisky od lidí, osvětlení a vytápění, vnějšími tepelnými zisky od slunečního záření a tepelnými ztrátami prostupem a infiltrací.

Schopnost zimní tepelné stability objektu lze posuzovat z poklesu teploty vnitřního vzduchu během přestávky ve vytápění. Tepelná stabilita je závislá na tepelně-izolačních schopnostech pláště objektu a tepelné kapacitě materiálů použitých na vnitřním povrchu obalových konstrukcí jednotlivých místností. Schopnost materiálů akumulovat teplo ovlivňuje, jak moc teplota v místnosti poklesne, pokud dojde k přestávce ve vytápění. Výhodu mají hmotné konstrukce s vysokou tepelnou kapacitou.

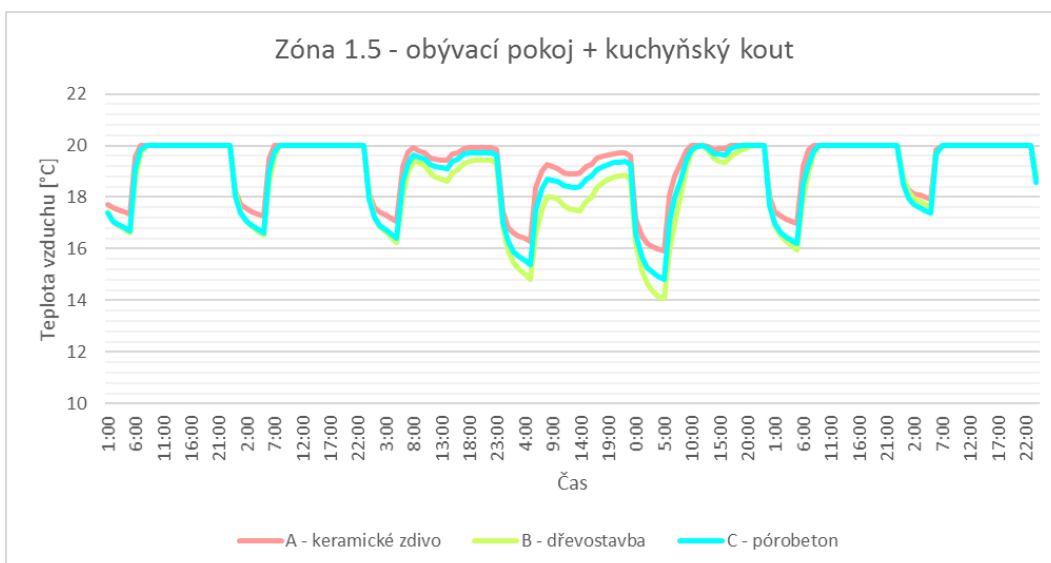
Na následujících grafech je zobrazen průběh teploty vnitřního vzduchu v kritických zónách během zimního návrhového týdne jednotlivých materiálových variant objektu. Pod grafy je uvedena tabulka zobrazující nejnižší dosaženou teplotu vnitřního vzduchu a maximální pokles teploty během přestávky ve vytápění jednotlivých materiálových variant objektu.



Graf 12: Průběh teploty vnitřního vzduchu v zóně ložnice v 1.NP během zimního návrhové týdne při přerušovaném vytápění

| Zóna 1.4 - ložnice | Jednotka | Materiálová varianta A | Materiálová varianta B | Materiálová varianta C |
|---|----------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Nejnižší dosažená teplota vnitřního vzduchu | [°C] | 15,90 | 13,84 | 14,74 |
| Největší pokles teploty vnitřního vzduchu | [°C] | 4,10 | 6,16 | 5,26 |

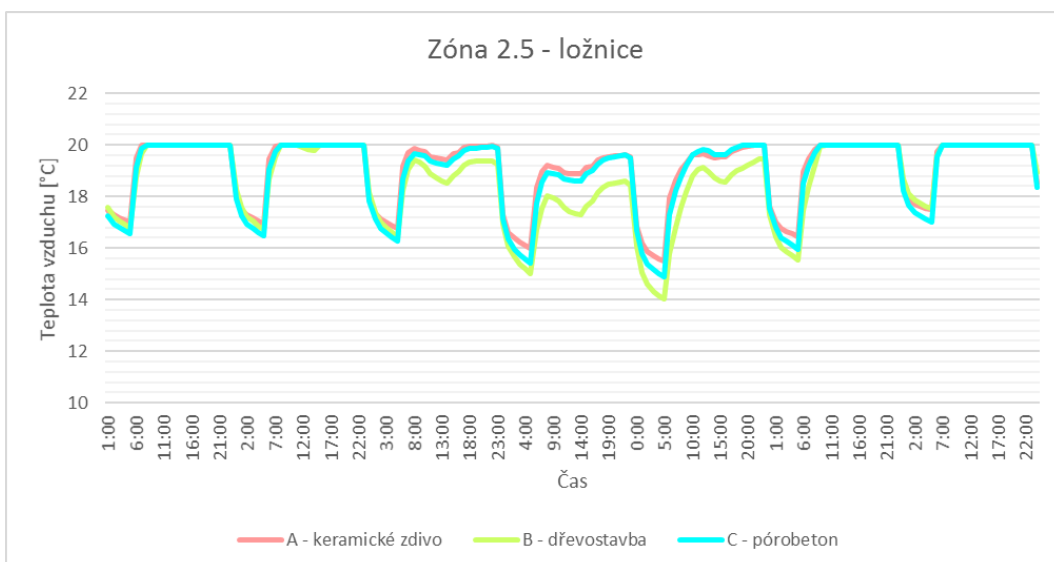
Tabulka 26: Souhrnná tabulka základních hodnot sledovaných parametrů v zóně ložnice v 1.NP pro posouzení zimní tepelné stability



Graf 13: Průběh teploty vnitřního vzduchu v zóně obývacího pokoje s kuchyňským koutem v 1.NP během zimního návrhové týdne při přerušovaném vytápění

| Zóna 1.5 - obývací pokoj + kuchyňský kout | Jednotka | Materiálová varianta A | Materiálová varianta B | Materiálová varianta C |
|---|----------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Nejnižší dosažená teplota vnitřního vzduchu | [°C] | 15,93 | 14,07 | 14,83 |
| Největší pokles teploty vnitřního vzduchu | [°C] | 4,07 | 5,93 | 5,17 |

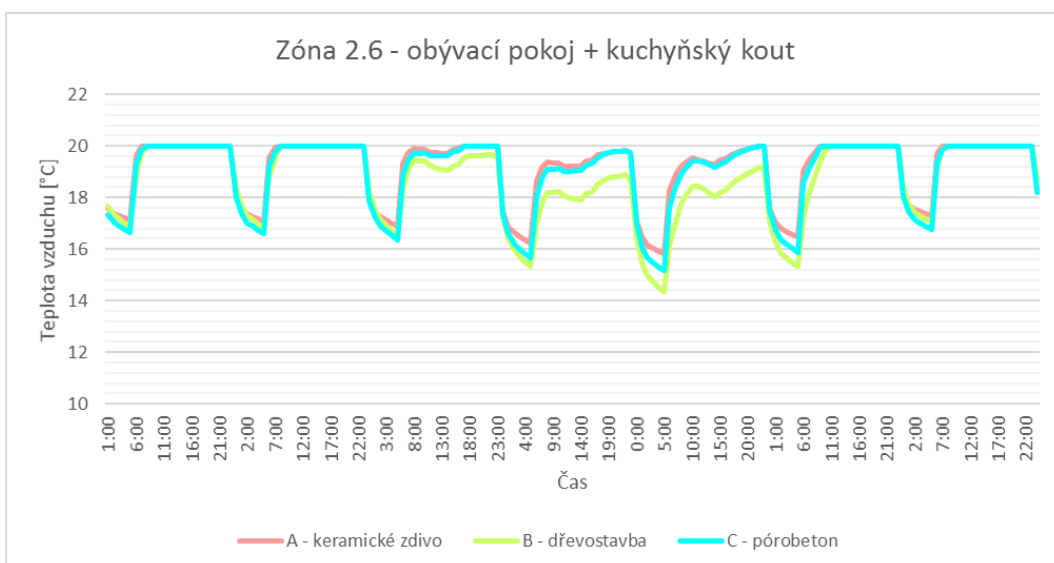
Tabulka 27: Souhrnná tabulka základních hodnot sledovaných parametrů v zóně obývacího pokoje s kuchyňským koutem v 1.NP pro posouzení zimní tepelné stability



Graf 14: Průběh teploty vnitřního vzduchu v zóně ložnice ve 2.NP během zimního návrhové týdne při přerušovaném vytápění

| Zóna 2.5 - ložnice | Jednotka | Materiálová varianta A | Materiálová varianta B | Materiálová varianta C |
|---|----------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Nejnižší dosažená teplota vnitřního vzduchu | [°C] | 15,52 | 14,02 | 14,88 |
| Největší pokles teploty vnitřního vzduchu | [°C] | 4,48 | 5,98 | 5,12 |

Tabulka 28: Souhrnná tabulka základních hodnot sledovaných parametrů v zóně ložnice ve 2.NP pro posouzení zimní tepelné stability



Graf 15: Průběh teploty vnitřního vzduchu v zóně obývacího pokoje s kuchyňským koutem ve 2.NP během zimního návrhové týdne při přerušovaném vytápění

| Zóna 2.6 - obývací pokoj + kuchyňský kout | Jednotka | Materiálová varianta A | Materiálová varianta B | Materiálová varianta C |
|---|----------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Nejnižší dosažená teplota vnitřního vzduchu | [°C] | 15,83 | 14,37 | 15,16 |
| Největší pokles teploty vnitřního vzduchu | [°C] | 4,17 | 5,63 | 4,84 |

Tabulka 29: Souhrnná tabulka základních hodnot sledovaných parametrů v zóně obývacího pokoje s kuchyňským koutem ve 2.NP pro posouzení zimní tepelné stability

Průběh teploty vnitřního vzduchu se v jednotlivých kritických zónách zásadně neliší. Lze si však všimnout rozdílu mezi jednotlivými materiálovými variantami objektu, a to především během nejchladnějšího čtvrtého a pátého dne, kdy venkovní teplota dosahuje až $-20,45$ °C. Během ostatních dní ve sledovaném týdnu se venkovní teplota pohybuje zhruba mezi -3 až -9 °C. Z největších poklesů vnitřní teploty během noční přestávky ve vytápění i z nejmenší schopnosti držet teplotu na požadované hodnotě během nejchladnějších dní lze soudit, že z hlediska tepelného komfortu v zimním období vykazuje dřevostavba nejhorší vlastnosti ze zkoušených materiálových variant objektu. Zděná stavba z keramických tvárnic izolovaná vnějším kontaktním zateplovacím systémem z expandovaného polystyrenu vykazuje ve všech zónách nejmenší pokles vnitřní teploty během přestávky ve vytápění, a tak největší schopnost tepelné stability, a to i přes její vyšší průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy oproti dřevostavbě. Pokles teploty vnitřního vzduchu během šestihodinové přestávky ve vytápění se pohybuje mezi 4 až $4,5$ °C v případě zděného objektu z keramických tvárnic, mezi $4,8$ až $5,3$ °C u objektu z tepelněizolačních pórobetonových tvárnic a mezi $5,6$ až $6,2$ °C v případě dřevostavby.

Pokles teploty během šestihodinové pauzy ve vytápění je ve všech variantách objektu příliš velký z hlediska tepelné pohody v obytných místnostech. V následujícím návrhu technického zařízení objektu bude třeba na tuto vlastnost při nastavování provozu brát zřetel.

7.3 ANALÝZA SVÁZANÉ SPOTŘEBY ENERGIE

Analýza svázané spotřeby energie slouží k posouzení navrhovaných materiálových variant objektu z hlediska množství svázané energie v hlavních konstrukcích objektu. Spotřeba svázané energie není stanovena přesně, nezahrnuje například kotevní prvky, skladbu zelené střechy, dveře, vrata a neuvažuje s materiály, které by bylo potřeba použít na správné provedení napojení jednotlivých konstrukcí. Nicméně tento odhad je dostačující pro základní srovnání jednotlivých materiálových variant objektu z hlediska svázané spotřeby energie.

7.3.1 VÝPOČET ROČNÍ SVÁZANÉ SPOTŘEBY ENERGIE

Množství svázané spotřeby energie je stanoveno podle metodiky SBToolCZ pro hodnocení bytových staveb ve fázi návrhu za použití jednotkových hodnot svázané energie v materiálech uvedených v environmentální databázi stavebních materiálů a konstrukcí [33]. Množství svázané spotřeby energie vychází z výkazu výměr jednotlivých konstrukčních prvků. Roční množství svázané spotřeby energie se pro jednotlivé materiály určí na základě podílu celkového množství svázané spotřeby energie a předpokládané životnosti materiálu a konstrukce. Použité životnosti materiálů konstrukcí vychází z přílohy metodiky SBToolCZ. Do výpočtu vstupuje maximální životnost materiálu 50 let, protože metodika je uvažuje s padesátiletou délkou životního cyklu budovy.

Skladby konstrukcí 1.PP jsou ve všech navrhovaných materiálových variantách objektu z důvodu požadavků stavebně-konstrukčního řešení stejné, proto se množství svázané energie v těchto konstrukcích u jednotlivých řešení objektu neliší. Jedná se o základovou konstrukci objektu, svíslé nosné a nenosné konstrukce 1.PP a strop nad 1.PP.

Ve výpočtu svázané spotřeby energie jednotlivých materiálových variant jsou zahrnuty materiály podlah bez nášlapné vrstvy, obvodových a vnitřních stěn 1.NP a 2.NP, stropu nad 1.NP, střechy bez skladby zelené střechy a okenních výplní. Skladby podlah jsou ve všech variantách stejné, liší se však jejich plocha na základě tloušťky svíslých konstrukcí. Roznášecí betonová vrstva plovoucích podlah je uvažována s 0,15 % stupněm vyztužení ocelovou výztuží do betonu. Skladba střechy je u všech variant

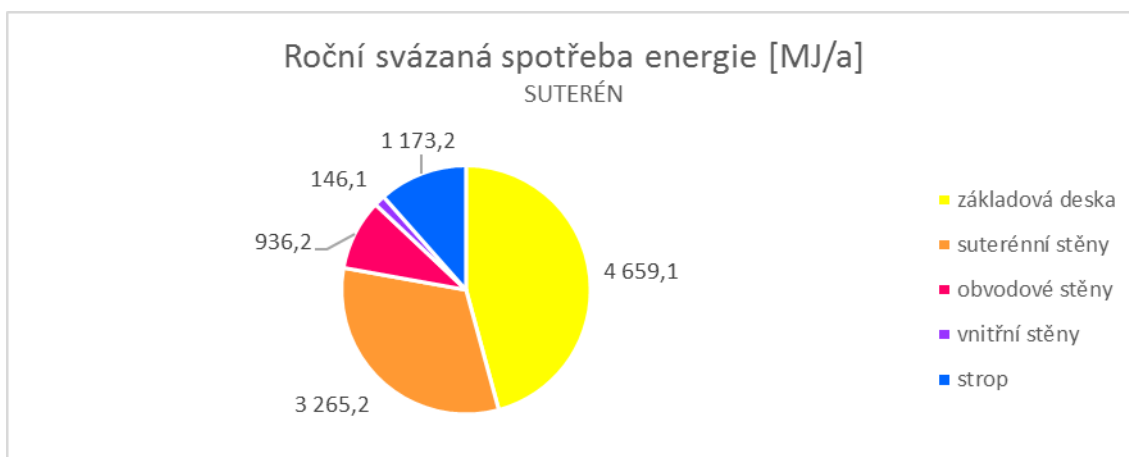
podobná, liší se pouze nosnou konstrukcí a druhem tepelné izolace. V případě železobetonových konstrukcí je uvažováno s 0,2 % stupněm vyztužení základové desky, stěn v 1.PP a stropem nad 1.PP a 0,15 % stupněm vyztužení v případě nadbetonávky vložkových stropů u zděných variant objektu.

Ve skutečnosti by při umístění objektu v podhůří Jizerských hor byla upřednostněna střecha sedlová či pultová z důvodu velkého množství sněhu v daných klimatických podmínkách, jejíž skladba by byla odlišná od navržené ploché střechy.

7.3.1.1 1.PP

| Konstrukce | Materiál | Výměra [kg] | Jednotková svázaná spotřeba energie [MJ/kg] | Svázaná spotřeba energie | | Průměrná životnost [roky] | Roční svázaná spotřeba energie [MJ/a] | |
|---------------------------------|-----------------------------|----------------|---|-----------------------------|------------------|---------------------------------|---|----------------|
| | | | | [MJ] | [MJ] | | | |
| <i>základová deska</i> | | | | | | | | |
| základová deska | beton základy | 77 119,5 | 0,4838 | 37 308,8 | 219 047,7 | 50 | 746,2 | 4 659,1 |
| | ocel, výztuž do betonu | 508,7 | 22,5279 | 11 459,5 | | 50 | 229,2 | |
| hydroizolace | asfaltový pás (za tepla) | 988,2 | 54,4081 | 53 766,1 | | 40 | 1 344,2 | |
| | asfaltový nátěr | 37,6 | 49,6073 | 1 864,4 | | 40 | 46,6 | |
| podkladní beton | beton základy | 38 637,0 | 0,4838 | 18 691,8 | | 50 | 373,8 | |
| separační vrstva | polyethylen LDPE | 14,6 | 78,2201 | 1 140,4 | | 50 | 22,8 | |
| tepelná izolace | pěnové sklo | 2 673,0 | 35,0611 | 93 718,3 | | 50 | 1 874,4 | |
| drenážní vrstva | štěrka | 16 038,0 | 0,0685 | 1 098,4 | | 50 | 22,0 | |
| <i>suterénní stěny</i> | | | | | | | | |
| vnitřní omítka | omítka vápenocementová | 1 080,0 | 1,45966 | 1 576,4 | 124 137,4 | 40 | 39,4 | 3 265,2 |
| nosná stěna | beton prostý | 51 305,2 | 0,574926 | 29 496,7 | | 50 | 589,9 | |
| | ocel, výztuž do betonu | 339,1 | 22,5279 | 7 639,7 | | 50 | 152,8 | |
| hydroizolace | asfaltový nátěr | 25,1 | 49,6073 | 1 243,0 | | 40 | 31,1 | |
| | asfaltový pás (za tepla) | 658,8 | 54,4081 | 35 844,1 | | 40 | 896,1 | |
| lepící hmota | malta adhezivní | 280,8 | 23,6585 | 6 643,3 | | 40 | 166,1 | |
| tepelná izolace | polystyren XPS | 432,0 | 96,5145 | 41 694,3 | | 30 | 1 389,8 | |
| <i>obvodové stěny - suterén</i> | | | | | | | | |
| vnitřní omítka | omítka vápenocementová | 330,0 | 1,45966 | 481,7 | 33 474,8 | 40 | 12,0 | 936,2 |
| nosná stěna | beton prostý | 15 676,6 | 0,574926 | 9 012,9 | | 50 | 180,3 | |
| | ocel, výztuž do betonu | 103,6 | 22,5279 | 2 334,3 | | 50 | 46,7 | |
| lepící hmota | malta adhezivní | 85,8 | 23,6585 | 2 029,9 | | 40 | 50,7 | |
| tepelná izolace | polystyren EPS | 178,2 | 105,073 | 18 724,0 | | 30 | 624,1 | |
| základní omítka | omítka vápenocementová | 198,0 | 1,45966 | 289,0 | | 40 | 7,2 | |
| fasádní omítka | omítka s organickým pojivem | 118,8 | 5,07558 | 603,0 | | 40 | 15,1 | |
| <i>vnitřní stěny - suterén</i> | | | | | | | | |
| vnitřní omítka | omítka vápenocementová | 192,1 | 1,45966 | 280,4 | 7 166,3 | 40 | 7,0 | 146,1 |
| nosná stěna | beton prostý | 9 125,7 | 0,574926 | 5 246,6 | | 50 | 104,9 | |
| | ocel, výztuž do betonu | 60,3 | 22,5279 | 1 358,9 | | 50 | 27,2 | |
| vnitřní omítka | omítka vápenocementová | 192,1 | 1,45966 | 280,4 | | 40 | 7,0 | |
| <i>strop - suterén</i> | | | | | | | | |
| nosná konstrukce | beton prostý | 76 957,8 | 0,574926 | 44 245,0 | 58 069,2 | 50 | 884,9 | 1 173,2 |
| | ocel, výztuž do betonu | 508,7 | 22,5279 | 11 459,5 | | 50 | 229,2 | |
| vnitřní omítka | omítka vápenocementová | 1 620,0 | 1,45966 | 2 364,6 | | 40 | 59,1 | |

Tabulka 30: Výpočet svázané spotřeby energie konstrukcí 1.PP



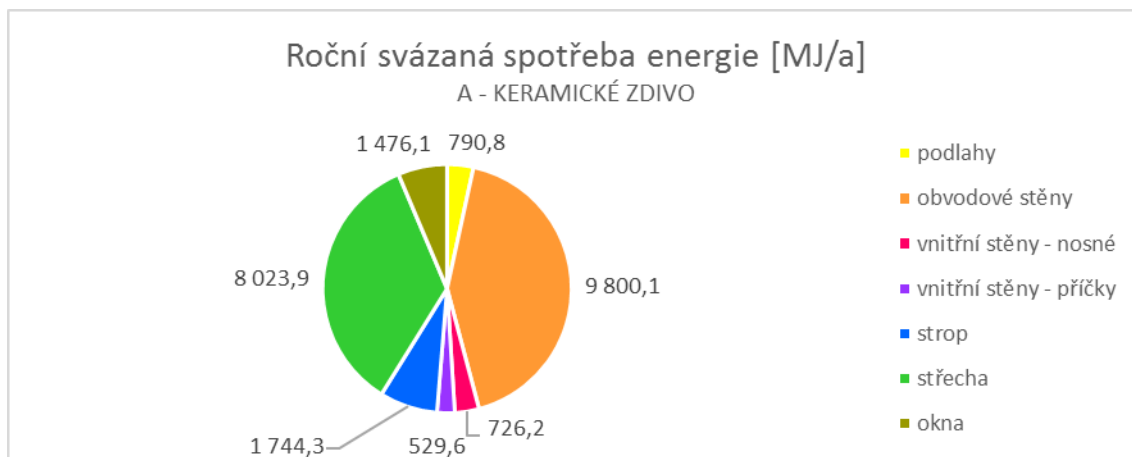
Graf 16: Grafické znázornění roční svázané spotřeby energie jednotlivých konstrukcí 1.PP

Celková roční spotřeba svázané energie konstrukcí 1.PP je 10 179,8 MJ/a.

7.3.1.2 Varianta A

| Konstrukce | Materiál | Výměra [kg] | Jednotková svázaná spotřeba energie [MJ/kg] | Svázaná spotřeba energie [MJ] | Průměrná životnost [roky] | Roční svázaná spotřeba energie [MJ/a] |
|---|-----------------------------|-------------|---|-------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|
| <i>podlahy</i> | | | | | | |
| roznášecí vrstva | beton prostý | 40 034,5 | 0,574926 | 23 016,9 | 50 | 460,3 |
| + síť | ocel, výztuž do betonu | 198,4 | 22,5279 | 4 468,8 | 50 | 89,4 |
| separační vrstva | polyethylen LDPE | 27,6 | 78,2201 | 2 156,3 | 50 | 43,1 |
| kročejeová izolace | minerální vlna, kamenná | 294,0 | 20,1923 | 5 937,5 | 30 | 197,9 |
| <i>obvodové stěny - 1.NP a 2.NP</i> | | | | | | |
| vnitřní omítka | omítka vápenocementová | 2 767,8 | 1,45966 | 4 040,0 | 40 | 101,0 |
| obvodové zdivo | cihla pálená dutinová | 97 426,6 | 2,5737 | 250 746,7 | 50 | 5 014,9 |
| lepící hmota | malta adhezivní | 719,6 | 23,6585 | 17 025,3 | 40 | 425,6 |
| tepelná izolace | polystyren EPS | 1 162,5 | 105,073 | 122 144,8 | 30 | 4 071,5 |
| základní omítka | omítka vápenocementová | 1 660,7 | 1,45966 | 2 424,0 | 40 | 60,6 |
| fasádní omítka | omítka s organickým pojivem | 996,4 | 5,07558 | 5 057,3 | 40 | 126,4 |
| <i>vnitřní stěny - nosné - 1.NP a 2.NP</i> | | | | | | |
| vnitřní omítka | omítka vápenocementová | 810,0 | 1,45966 | 1 182,3 | 40 | 29,6 |
| vnitřní zdivo | cihla pálená dutinová | 12 960,0 | 2,5737 | 33 355,2 | 50 | 667,1 |
| vnitřní omítka | omítka vápenocementová | 810,0 | 1,45966 | 1 182,3 | 40 | 29,6 |
| <i>vnitřní stěny - příčky - 1.NP a 2.NP</i> | | | | | | |
| vnitřní omítka | omítka vápenocementová | 815,4 | 1,45966 | 1 190,2 | 40 | 29,8 |
| vnitřní zdivo | cihla pálená dutinová | 9 132,5 | 2,5737 | 23 504,3 | 50 | 470,1 |
| vnitřní omítka | omítka vápenocementová | 815,4 | 1,45966 | 1 190,2 | 40 | 29,8 |
| <i>strop - 1.NP</i> | | | | | | |
| nosná konstrukce | beton prostý | 33 591,9 | 0,574926 | 19 312,9 | 50 | 386,3 |
| | cihla pálená dutinová | 21 060,0 | 2,5737 | 54 202,1 | 50 | 1 084,0 |
| | ocel, výztuž do betonu | 476,9 | 22,5279 | 10 743,3 | 50 | 214,9 |
| vnitřní omítka | omítka vápenocementová | 1 620,0 | 1,45966 | 2 364,6 | 40 | 59,1 |
| <i>střecha</i> | | | | | | |
| hydroizolace | PVC, polyvinylchlorid | 340,2 | 60,006 | 20 414,0 | 30 | 680,5 |
| tepelná izolace | polystyren EPS | 1 069,2 | 105,073 | 112 344,1 | 30 | 3 744,8 |
| parozábrana | asfaltový pás (za tepla) | 988,2 | 54,4081 | 53 766,1 | 30 | 1 792,2 |
| | asfaltový nátěr | 37,6 | 49,6073 | 1 864,4 | 30 | 62,1 |
| nosná konstrukce | beton prostý | 33 591,9 | 0,574926 | 19 312,9 | 50 | 386,3 |
| | cihla pálená dutinová | 21 060,0 | 2,5737 | 54 202,1 | 50 | 1 084,0 |
| | ocel, výztuž do betonu | 476,9 | 22,5279 | 10 743,3 | 50 | 214,9 |
| vnitřní omítka | omítka vápenocementová | 1 620,0 | 1,45966 | 2 364,6 | 40 | 59,1 |
| <i>okna</i> | | | | | | |
| rám | okenní rám, plastový | 411,0 | 59,5218 | 24 461,0 | 50 | 489,2 |
| zasklení | zasklení, trojsklo | 848,9 | 29,0637 | 24 672,9 | 25 | 986,9 |

Tabulka 31: Výpočet svázané spotřeby energie konstrukcí materiálové varianty A – keramické zdivo



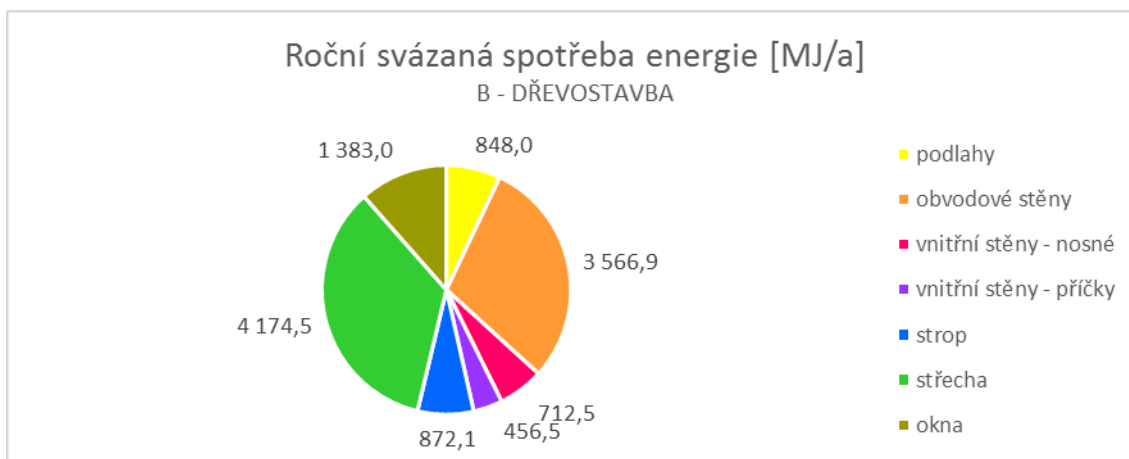
Graf 17: Grafické znázornění roční svázané spotřeby energie jednotlivých konstrukcí materiálové varianty A – keramické zdivo

Celkové množství roční svázané spotřeby energie výše uvedených konstrukcí je 23 091,0 MJ/a.

7.3.1.3 Varianta B

| Konstrukce | Materiál | Výměra [kg] | Jednotková svázaná spotřeba energie [MJ/kg] | Svázaná spotřeba energie [MJ] | Životnost [roky] | Roční svázaná spotřeba energie [MJ/a] |
|---|-----------------------------|-------------|---|-------------------------------|------------------|---------------------------------------|
| <i>podlahy</i> | | | | | | |
| roznášecí vrstva + síť | beton prostý | 42 932,2 | 0,574926 | 24 682,9 | 50 | 493,7 |
| | ocel, výztuž do betonu | 212,7 | 22,5279 | 4 792,3 | | 95,8 |
| separační vrstva | polyethylen LDPE | 29,6 | 78,2201 | 2 312,4 | 50 | 46,2 |
| kročejeová izolace | minerální vlna, kamenná | 315,3 | 20,1923 | 6 367,3 | 30 | 212,2 |
| <i>obvodové stěny - 1.NP a 2.NP</i> | | | | | | |
| povrchová deska | sádrokartonová deska | 3 459,8 | 5,74453 | 19 874,6 | 50 | 397,5 |
| instalační | řezivo, měkké dřevo | 442,8 | 3,35264 | 1 484,7 | 50 | 29,7 |
| předstěna | minerální vlna, kamenná | 318,9 | 20,1923 | 6 438,3 | 30 | 214,6 |
| konstrukční deska | OSB deska | 3 238,3 | 12,5057 | 40 497,5 | 50 | 810,0 |
| nosná konstrukce | lepené lamel. dřevo vnitřní | 3 288,1 | 7,9543 | 26 154,9 | 50 | 523,1 |
| | celulózoová vlákna, foukání | 2 989,2 | 7,14406 | 21 355,2 | 30 | 711,8 |
| fasádní deska | dřevovláknitá deska měkká | 4 982,0 | 5,09544 | 25 385,7 | 45 | 564,1 |
| fasádní omítka | omítka s organickým pojivem | 2 491,0 | 5,07558 | 12 643,4 | 40 | 316,1 |
| <i>vnitřní stěny - nosné - 1.NP a 2.NP</i> | | | | | | |
| povrchová deska | sádrokartonová deska | 1 012,5 | 5,74453 | 5 816,3 | 50 | 116,3 |
| nosná konstrukce | lepené lamel. dřevo vnitřní | 561,3 | 7,9543 | 4 465,0 | 50 | 89,3 |
| | celulózoová vlákna, foukání | 510,3 | 7,14406 | 3 645,6 | 30 | 121,5 |
| konstrukční deska | OSB deska | 789,8 | 12,5057 | 9 876,4 | 50 | 197,5 |
| instalační | řezivo, měkké dřevo | 129,6 | 3,35264 | 434,5 | 50 | 8,7 |
| předstěna | minerální vlna, kamenná | 93,3 | 20,1923 | 1 884,2 | 30 | 62,8 |
| povrchová deska | sádrokartonová deska | 1 012,5 | 5,74453 | 5 816,3 | 50 | 116,3 |
| <i>vnitřní stěny - příčky - 1.NP a 2.NP</i> | | | | | | |
| povrchová deska | sádrokartonová deska | 1 019,3 | 5,74453 | 5 855,1 | 50 | 117,1 |
| nosná konstrukce | lepené lamel. dřevo vnitřní | 403,6 | 7,9543 | 3 210,5 | 50 | 64,2 |
| | minerální vlna, kamenná | 234,8 | 20,1923 | 4 741,9 | 30 | 158,1 |
| povrchová deska | sádrokartonová deska | 1 019,3 | 5,74453 | 5 855,1 | 50 | 117,1 |
| <i>strop - 1.NP</i> | | | | | | |
| základ | OSB deska | 1 895,4 | 12,5057 | 23 703,3 | 50 | 474,1 |
| nosná konstrukce | lepené lamel. dřevo vnitřní | 2 501,9 | 7,9543 | 19 901,1 | 50 | 398,0 |
| <i>střecha</i> | | | | | | |
| hydroizolace | PVC, polyvinylchlorid | 340,2 | 60,006 | 20 414,0 | 30 | 680,5 |
| tepelná izolace | minerální vlna, kamenná | 1 140,5 | 20,1923 | 23 028,9 | 30 | 767,6 |
| parozábrana | asfaltový pás (za tepla) | 988,2 | 54,4081 | 53 766,1 | 30 | 1 792,2 |
| | asfaltový nátěr | 37,6 | 49,6073 | 1 864,4 | 30 | 62,1 |
| základ | OSB deska | 1 895,4 | 12,5057 | 23 703,3 | 50 | 474,1 |
| nosná konstrukce | lepené lamel. dřevo vnitřní | 2 501,9 | 7,9543 | 19 901,1 | 50 | 398,0 |
| <i>okna</i> | | | | | | |
| rámeček | okenní rámeček, dřevěný | 684,9 | 28,9124 | 19 803,0 | 50 | 396,1 |
| zasklení | zasklení, trojsklo | 848,9 | 29,0637 | 24 672,9 | 25 | 986,9 |

Tabulka 32: Výpočet svázané spotřeby energie konstrukcí materiálové varianty B – dřevostavba



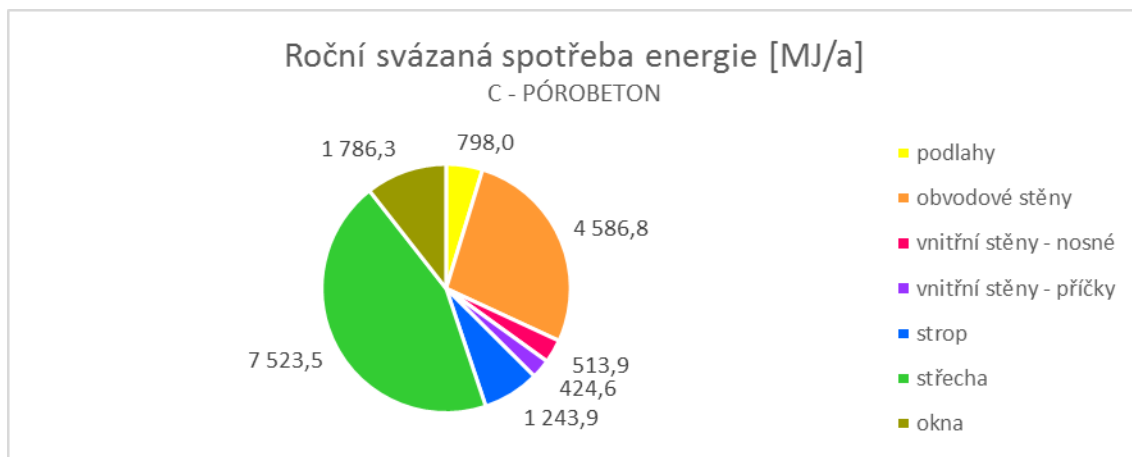
Graf 18: Grafické znázornění roční svázané spotřeby energie jednotlivých konstrukcí materiálové varianty B – dřevostavba

Množství roční svázané energie v konstrukcích je 12 013,5 MJ/a.

7.3.1.4 Varianta C

| Konstrukce | Materiál | Výměra [kg] | Jednotková svázaná spotřeba energie [MJ/kg] | Svázaná spotřeba energie | | Průměrná životnost [roky] | Roční svázaná spotřeba energie | |
|---|--------------------------|----------------|---|-----------------------------|------------------|---------------------------------|-----------------------------------|----------------|
| | | | | [MJ] | [MJ] | | [MJ/a] | [MJ/a] |
| <i>podlahy</i> | | | | | | | | |
| roznášecí vrstva + síť | beton prostý | 40 403,1 | 0,574926 | 23 228,8 | 35 907,1 | 50 | 464,6 | 798,0 |
| | ocel, výztuž do betonu | 200,2 | 22,5279 | 4 509,9 | | 50 | 90,2 | |
| separační vrstva | polyethylen LDPE | 27,8 | 78,2201 | 2 176,1 | | 50 | 43,5 | |
| kročejová izolace | minerální vlna, kamenná | 296,8 | 20,1923 | 5 992,2 | | 30 | 199,7 | |
| <i>obvodové stěny - 1.NP a 2.NP</i> | | | | | | | | |
| vnitřní omítka | omítka tepelněizolační | 3 985,6 | 8,24952 | 32 879,6 | 214 956,9 | 40 | 822,0 | 4 586,8 |
| zdivo | tvárovky plynosilikátové | 48 436,5 | 3,24998 | 157 417,7 | | 50 | 3 148,4 | |
| fasádní omítka | omítka tepelněizolační | 2 989,2 | 8,24952 | 24 659,7 | | 40 | 616,5 | |
| <i>vnitřní stěny - nosné - 1.NP a 2.NP</i> | | | | | | | | |
| vnitřní omítka | vápenocementová stěrka | 729,0 | 1,45966 | 1 064,1 | 25 162,4 | 40 | 26,6 | 513,9 |
| vnitřní zdivo | tvárovky plynosilikátové | 7 087,5 | 3,24998 | 23 034,2 | | 50 | 460,7 | |
| vnitřní omítka | vápenocementová stěrka | 729,0 | 1,45966 | 1 064,1 | | 40 | 26,6 | |
| <i>vnitřní stěny - příčky - 1.NP a 2.NP</i> | | | | | | | | |
| vnitřní omítka | vápenocementová stěrka | 733,9 | 1,45966 | 1 071,2 | 20 692,6 | 40 | 26,8 | 424,6 |
| vnitřní zdivo | tvárovky plynosilikátové | 5 707,8 | 3,24998 | 18 550,2 | | 50 | 371,0 | |
| vnitřní omítka | vápenocementová stěrka | 733,9 | 1,45966 | 1 071,2 | | 40 | 26,8 | |
| <i>strop - 1.NP</i> | | | | | | | | |
| nosná konstrukce | beton prostý | 28 772,4 | 0,574926 | 16 542,0 | 61 661,4 | 50 | 330,8 | 1 243,9 |
| | tvárovky plynosilikátové | 9 922,5 | 3,24998 | 32 247,9 | | 50 | 645,0 | |
| | ocel, výztuž do betonu | 476,9 | 22,5279 | 10 743,3 | | 50 | 214,9 | |
| vnitřní omítka | vápenocementová stěrka | 1 458,0 | 1,45966 | 2 128,2 | 40 | 53,2 | | |
| <i>střecha</i> | | | | | | | | |
| hydroizolace | PVC, polyvinylchlorid | 340,2 | 60,006 | 20 414,0 | 250 050,0 | 30 | 680,5 | 7 523,5 |
| tepelná izolace | polystyren EPS | 1 069,2 | 105,073 | 112 344,1 | | 30 | 3 744,8 | |
| parozábrana | asfaltový pás (za tepla) | 988,2 | 54,4081 | 53 766,1 | | 30 | 1 792,2 | |
| | asfaltový nátěr | 37,6 | 49,6073 | 1 864,4 | | 30 | 62,1 | |
| nosná konstrukce | beton prostý | 28 772,4 | 0,574926 | 16 542,0 | | 50 | 330,8 | |
| | tvárovky plynosilikátové | 9 922,5 | 3,24998 | 32 247,9 | | 50 | 645,0 | |
| | ocel, výztuž do betonu | 476,9 | 22,5279 | 10 743,3 | | 50 | 214,9 | |
| vnitřní omítka | vápenocementová stěrka | 1 458,0 | 1,45966 | 2 128,2 | 40 | 53,2 | | |
| <i>okna</i> | | | | | | | | |
| rám | okenní rám, hliníkový | 280,8 | 142,332 | 39 969,9 | 64 642,8 | 50 | 799,4 | 1 786,3 |
| zasklení | zasklení, trojsklo | 848,9 | 29,0637 | 24 672,9 | | 25 | 986,9 | |

Tabulka 33: Výpočet svázané spotřeby energie konstrukcí materiálové varianty C – pórobeton

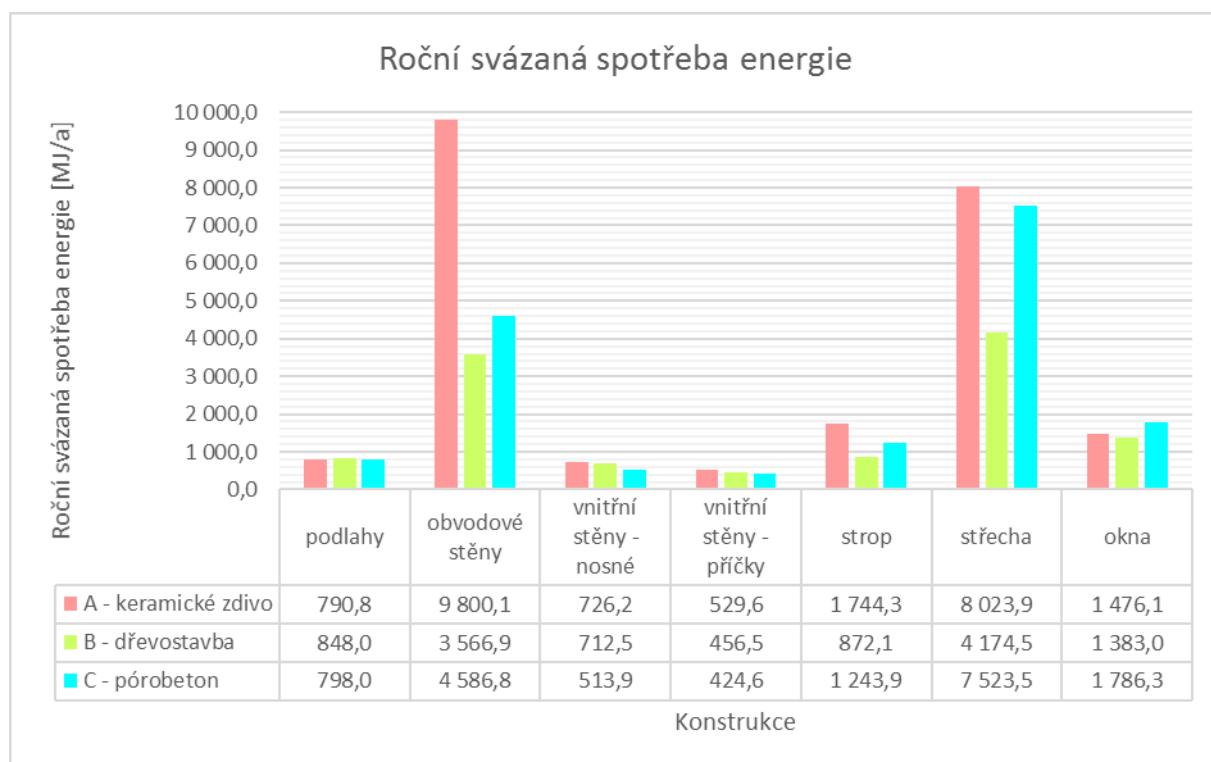


Graf 19: Grafické znázornění roční svázané spotřeby energie jednotlivých konstrukcí materiálové varianty C – pórobeton

Celkové množství roční svázané spotřeby energie konstrukcí objektu z pórobetonu je 16 877,0 MJ/a.

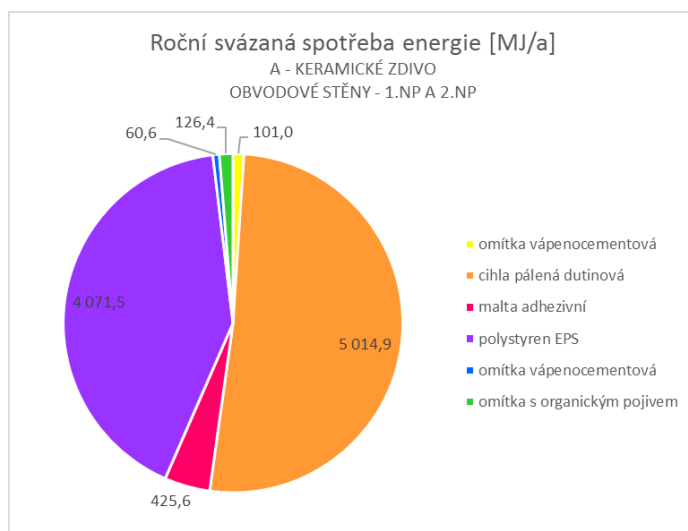
Z výše uvedených výpočtů svázané spotřeby energie je patrné, že největší spotřeba v rámci konstrukcí 1.PP připadá základové desce a konstrukci suterénních stěn. Množství svázané energie v těchto konstrukcích navyšuje především asfaltová hydroizolace a tepelná izolace z pěnového skla v případě základové desky a extrudovaného polystyrenu u suterénních stěn. Tyto materiály dosahují nejvyšších hodnot jednotkové svázané spotřeby energie v rámci skladby konstrukcí a jejich průměrná životnost je uvažována mezi 30 až 50 roky.

Na následujícím grafu jsou porovnány konstrukce, které dosahují v uvažovaných materiálových variantách objektu jiných hodnot svázané spotřeby energie.

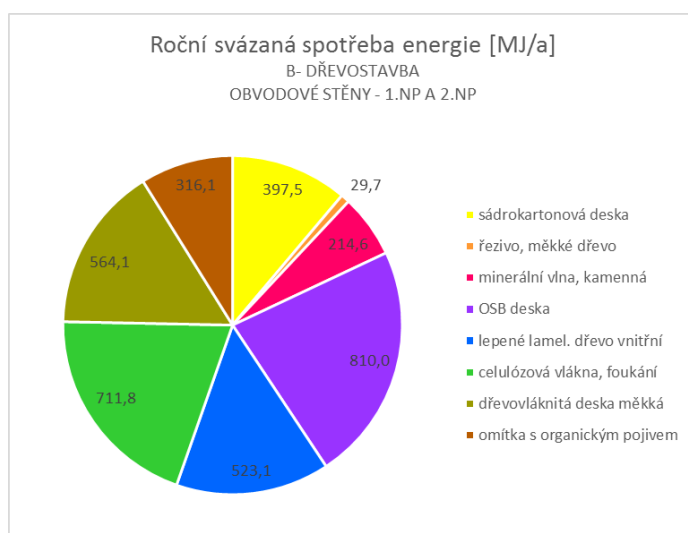


Graf 20: Shmutí svázané spotřeby energie různých konstrukcí materiálových variant objektu

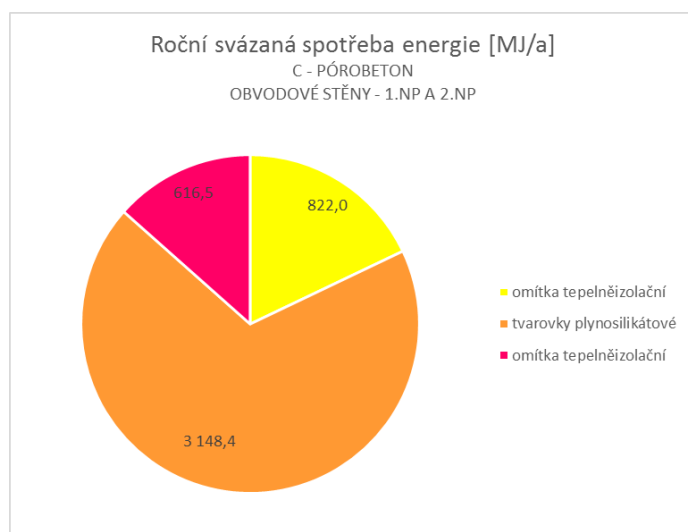
Z výše uvedeného grafu je patrné, že hlavní příčinou rozdílu celkové spotřeby svázané energie mezi jednotlivými materiálovými variantami objektu jsou konstrukce obvodových stěn a střechy.



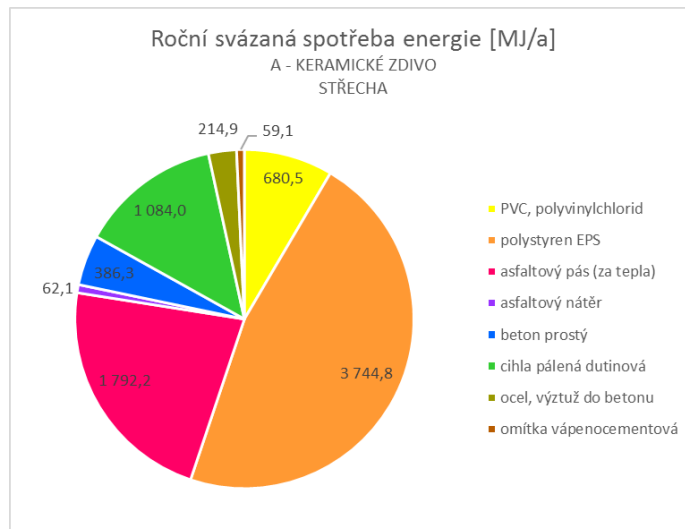
Graf 21: Roční svázaná spotřeba energie materiálů obvodových stěn 1.NP a 2.NP materiálové varianty A – keramické zdivo



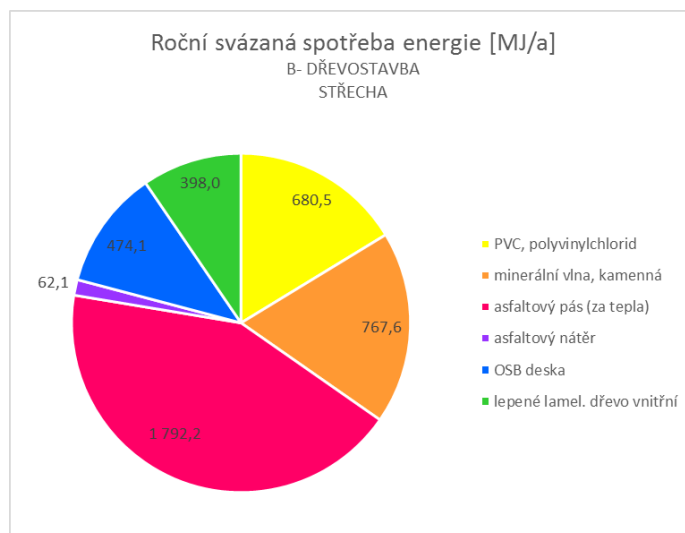
Graf 22: Roční svázaná spotřeba energie materiálů obvodových stěn 1.NP a 2.NP materiálové varianty B – dřevostavba



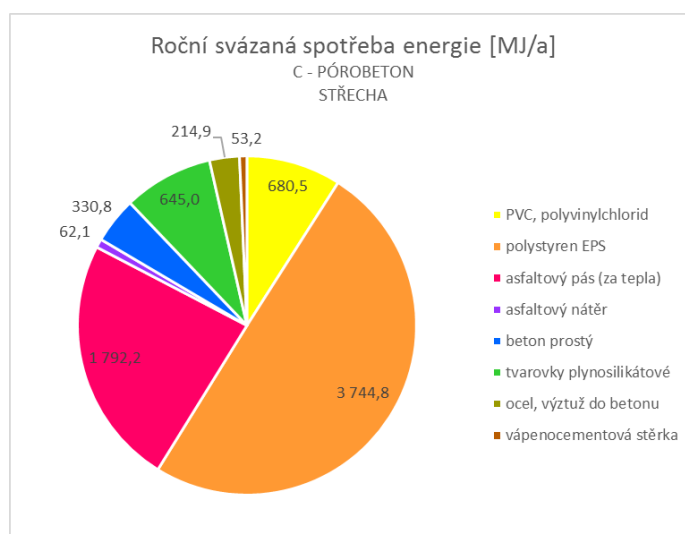
Graf 23: Roční svázaná spotřeba energie materiálů obvodových stěn 1.NP a 2.NP materiálové varianty C – pórobeton



Graf 24: Roční svázaná spotřeba energie materiálů střechy materiálové varianty A – keramické zdivo



Graf 25: Roční svázaná spotřeba energie materiálů střechy materiálové varianty B – dřevostavba

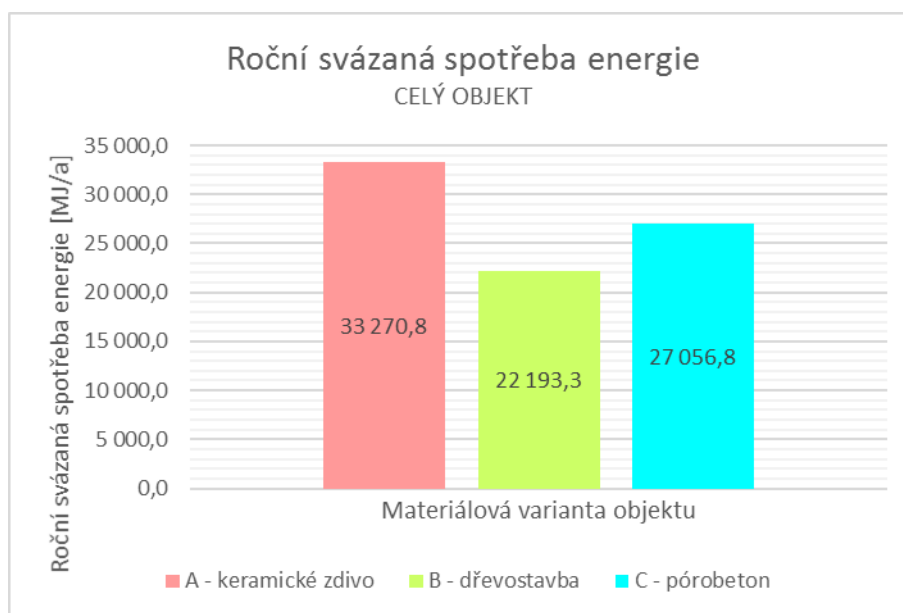


Graf 26: Roční svázaná spotřeba energie materiálů střechy materiálové varianty C – pórabeton

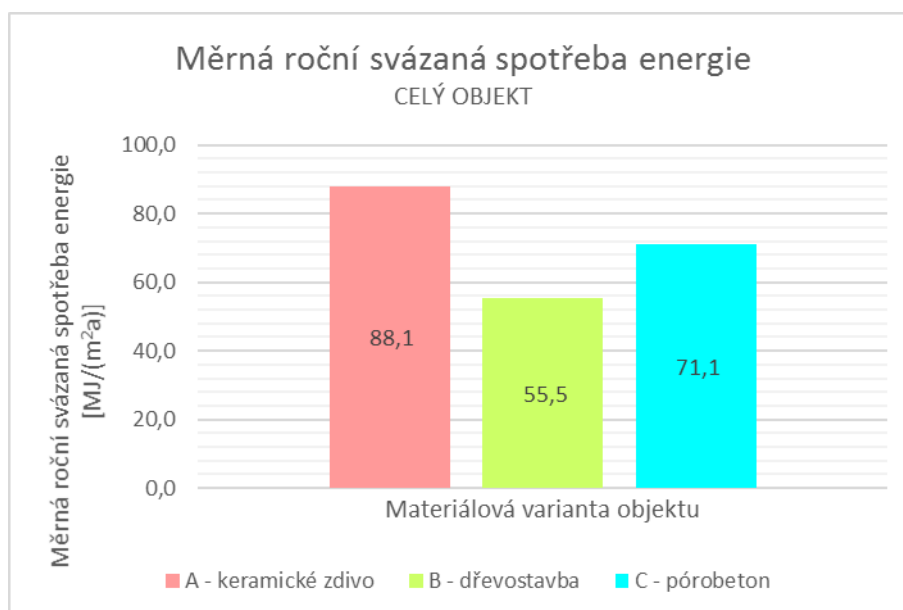
Na velké spotřebě svázané energie obvodovými stěnami zděné varianty objektu z keramických tvárnic mají největší podíl keramické tvárnice a tepelná izolace z pěnového polystyrenu. Expandovaný polystyren má vysokou měrnou spotřebu svázané energie a poměrně krátkou životnost, zatímco keramické tvárnice disponují poměrně malou měrnou spotřebou svázané energie, ale tvoří valnou většinu hmotnosti konstrukce. Spotřeba svázané energie obvodových stěn ostatních variant je o více než polovinu nižší. V případě dřevostavby se jedná o konstrukci lehkou z materiálů s poměrně nízkými hodnotami měrné spotřeby svázané energie, a i přes nižší životnost tepelných izolací použitých v konstrukci dosahuje lepších výsledků než stěny zděné z keramických tvárnic zateplené pěnovým polystyrenem. Výhodou pórobetonové konstrukce je v tomto případě nižší hmotnost tvárnic a absence tepelné izolace.

V případě střechy způsobuje hlavní rozdíl ve spotřebě svázané energie materiál tepelné izolace, zatímco u zděných variant objektu je uvažován expandovaný polystyren, při použití kamenné vlny u dřevostavby je množství svázané energie v materiálu skoro pětina oproti polystyrenu. Další významnou položkou je asfaltová parozábrana, která se však vyskytuje ve skladbě střechy všech materiálůvých variant objektu.

Nejnižší roční spotřeby svázané energie dosahuje dřevostavba, a to i přes nižší životnost některých použitých materiálů. Mezi důvody této nižší spotřeby, a tak i menšího vlivu stavby na životní prostředí, patří nižší hmotnosti konstrukcí a absence tepelné izolace z polystyrenu. Naopak nejvyšší množství svázané energie ve své konstrukci uchovává objekt zděný z keramických tvárníc zateplený expandovaným polystyrenem. Výhodou zděného objektu z pórobetonu z hlediska množství svázané energie je absence tepelné izolace u konstrukce obvodových stěn nadzemních podlaží a nižší objemová hmotnost tvárníc než u keramiky.



Graf 27: Porovnání roční svázané spotřeby energie ve všech konstrukcích objektu



Graf 28: Porovnání měrné roční svázané spotřeby energie ve všech konstrukcích objektu

7.4 VYHODNOCENÍ MATERIÁLOVÉHO ŘEŠENÍ OBJEKTU

Výběr optimální materiálové varianty objektu je založen na posouzení tepelného chování budovy, schopnosti tepelné stability a množství svázané spotřeby energie v konstrukcích budovy. Nejvhodnější řešení je vybráno pomocí multikriteriální analýzy, ve které je porovnávána měrná roční potřeba tepla na vytápění, nejvyšší dosažená teplota vnitřního vzduchu v létě, největší pokles teploty interiéru v zimě během přestávky ve vytápění a měrná roční svázaná spotřeba energie v konstrukcích celého objektu.

Z hlediska tepelného chování objektu bylo do vyhodnocení materiálového řešení objektu zahrnuto kritérium měrné roční potřeby tepla na vytápění. Hodnoty tohoto kritéria vyplývají z výsledků dynamických simulací uvažovaných materiálových řešení objektu v softwaru DesignBuilder. Jedná o měrnou potřebu tepla při konstantním vytápění objektu na požadovanou teplotu jednotlivých zón dle požadavků definovaných v provozních schématech. V analýze tepelného chování objektu byly dále porovnávány součinitelé prostupu tepla obalovými konstrukcemi budovy a tepelné ztráty objektu. Všechna zmíněná kritéria spolu vzájemně souvisí, proto pro výsledné hodnocení byla zvolena pouze měrná roční potřeba tepla na vytápění.

Přestože se jedná o optimalizaci objektu z hlediska spotřeby svázané a provozní primární energie, je při hodnocení materiálové varianty objektu zahrnuta i problematika tepelné pohody v interiéru v letním a zimním období. Letní tepelná stabilita je posouzena z nejvyšších teplot vnitřního vzduchu, kterých dosahuje kritická zóna ložnice ve 2.NP během pátého dne letního návrhového týdne při mechanickém větrání venkovním vzduchem o objemovém průtoku $25 \text{ m}^3/\text{h}$ na osobu. Zimní tepelná stabilita je klasifikována dle největšího poklesu teploty vnitřního vzduchu zón během pětihodinové noční přestávky ve vytápění. Do výsledného hodnocení vstupuje průměrná hodnota maximálního poklesu vnitřní teploty ze všech posuzovaných zón.

Posledním parametrem vstupujícím do výsledného hodnocení materiálové varianty objektu je měrná roční svázaná spotřeba energie vypočtená dle metodiky SBToolCZ pro hodnocení bytových staveb ve fázi návrhu.

| Kritérium | Jednotka | Materiálová varianta A | Materiálová varianta B | Materiálová varianta C |
|---------------------------------------|------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| <i>tepelné chování objektu</i> | | | | |
| Měrná roční potřeba tepla na vytápění | kWh/(m ² a) | 77,40 | 69,50 | 79,20 |
| <i>tepelná stabilita</i> | | | | |
| Nejvyšší dosažená teplota v létě | °C | 23,20 | 24,30 | 23,43 |
| Největší pokles teploty v zimě | °C | 4,21 | 5,93 | 5,10 |
| <i>svázaná spotřeba energie</i> | | | | |
| Měrná roční svázaná spotřeba energie | MJ/(m ² a) | 88,10 | 55,50 | 71,10 |

Tabulka 34: Vybraná kritéria a jejich hodnoty pro vyhodnocení optimální materiálové varianty objektu

Z důvodu porovnávání různých kritérií jsou při hodnocení nejvhodnější materiálové varianty objektu hodnoty kritérií převedeny na body. Ke kvantifikaci jednotlivých kritérií je využita desetibodová stupnice, ve které hodnota 10 odpovídá uvažované nejlepší hodnotě daného parametru. Mezilehlé hodnoty parametrů jsou při bodovém ohodnocení lineárně interpolovány a zaokrouhleny na jedno desetinné místo.

| Body | Kritérium | | | |
|------|--|---------------------------------------|-------------------------------------|--|
| | Měrná roční potřeba tepla na vytápění [kWh/(m ² a)] | Nejvyšší dosažená teplota v létě [°C] | Největší pokles teploty v zimě [°C] | Měrná roční svázaná spotřeba energie [MJ/(m ² a)] |
| 10 | ≤ 50 | ≤ 22 | ≤ 2 | ≤ 30 |
| 9 | 55 | 22,5 | 2,5 | 40 |
| 8 | 60 | 23,0 | 3,0 | 50 |
| 7 | 65 | 23,5 | 3,5 | 60 |
| 6 | 70 | 24,0 | 4,0 | 70 |
| 5 | 75 | 24,5 | 4,5 | 80 |
| 4 | 80 | 25,0 | 5,0 | 90 |
| 3 | 85 | 25,5 | 5,5 | 100 |
| 2 | 90 | 26,0 | 6,0 | 110 |
| 1 | 95 | 26,5 | 6,5 | 120 |
| 0 | ≥ 100 | ≥ 27 | ≥ 7 | ≥ 130 |

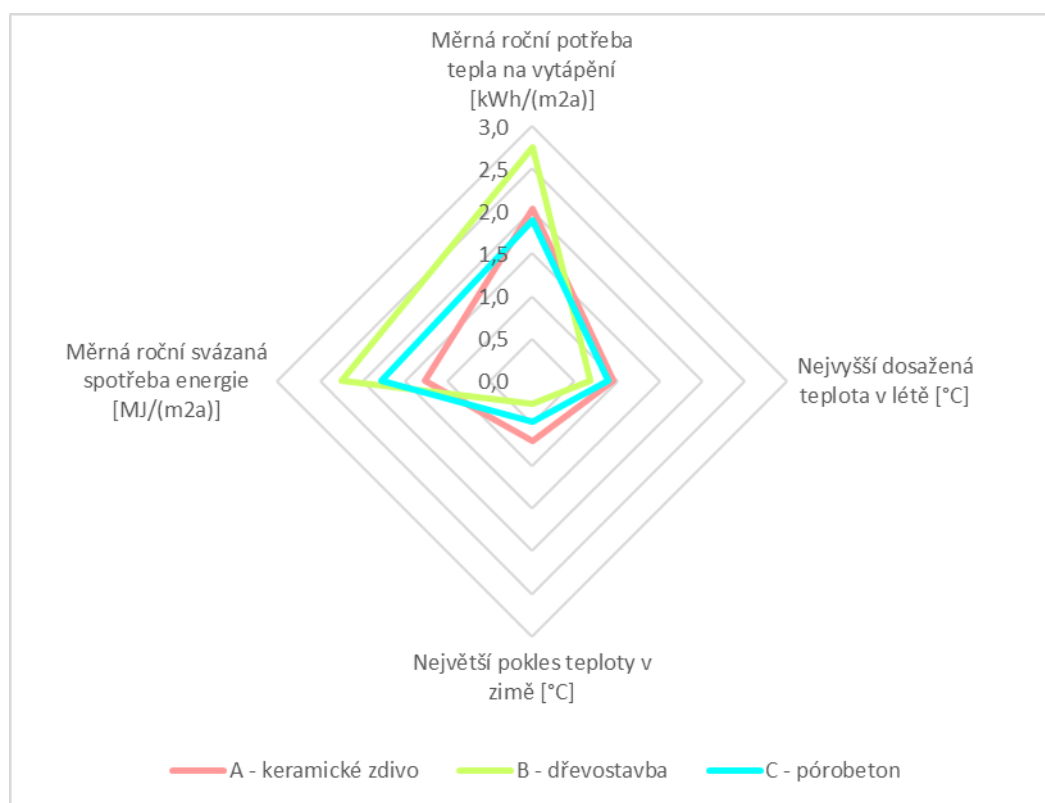
Tabulka 35: Stupnice využitá pro kvantifikaci kritérií pro vyhodnocení optimální materiálové varianty objektu

Jednotlivým kritériím je přiřazena váha, která vyjadřuje jejich důležitost v celkovém hodnocení materiálového řešení objektu. Nejdůležitějším kritériem je měrná potřeba tepla na vytápění, protože nejvíce ovlivňuje celkovou spotřebu energie, na celkové hodnocení má 45 % vliv. Kritériu měrné roční svázané spotřeby energie je stanovena váha 30 %. Zbýlých 25 % celkového hodnocení materiálového

řešení objektu ovlivňuje schopnost objektu udržovat tepelnou stabilitu, a to v létě stejně jako v zimě váhou 12,5 %.

| Kritérium | Váha kritéria | Materiálová varianta objektu | | | | | | | | |
|--|---------------|------------------------------|------|-------------|-----------------|------|-------------|---------------|------|-------------|
| | | A - keramické zdivo | | | B - dřevostavba | | | C - pórobeton | | |
| | | hodnota | body | vážené body | hodnota | body | vážené body | hodnota | body | vážené body |
| <i>tepelné chování objektu</i> | | | | | | | | | | |
| Měrná roční potřeba tepla na vytápění [kWh/(m ² a)] | 45,0% | 77,4 | 4,5 | 2,0 | 69,5 | 6,1 | 2,7 | 79,2 | 4,2 | 1,9 |
| <i>tepelná stabilita objektu</i> | | | | | | | | | | |
| Nejvyšší dosažená teplota v létě [°C] | 12,5% | 23,2 | 7,6 | 1,0 | 24,3 | 5,4 | 0,7 | 23,4 | 7,1 | 0,9 |
| Největší pokles teploty v zimě [°C] | 12,5% | 4,2 | 5,6 | 0,7 | 5,9 | 2,1 | 0,3 | 5,1 | 3,8 | 0,5 |
| <i>svázaná spotřeba energie</i> | | | | | | | | | | |
| Měrná roční svázaná spotřeba energie [MJ/(m ² a)] | 30,0% | 88,1 | 4,2 | 1,3 | 55,5 | 7,5 | 2,3 | 71,1 | 5,9 | 1,8 |
| Suma bodů a vážených bodů | | - | 21,9 | 4,9 | - | 21,1 | 5,9 | - | 21,0 | 5,0 |

Tabulka 36: Vyhodnocení materiálového řešení objektu



Graf 29: Grafické znázornění výsledků multikritériální analýzy materiálového řešení objektu

Nejlepšího výsledného hodnocení z výše uvedené multikritériální analýzy materiálového řešení objektu dosahuje dřevostavba. Výsledky zděných variant objektu jsou téměř shodné, lepšího konečného výsledku díky nastavené důležitosti jednotlivých kritérií však dosahuje objekt z pórobetonu.

Paprskový graf znázorňuje výsledky váženého bodového hodnocení materiálového řešení objektu dle jednotlivých kritérií. Z grafu jsou patrné nejhorší

vlastnosti dřevostavby z hlediska letní a zimní tepelné stability. Dřevostavba však dosahuje nejnižších hodnot, a tak nejvyššího bodového hodnocení, ze zvažovaných variant objektu v případě měrné roční potřeby tepla na vytápění a měrné roční svázané spotřeby energie. Tato kritéria v celkovém hodnocení nesou největší váhu, proto lze dřevostavbu na základě této analýzy považovat za nevhodnější řešení. Zděný objekt z keramických tvárnic zateplený pěnovým polystyrenem dosahuje ve všech kritériích kromě měrné svázané spotřeby energie lepších výsledků než budova z pórobetonu, nicméně v celkovém váženém hodnocení získává objekt z pórobetonu větší množství bodů.

V následující optimalizaci technického zařízení budovy bude uvažováno s konstrukčním systémem objektu tvořeným lehkou rámovou dřevostavbou.

8 DYNAMICKÁ SIMULACE PRO POSOUZENÍ ŘEŠENÍ TECHNICKÉHO ZAŘÍZENÍ BUDOVY

Následující dynamická simulace slouží k porovnání různých řešení technického zařízení budovy z hlediska provozní spotřeby primární energie.

8.1 VSTUPNÍ DATA DYNAMICKÉ SIMULACE

Pro dynamickou simulaci je využit stejný model objektu jako v předchozím posouzení materiálového řešení včetně shodného umístění a klimatických dat. Na základě výsledků analýzy materiálového řešení objektu je uvažováno s dřevostavbou.

8.1.1 PROVOZ OBJEKTU

Provoz objektu je dle výsledků tepelného chování objektu upraven tak, aby zajišťoval kvalitní vnitřní prostředí pro obyvatele objektu. Předpokládaná obsazenost ani parametry a provoz osvětlení se nemění, chlazení v objektu není navrženo. Přívod čerstvého vzduchu je stále uvažován do obytných místností s objemovým průtokem $25 \text{ m}^3/\text{h}$ na osobu, ale jeho provoz již není závislý na uvažované obsazenosti objektu, ale je navržen na maximální obsazenost 12 osobami 24 hodin denně. Systém vytápění je v provozu bez přestávky, požadované vnitřní teploty v jednotlivých zónách zůstávají beze změny, a to $20 \text{ }^\circ\text{C}$ v obytných místnostech a na WC, $18 \text{ }^\circ\text{C}$ na chodbách, $24 \text{ }^\circ\text{C}$ v koupelnách a $15 \text{ }^\circ\text{C}$ v technických místnostech.

Dále je do provozu systémů technického zařízení budovy doplněna příprava teplé vody. Teplá voda je připravována po celý den, výstupní teplota ze zdroje tepla je nastavena na $55 \text{ }^\circ\text{C}$ a potřeba teplé vody je uvažována 40 l na osobu za den.

| Provozní schéma | | Obytné m. | Chodby | Koupelny | WC | Technické m. |
|----------------------------|------------------|---|--|------------------------------|----------------------------|---|
| Obsluhované zóny | | 0.3 Relax. m. 1.4 Ložnice 1.5 Obývací p. 2.5 Ložnice 2.6 Obývací p. | 0.1 Chodba 1.1 Chodba 2.1 Chodba | 1.3 Koupelna 2.3 Koupelna | 0.4 WC 1.2 WC 2.2 WC | 0.2 Garáž 0.5 Technic. m. 2.4 Sklad |
| Obsazenost | Maximální | 12 osob | 0 osob | 0 osob | 0 osob | 0 osob |
| | Všední dny | 0:00-8:00 100% | - | - | - | - |
| | | 8:00-10:00 50% | | | | |
| 10:00-14:00 0% | | | | | | |
| 14:00-16:00 50% | | | | | | |
| 16:00-24:00 100% | | | | | | |
| Víkendy | 0:00-8:00 100% | - | - | - | - | |
| | 8:00-10:00 75% | | | | | |
| | 10:00-14:00 50% | | | | | |
| | 14:00-16:00 75% | | | | | |
| | 16:00-24:00 100% | | | | | |
| Osvětlení | Provoz | 6:00-22:00 | 6:00-22:00 | - | - | - |
| | Intenzita | 100 lux | 75 lux | - | - | - |
| Vytápění | Provoz | 0:00-24:00 | 0:00-24:00 | 0:00-24:00 | 0:00-24:00 | 0:00-24:00 |
| | Teplota | 20 °C | 18 °C | 24 °C | 20 °C | 15 °C |
| Mech. větrání | Provoz | 0:00-24:00 100% | - | - | - | - |
| | Objem | 25 m ³ /h na osobu | - | - | - | - |
| Infiltrace | Provoz | 0:00-24:00 | 0:00-24:00 | 0:00-24:00 | 0:00-24:00 | 0:00-24:00 |
| | Intenzita | 0,3 h ⁻¹ | 0,3 h ⁻¹ | 0,3 h ⁻¹ | 0,3 h ⁻¹ | 0,3 h ⁻¹ |
| Příprava teplé vody | Provoz | 0:00-24:00 | | | | |
| | Teplota | 55 °C | | | | |
| | Objem | 40 l na osobu za den | | | | |

Tabulka 37: Souhrnná tabulka provozních schémat

9 ANALÝZA ŘEŠENÍ TECHNICKÉHO ZAŘÍZENÍ BUDOVY

Analýza řešení technického zařízení budovy slouží k posouzení vybraných kombinací systému vytápění, větrání, osvětlení a přípravy teplé vody z hlediska spotřeby primární energie při provozu objektu.

Analýza je zaměřena na tři vybrané systémy, které se liší především zdrojem tepla pro vytápění a přípravu teplé vody a systémem rozvodu tepla po objektu. Zvažovány jsou následující kombinace technického řešení objektu:

- Varianta A
 - Zdroj tepla – plynový kotel
 - Vytápění – teplovzdušné vytápění centrální vzduchotechnickou jednotkou s rekuperací tepla
 - Větrání – nucené větrání centrální vzduchotechnickou jednotkou s rekuperací tepla
- Varianta B
 - Zdroj tepla – tepelné čerpadlo vzduch-voda
 - Systém vytápění – nízkoteplotní teplovodní podlahové vytápění v kombinaci s deskovými otopnými tělesy v technických místnostech
 - Větrání – mechanické větrání centrální vzduchotechnickou jednotkou s rekuperací tepla
- Varianta C
 - Zdroj tepla – kotel na dřevěné pelety
 - Systém vytápění – teplovodní vytápění konvektory, deskovými a trubkovými otopnými tělesy
 - Větrání – mechanické větrání centrální vzduchotechnickou jednotkou s rekuperací tepla.

Ve všech variantách je uvažováno s řízeným větráním objektu centrální vzduchotechnickou jednotkou s rekuperací tepla, a to z důvodu velkých tepelných ztrát při přirozeném větrání v daných klimatických podmínkách. Další výhodou nuceného přívodu čerstvého vzduchu je zajištění kvality vnitřního prostředí bez ohledu na chování obyvatel v objektu.

Na základě výsledků analýzy tepelného chování objektu v kap. 6.2 není v žádné variantě technického zařízení budovy navrženo chlazení.

Při provozu obytných místností a chodeb je v dynamické simulaci uvažováno s osvětlením. Ve všech variantách řešení technického zařízení budovy je uvažováno se stejným osvětlením, jehož zdrojem je elektrická energie ze sítě, z tohoto důvodu nebude spotřeba elektrické energie na osvětlení zahrnuta do posouzení spotřeby primární energie při provozu.

Provozní spotřeba primární energie je počítána dle metodiky SBToolCZ pro bytové stavby ve fázi návrhu. Hodnoty roční spotřeby energie na vytápění, větrání, přípravu teplé vody a provoz energetických systémů vychází z dynamické simulace objektu v softwaru DesignBuilder a výpočtů dle ČSN 73 0331-1.

Systém teplovodního a teplovzdušného vytápění se liší ve spotřebě pomocné energie při provozu, pohon ventilátorů u teplovzdušného vytápění je zpravidla energeticky náročnější než provoz oběhových čerpadel u teplovodního vytápění. K zajištění provozu těchto zařízení je navrženo využití elektrické energie ze sítě. Ta disponuje vysokým konverzním faktorem primární energie, a proto je do následující analýzy zahrnuta i spotřeba pomocné energie. Spotřeba energie pro provoz energetických systémů je odhadnuta dle ČSN 73 0331-1 a zahrnuje pouze spotřebu energie pro pohon ventilátorů a oběhových čerpadel systému vytápění a větrání, nezohledňuje spotřebu energie zdrojem tepla, pomocnými aktivními prvky zabudovanými v systému, koncovými prvky vytápění a větrání ani systémem měření a regulace.

9.1 KONCEPCE TECHNICKÉHO ZAŘÍZENÍ BUDOVY

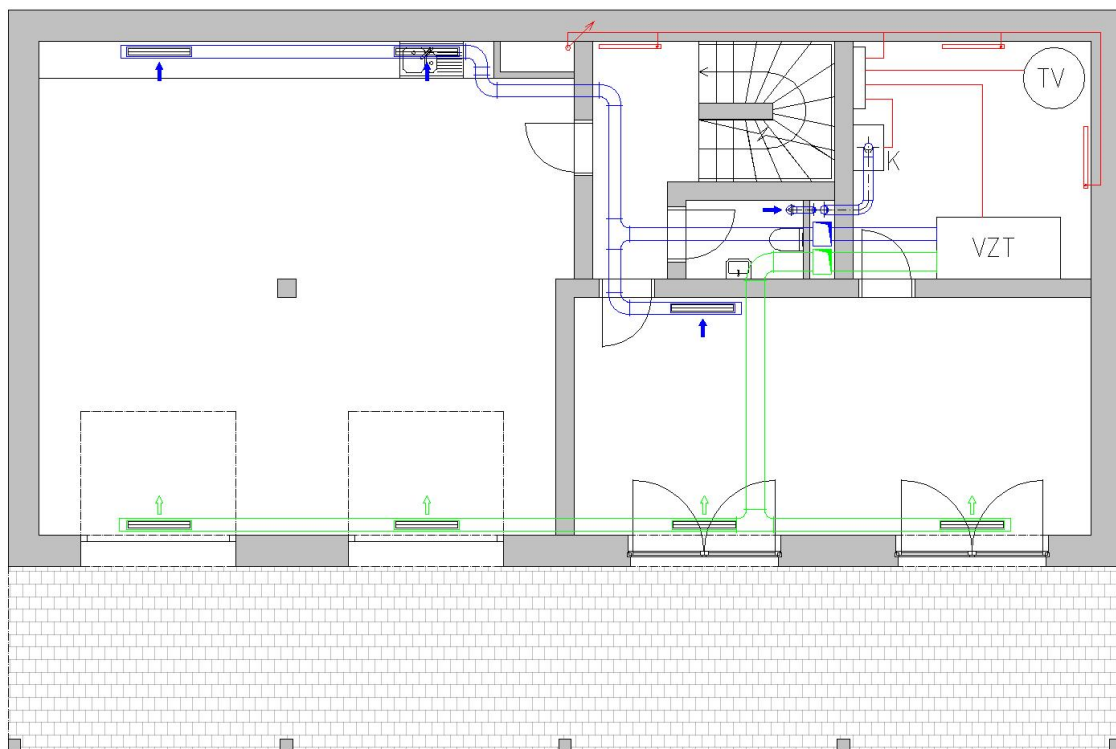
9.1.1 VARIANTA A

Zdrojem tepla na vytápění a přípravu teplé vody je plynový kondenzační kotel umístěný v technické místnosti v 1.PP. Otopná voda je přes rozdělovač/sběrač vedena do vzduchotechnické jednotky, akumulčního zásobníku teplé vody a otopných těles v technických místnostech a místnostech hygienického zázemí objektu.

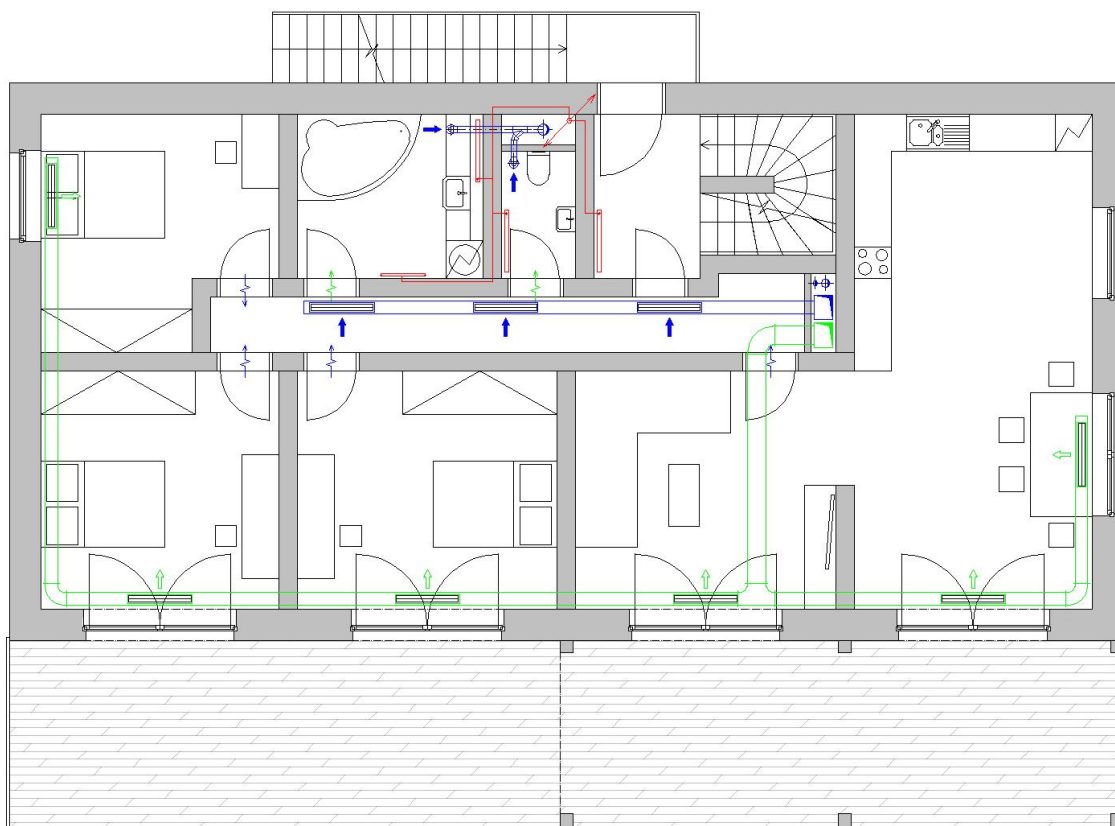
Rozvod tepla po obytných místnostech a garáži zajišťuje centrální vzduchotechnická cirkulační vytápěcí a větrací jednotka umístěná taktéž v technické místnosti v 1.PP. Jednotka disponuje deskovým rekuperačním výměníkem a teplovodním ohříváčem napojeným na zdroj tepla. Přívod vzduchu do obytných místností je řešen čtyřhrannými vyústkami umístěnými nad okny, následně vzduch odchází mřížkami ve dveřích na chodbu, kde je odsáván.

Větrání místností hygienického zázemí objektu není napojeno na centrální vzduchotechnickou jednotku, aby nedocházelo k šíření škodlivin zde vznikajících do obytných místností. V koupelnách a na WC jsou instalovány odtahové ventilátory, odpadní vzduch je odváděn přímo nad střechu.

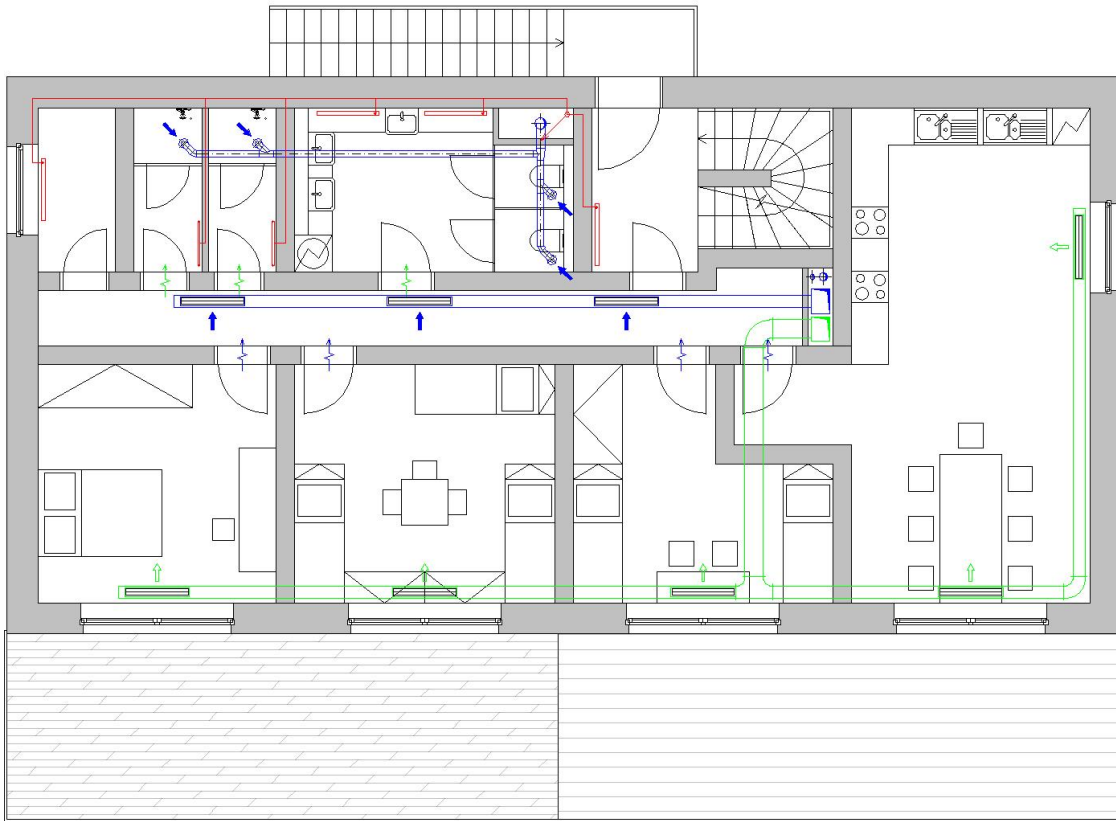
Vytápění místností hygienického zázemí, vstupu do objektu a technických místností kromě garáže je řešeno deskovými či trubkovými otopnými tělesy.



Obrázek 35: Schéma vytápění a větrání 1.PP – varianta A



Obrázek 36: Schéma vytápění a větrání 1.NP – varianta A



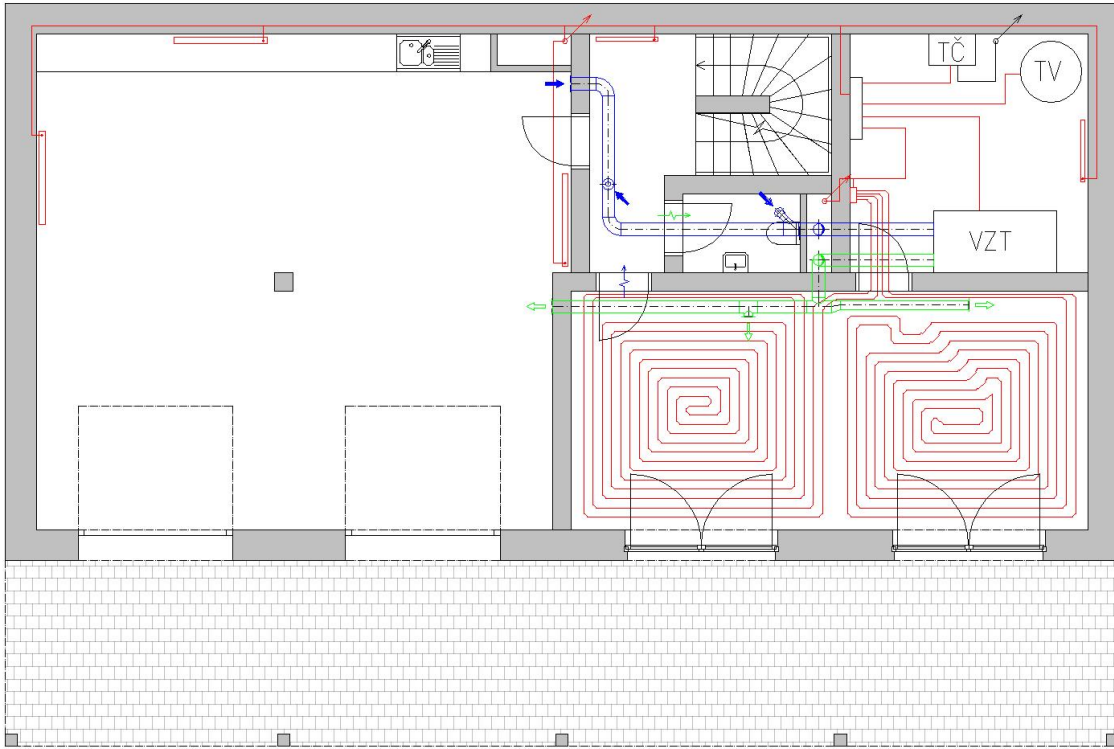
Obrázek 37: Schéma vytápění a větrání 2.NP – varianta A

9.1.2 VARIANTA B

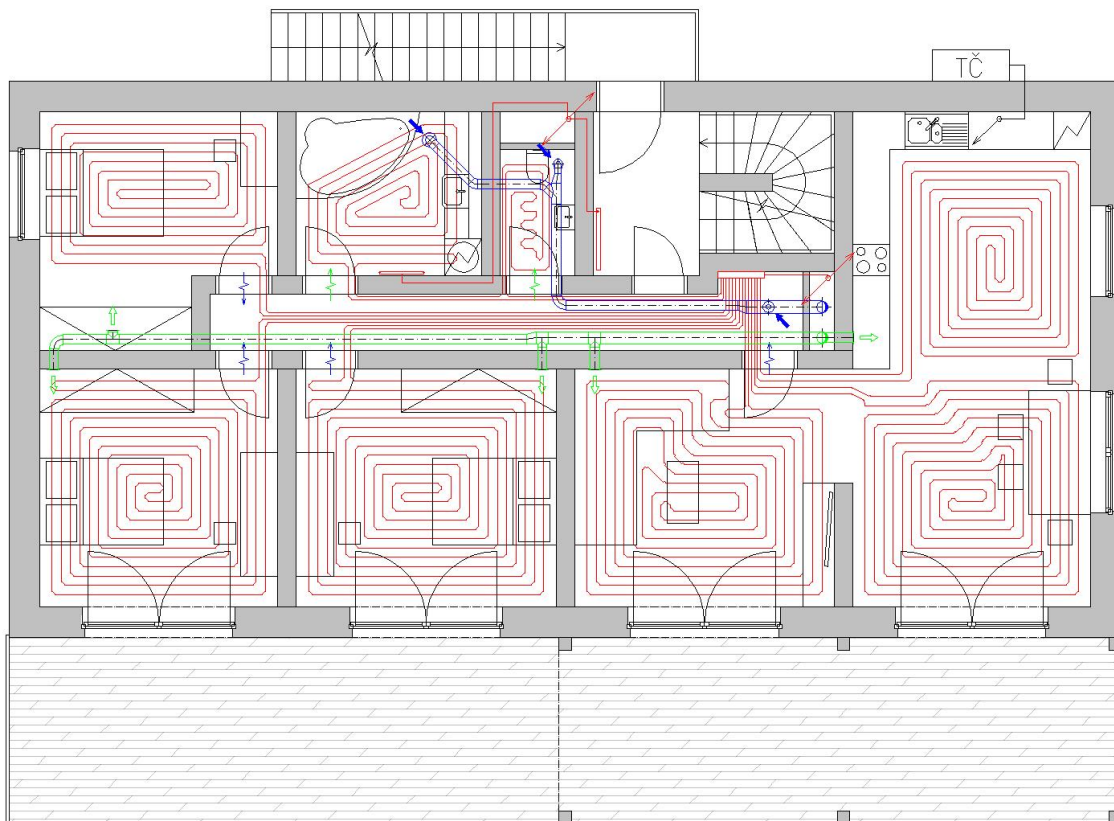
Zdrojem tepla na vytápění a přípravu teplé vody je tepelné čerpadlo vzduch-voda. Vnitřní jednotka tepelného čerpadla je umístěna v technické místnosti v 1.PP, venkovní jednotka se nachází na severní straně objektu na terénu, tedy v úrovni vchodu do 1.NP. Vnitřní a venkovní jednotka tepelného čerpadla je propojena chladivovým potrubím. Z vnitřní jednotky tepelného čerpadla je otopná voda vedena do rozdělovače/sběrače, ze kterého jsou vyvedeny dvě větve pro vytápění objektu, jedna zajišťující vytápění otopnými tělesy, druhá pro podlahové vytápění, otopná voda dále zajišťuje ohřev teplé vody v akumulacním zásobníku a ohřev čerstvého vzduchu ve vzduchotechnické jednotce.

Vytápění objektu je navrženo teplovodní, a to primárně podlahovým topením zabudovaným do roznášecí betonové vrstvy plovoucí podlahy. V nadzemních podlažích je v koupelnách podlahové vytápění doplněno trubkovými otopnými tělesy. Garáž, technická místnost, prostor schodiště a sklad ve 2.NP jsou vytápěny pouze deskovými otopnými tělesy.

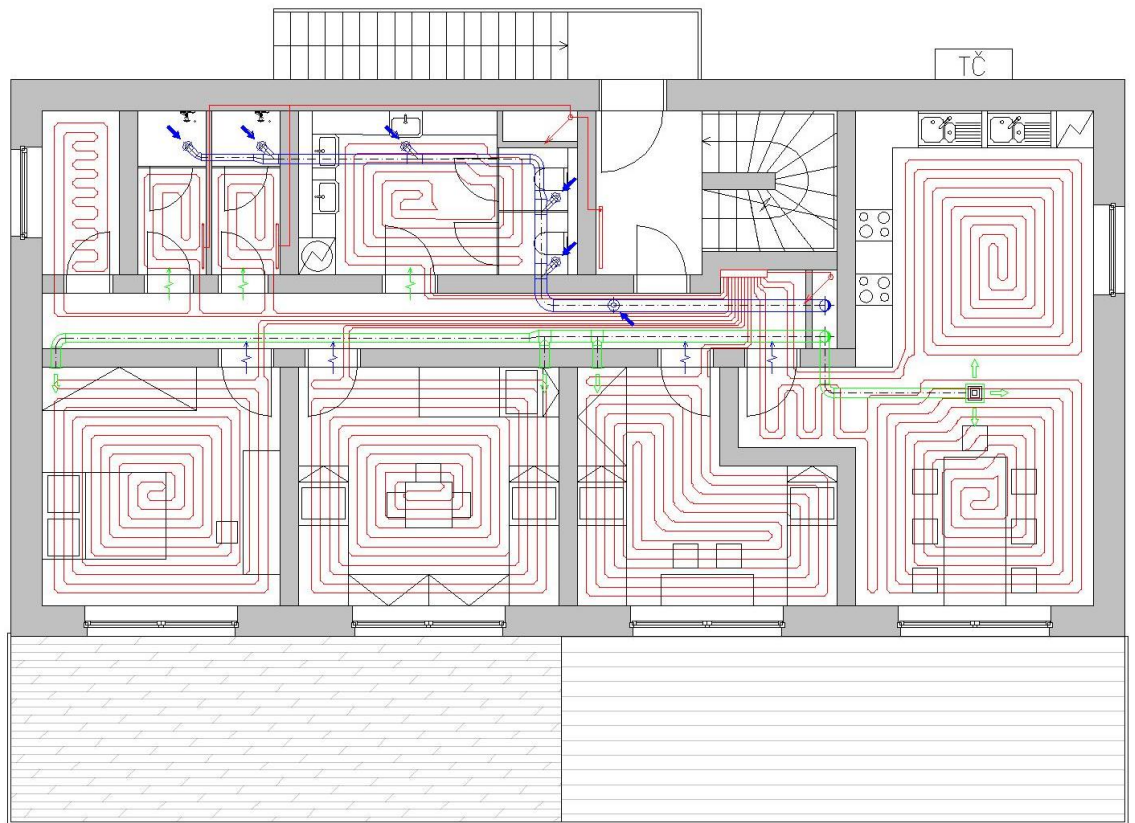
Přívod čerstvého vzduchu do obytných místností a garáže je zajišťuje centrální vzduchotechnická jednotka umístěná v technické místnosti v 1.PP. Jednotka je osazena deskovým rekuperačním výměníkem a teplovodním ohřevačem napojeným na zdroj tepla. Vzduch z obytných místností je převáděn přes větrací otvory ve dveřích do chodby a následně je odsáván z místností hygienického zázemí a chodby. Větrání místností hygienického zázemí je součástí centrálního větrání objektu, protože vzduchotechnická jednotka není navržena pro směšování a cirkulaci vzduchu, pouze pro přívod čerstvého venkovního vzduchu. Hlavní rozvod vzduchotechnického potrubí je veden pod stropem na chodbě, z něj jsou vyvedeny odbočky k jednotlivým obytným místnostem. Pro přívod i odvod vzduchu jsou navrženy talířové ventily umístěné na stěně či v podhledu.



Obrázek 38: Schéma vytápění a větrání 1.PP – varianta B



Obrázek 39: Schéma vytápění a větrání 1.NP – varianta B



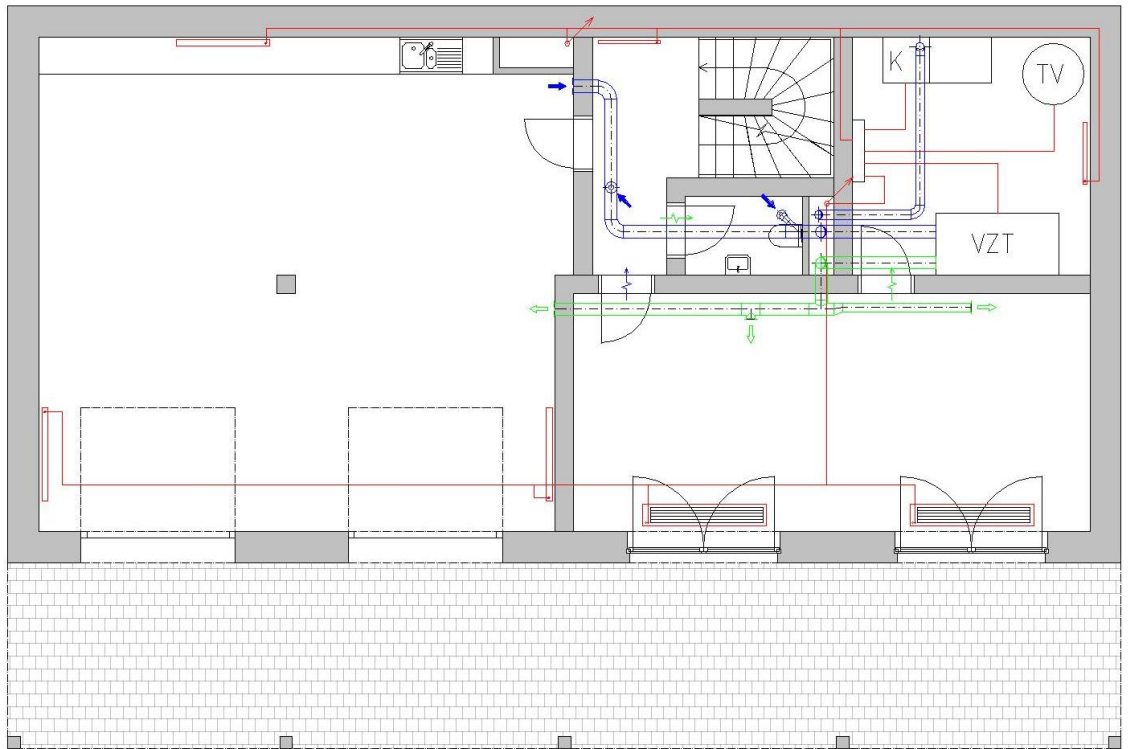
Obrázek 40: Schéma vytápění a větrání 2.NP – varianta B

9.1.3 VARIANTA C

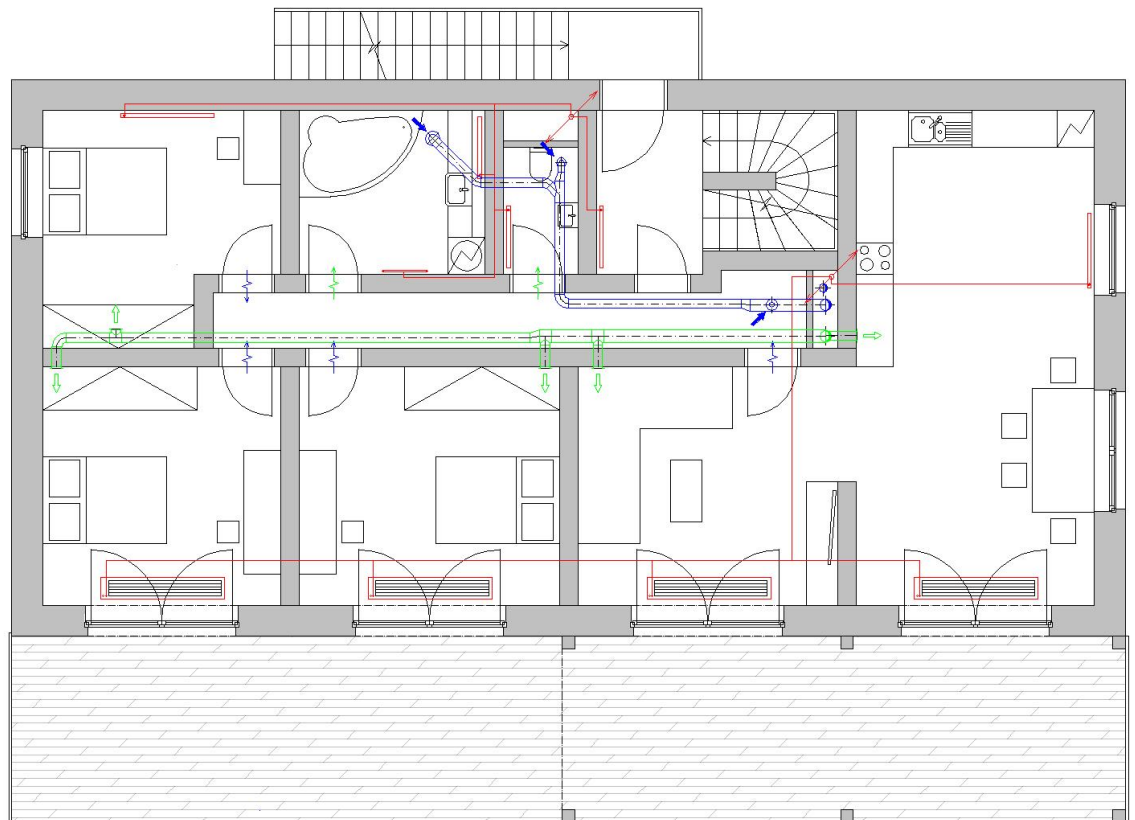
Zdrojem tepla v poslední zvažované variantě technického zařízení objektu je automatický kotel na dřevěné pelety. Kotel je vybaven zásobníkem a řídicí jednotkou, dokáže si sám doplňovat palivo a zapalovat oheň. Kotel je umístěn v technické místnosti v 1.PP, odvod spalin je vyveden na střechu objektu. Z kotle je otopná voda vedena do rozdělovače/sběrače a následně do dvou větví otopného systému objektu, do výměníku tepla ve vzduchotechnické jednotce a do akumulčního zásobníku teplé vody.

Vytápění objektu je zajištěno teplovodní dvoutrubkovou otopnou soustavou s protiproudým zapojením rozdělenou do dvou větví, jedna zajišťující vytápění severní části objektu, druhá pro vytápění obytných místností umístěných v jižní části objektu. Sdílení tepla do prostoru je zajištěno podlahovými konvektory, deskovými a trubkovými otopnými tělesy. Podlahové konvektory jsou použity pod okny orientovanými na jih u obytných místností v 1.PP a 1.NP, důvodem jsou navržená francouzská okna bez parapetu. V ostatních místnostech jsou navržena desková otopná tělesa umístěná především pod okny nebo u obvodových stěn, případně trubková otopná tělesa v koupelnách.

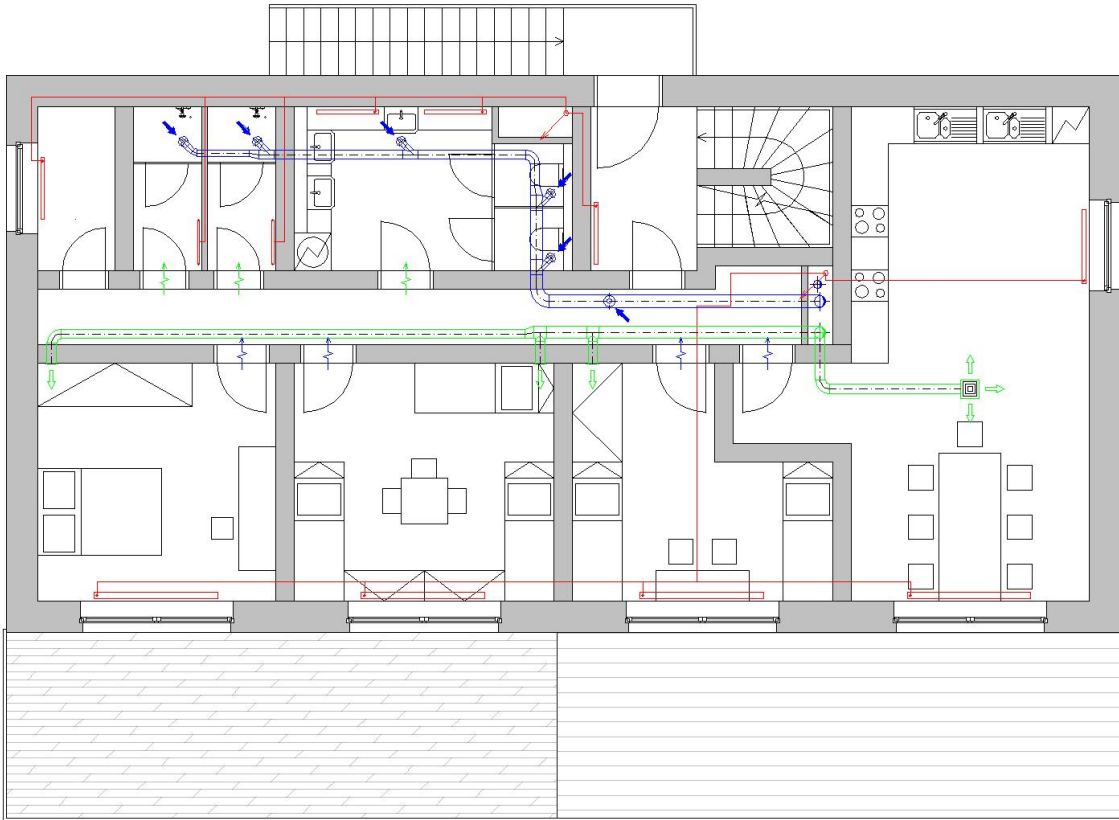
Přívod čerstvého vzduchu do objektu je řešen stejně jako ve variantě B. Větrání je nucené centrální vzduchotechnickou jednotkou, umístěnou v technické místnosti v 1.PP. Čerstvý vzduch je přiváděn do obytných místností a odpadní vzduch je odsáván z místností hygienického zázemí a chodby. Pro přívod i odvod vzduchu jsou navrženy talířové ventily.



Obrázek 41: Schéma vytápění a větrání 1.PP – varianta C



Obrázek 42: Schéma vytápění a větrání 1.NP – varianta C



Obrázek 43: Schéma vytápění a větrání 2.NP – varianta C

9.2 SPOTŘEBA PROVOZNÍ ENERGIE

9.2.1 VYTÁPĚNÍ

Účinnost systému vytápění

Účinnost systému vytápění je stanovena dle ČSN 73 0331-1.

Sezónní účinnost výroby tepla zdrojem tepla dle tab. A.5 je 0,94 pro plynový kotel do 35 kW určený pro vytápění a přípravu teplé vody, dle tab. A.7 je 0,88 pro kotel na pevná paliva do jmenovitého výkonu 50 kW s automatickým přikládáním splňující požadavky třídy V. Sezónní účinnost tepelného čerpadla je nahrazena ročním provozním topným faktorem pro vytápění a pro přípravu teplé vody. Ve variantě B technického zařízení budovy je uvažováno s tepelným čerpadlem vzduch/voda a návrhovou výstupní teplotou otopné vody 45 °C a požadovanou teplotou teplé vody 50 °C. Typická hodnota jmenovitého topného faktoru tepelného čerpadla vzduch/voda dle tab. A.11 je 3,1, součinitel ročního provozu TČ pro vytápění dle tab. A.12 je 0,93 a pro přípravu teplé vody dle tab. A.13 je 0,77. [8]

$$COP_{H,gen} = f_{H,COP} \cdot COP_n$$

$$COP_{H,gen} = f_{W,COP} \cdot COP_n$$

kde:

| | | |
|---------------|-----|---|
| $COP_{H,gen}$ | [-] | roční provozní topný faktor pro vytápění nebo přípravu TV |
| $f_{H,COP}$ | [-] | součinitel ročního provozu TČ pro vytápění |
| $f_{W,COP}$ | [-] | součinitel ročního provozu TČ pro přípravu TV |
| COP_n | [-] | jmenovitý topný faktor TČ při jmenovitých podmínkách stanovených podle ČSN EN 14511-2 |

$$COP_{H,gen} = 0,93 \cdot 3,1 = 2,88$$

$$COP_{H,gen} = 0,77 \cdot 3,1 = 2,39$$

| Varianta TZB | Zdroj tepla | Sezónní účinnost výroby tepla zdrojem tepla |
|--------------|---|---|
| A | plynový kotel do 35 kW pro vytápění a přípravu teplé vody | $\eta_{H,gen} = 0,94$ |
| B | tepelné čerpadlo vzduchu/voda pro vytápění | $COP_{H,gen} = 2,88$ |
| | tepelné čerpadlo vzduchu/voda pro přípravu teplé vody | $COP_{H,gen} = 2,39$ |
| C | kotel na pevná paliva do 50 kW s automat. příkládáním třídy V | $\eta_{H,gen} = 0,88$ |

Tabulka 38: Souhrnná tabulka sezónní účinnosti výroby tepla zdrojem tepla pro jednotlivé varianty TZB

Účinnost distribuce energie na vytápění teplovodními systémy při vedení rozvodů ve vytápěných prostorách dle tab. A.20 při teplotě otopné vody do 45 °C je 0,93 a při teplotě otopné vody do 60 °C je 0,92. Účinnost distribuce energie na vytápění pro teplovzdušné systémy je určena dle tab. A.23, při objemovém průtoku vzduchu 600 až 4000 m³/h odpovídá 0,89. [8]

| Varianta TZB | Rozvod tepla | Účinnost distribuce energie na vytápění |
|--------------|---|---|
| A | teplovzdušný systém s objemovým průtokem 600–4000 m ³ /h | $\eta_{H,ahu,dis} = 0,89$ |
| B | teplovodní systém s teplotou otopné vody do 45 °C | $\eta_{H,dis} = 0,93$ |
| A, C | teplovodní systém s teplotou otopné vody do 60 °C | $\eta_{H,dis} = 0,92$ |

Tabulka 39: Souhrnná tabulka účinnosti distribuce energie na vytápění pro jednotlivé varianty TZB

Typické účinnosti sdílení energie na vytápění mezi koncovými prvky vytápění a vytápěnou zónou jsou určeny dle tab. A.24. Sdílení tepla do prostoru teplovodním systémem vytápění s otopnými tělesy je 0,88, teplovodním podlahovým vytápěním provedeným mokřím způsobem je 0,83 a v případě centrálního teplovzdušného systému vytápění je účinnost sdílení energie do prostoru 0,92. [8]

| Varianta TZB | Systém vytápění | Účinnost sdílení tepelné energie do prostoru |
|--------------|---|--|
| A | teplovzdušný systém pro bytové domy | $\eta_{H,em} = 0,92$ |
| B | teplovodní podlahové vytápění provedené mokřím způsobem | $\eta_{H,em} = 0,83$ |
| A, B, C | teplovodní systém s deskovými otopnými tělesy | $\eta_{H,em} = 0,88$ |

Tabulka 40: Souhrnná tabulka účinnosti sdílení tepelné energie do vytápěného prostoru pro jednotlivé varianty TZB

Celková účinnost systému vytápění je určena jako součin dílčích účinností systému vytápění, a to účinnosti výroby tepla zdrojem tepla, účinnosti distribuce tepelné energie na vytápění a účinnosti sdílení tepelné energie do vytápěného prostoru.

$$\eta_{A,UT-vzt} = \eta_{H,gen} \cdot \eta_{H,ahu,dis} \cdot \eta_{H,em} = 0,94 \cdot 0,89 \cdot 0,92 = \mathbf{0,77}$$

$$\eta_{A,UT-ot} = \eta_{H,gen} \cdot \eta_{H,dis} \cdot \eta_{H,em} = 0,94 \cdot 0,92 \cdot 0,88 = \mathbf{0,76}$$

$$\eta_{B,UT-pdl} = COP_{H,gen} \cdot \eta_{H,dis} \cdot \eta_{H,em} = 2,88 \cdot 0,93 \cdot 0,83 = \mathbf{2,22}$$

$$\eta_{B,UT-ot} = COP_{H,gen} \cdot \eta_{H,dis} \cdot \eta_{H,em} = 2,88 \cdot 0,93 \cdot 0,88 = \mathbf{2,36}$$

$$\eta_{C,UT} = \eta_{H,gen} \cdot \eta_{H,dis} \cdot \eta_{H,em} = 0,88 \cdot 0,92 \cdot 0,88 = \mathbf{0,71}$$

| Varianta TZB | Systém vytápění | Celková účinnost systému vytápění |
|--------------|--|-----------------------------------|
| A | plynový kondenzační kotel, teplovzdušné vytápění | $\eta_{A,UT-vzt} = 0,77$ |
| | plynový kondenzační kotel, vytápění otopnými tělesy | $\eta_{A,UT-ot} = 0,76$ |
| B | tepelné čerpadlo vzduch/voda, podlahové vytápění | $\eta_{B,UT-pdl} = 2,22$ |
| | tepelné čerpadlo vzduch/voda, vytápění otopnými tělesy | $\eta_{B,UT-ot} = 2,36$ |
| C | kotel na biomasu, vytápění otopnými tělesy | $\eta_{C,UT-ot} = 0,71$ |

Tabulka 41: Souhrnná tabulka celkových účinností systémů vytápění pro jednotlivé varianty TZB

Roční spotřeba energie na vytápění

Roční spotřeba energie na vytápění vyplývá z roční dynamické simulace objektu s výše navrženým provozem objektu a odhadnutými účinnostmi systému vytápění dle ČSN 73 0331-1.

$$Q_{A,fuel,H} = \mathbf{28\ 319,7\ kWh/a} = \mathbf{101\ 950,9\ MJ/a} = \mathbf{254,9\ MJ/(m^2a)}$$

$$Q_{B,fuel,H} = \mathbf{11\ 912,6\ kWh/a} = \mathbf{42\ 885,4\ MJ/a} = \mathbf{107,2\ MJ/(m^2a)}$$

$$Q_{C,fuel,H} = \mathbf{37\ 558,9\ kWh/a} = \mathbf{135\ 212,0\ MJ/a} = \mathbf{338,0\ MJ/(m^2a)}$$

9.2.2 VĚTRÁNÍ

Objemový průtok čerstvého venkovního vzduchu

Minimální množství větracího vzduchu v obytných místnostech je určeno jako maximum z objemového průtoku podle počtu obyvatel a podle intenzity větrání. Dle požadavků na větrání obytných budov v ČSN EN 15 665 je doporučená intenzita větrání $0,5 \text{ h}^{-1}$ a doporučená dávka venkovního vzduchu $25 \text{ m}^3/\text{h}$ na osobu. V objektu je uvažováno maximálně se 12 osobami, 5 osob v 1.NP a 7 osob ve 2.NP. Podlahová plocha obytných místností je 221 m^2 a světlá výška je 2,6 m.

$$V_e = \max(V_{e,os}; V_{e,in})$$

kde:

| | | |
|------------|-------------------------|---|
| V_e | $[\text{m}^3/\text{h}]$ | množství venkovního vzduchu |
| $V_{e,os}$ | $[\text{m}^3/\text{h}]$ | množství venkovního vzduchu podle počtu osob |
| $V_{e,in}$ | $[\text{m}^3/\text{h}]$ | množství venkovního vzduchu dle intenzity větrání |

$$V_{e,os} = p \cdot V_{pos}$$

kde:

| | | |
|-----------|-------------------------|--------------------------------------|
| p | $[-]$ | počet osob |
| V_{pos} | $[\text{m}^3/\text{h}]$ | množství venkovního vzduchu na osobu |

$$V_{e,in} = V \cdot i$$

kde:

| | | |
|-----|-------------------|---|
| V | $[\text{m}^3]$ | objem vnitřního vzduchu větraných místností |
| i | $[\text{h}^{-1}]$ | intenzita větrání |

$$V_{e,os} = 12 \cdot 25 = 300 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V_{e,in} = 221 \cdot 2,6 \cdot 0,5 = 287,3 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V_e = \max(300; 287,3) = \mathbf{300 \text{ m}^3/\text{h}}$$

Objemový průtok vzduchu pro teplovzdušné vytápění

Návrhový objemový průtok přiváděného vzduchu pro teplovzdušné vytápění je určen na základě celkové tepelné ztráty místností, jejichž teplota vnitřního vzduchu je upravována teplovzdušným vytápěním. Tepelná ztráta těchto místností je 9,27 kW. Teplota přiváděného vzduchu je 45 °C, teplota vnitřního vzduchu je jednotně uvažována 20 °C.

$$V_p = \frac{Q_{ztráta}}{\rho \cdot c \cdot (t_p - t_i)}$$

kde:

| | | |
|--------------|----------------------|---|
| V_p | [m ³ /s] | množství přiváděného vzduchu |
| $Q_{ztráta}$ | [W] | celková tepelná ztráta ve větraném prostoru |
| ρ | [kg/m ³] | hustota vzduchu |
| c | [J/(kg.K)] | měrná tepelná kapacita vzduchu |
| t_p | [°C] | teplota přiváděného vzduchu |
| t_i | [C] | teplota vzduchu v interiéru |

$$V_p = \frac{9270}{1,2 \cdot 1010 \cdot (45 - 20)} = 0,306 \frac{m^3}{s} = \mathbf{1\ 101,4\ m^3/h}$$

Účinnost zpětného získávání tepla

Ve všech navržených variantách řešení technického zařízení budovy je uvažováno se vzduchotechnickou jednotkou osazenou křížovým deskovým rekuperačním výměníkem tepla. Účinnost křížového deskového výměníku dle ČSN 73 0331-1 tab. A65 je 0,8 při objemovém průtoku vzduchu do 600 m³/h a 0,75 při objemovém průtoku od 600 do 5000 m³/h [8].

$$\eta_{H,hr} = \mathbf{0,80} \quad \text{pro objemový průtok vzduchu do } 600 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\eta_{H,hr} = \mathbf{0,75} \quad \text{pro objemový průtok vzduchu } 600 - 5000 \text{ m}^3/\text{h}$$

Roční spotřeba energie na větrání

Roční spotřeba energie na ohřev vzduchu je započítána v roční spotřebě energie na vytápění, spotřeba energie na pohon ventilátorů je určena v roční spotřebě energie na provoz energetických systémů dále.

9.2.3 PŘÍPRAVA TEPLÉ VODY

Roční spotřeba energie na přípravu teplé vody

Roční spotřeba energie na přípravu teplé vody vychází z dynamické simulace objektu v softwaru DesignBuilder. Při dynamické simulaci je uvažováno s potřebou teplé vody 40 l na osobu za den. Účinnost systému přípravy teplé vody je dána pouze účinností výroby tepla zdrojem tepla, která je určena dle ČSN 73 0331-1.

| Varianta TZB | Zdroj tepla | Sezónní účinnost výroby tepla zdrojem tepla |
|--------------|---|---|
| A | plynový kotel do 35 kW pro vytápění a přípravu teplé vody | $\eta_{H,gen} = 0,94$ |
| B | tepelné čerpadlo vzduchu/voda pro přípravu teplé vody | $COP_{H,gen} = 2,39$ |
| C | kotel na pevná paliva do 50 kW s automat. příkládáním třídy V | $\eta_{H,gen} = 0,88$ |

Tabulka 42: Souhrnná tabulka účinnosti přípravy teplé vody pro jednotlivé varianty TZB

$$Q_{A,fuel,DHW} = 9\,867,1 \text{ kWh/a} = 35\,521,6 \text{ MJ/a} = 88,8 \text{ MJ}/(\text{m}^2\text{a})$$

$$Q_{B,fuel,DHW} = 3\,880,8 \text{ kWh/a} = 13\,970,9 \text{ MJ/a} = 34,9 \text{ MJ}/(\text{m}^2\text{a})$$

$$Q_{C,fuel,DHW} = 10\,539,8 \text{ kWh/a} = 37\,943,3 \text{ MJ/a} = 94,9 \text{ MJ}/(\text{m}^2\text{a})$$

Roční spotřeba energie na přípravu teplé vody dle ČSN 73 0331-1

Spotřeba energie pro ohřev teplé vody je zjednodušeně určena i dle ČSN 73 0331-1 a tato hodnota porovnána s energetickými spotřebami vyplývajících z dynamické simulace. Tento krok slouží k ověření výsledků ze softwaru DesignBuilder.

$$Q_{W,nd,z,d} = f_z \cdot V_{W,j} \cdot \rho_w \cdot c_w \cdot (\theta_{W,h} - \theta_{W,c}) \cdot \frac{1 \cdot 10^{-3}}{3600}$$

kde:

| | | |
|----------------|--------------------------|---|
| $Q_{W,nd,z,d}$ | [kWh/a] | denní potřeba teplé vody |
| f_z | [os] | počet osob v objektu |
| $V_{W,j}$ | [m ³ /(os.a)] | roční spotřeba teplé vody na osobu |
| ρ_w | [kg/m ³] | měrná hmotnost vody |
| c_w | [J/(kg.K)] | měrná tepelná kapacita vody |
| $\theta_{W,h}$ | [°C] | průměrná roční teplota teplé vody v místě přípravy |
| $\theta_{W,c}$ | [°C] | průměrná roční teplota přiváděné studené vody |

$$Q_{W,nd,z,d} = 12 \cdot 14,6 \cdot 998 \cdot 4180 \cdot (55 - 10) \cdot \frac{1 \cdot 10^{-3}}{3600} = \mathbf{9\ 135,9\ kWh/a}$$
$$= \mathbf{32\ 889,2\ MJ/a} = \mathbf{82,2\ MJ/(m^2a)}$$

Spotřeba energie na ohřev teplé vody dle výsledků z dynamické simulace a dle výše uvedeného výpočtu se významně neliší. Při výpočtu spotřeby provozní primární energie jsou využity výsledky z dynamické simulace, které zahrnují i účinnost použitého zdroje tepla.

9.2.4 PROVOZ ENERGETICKÝCH SYSTÉMŮ

Spotřeba energie na provoz energetických systémů je určena dle ČSN 73 0331-1. Do spotřeby pomocné energie je započítána pouze energie na pohon oběhových čerpadel systému vytápění a pohon ventilátorů systému větrání.

Pomocná energie systému teplovodního vytápění

Průměrný roční elektrický příkon oběhových čerpadel teplovodního vytápění je určen zjednodušenou metodou podle plochy vytápěné zóny dle ČSN 73 0331-1 tab. A.33 a A.34. Ve všech variantách řešení technického zařízení budovy je uvažováno s víceúrovňovou regulací otáček oběhových čerpadel.

| Systém TZB | Systém vytápění | Vytápěná plocha | Průměrný roční el. příkon oběhových čerpadel |
|------------|--|----------------------|--|
| A | teplovodní vytápění otopnými tělesy | 86,7 m ² | $P_{H,p,1} = 12,8 \text{ W}$ |
| B | teplovodní vytápění podlahovým vytápěním | 279,4 m ² | $P_{H,p,1} = 49,0 \text{ W}$ |
| | teplovodní vytápění otopnými tělesy | 120,5 m ² | $P_{H,p,2} = 12,8 \text{ W}$ |
| C | teplovodní vytápění otopnými tělesy | 399,9 m ² | $P_{H,p,1} = 30,8 \text{ W}$ |

Tabulka 43: Souhrnná tabulka průměrných ročních elektrických příkonů oběhových čerpadel teplovodního vytápění pro jednotlivé varianty TZB

Doba provozu teplovodního systému je uvažována 24 hodin denně během otopného období. Délka otopného období je převzata z ČSN EN 12831-1, pro Liberec odpovídá 256 dnům.

Pomocná energie systému vytápění zahrnující spotřebu energie oběhovými čerpadly je pro jednotlivé navržené varianty vytápění objektu vypočítána na základě uvažovaného průměrného ročního příkonu oběhových čerpadel a roční doby provozu teplovodního systému vytápění.

$$Q_{aux,H} = 1 \cdot 10^{-3} \cdot \sum (P_{H,p,n} \cdot t_{H,HW,op})$$

kde:

| | | |
|---------------|---------|---|
| $Q_{aux,H}$ | [kWh/a] | roční spotřeba pomocné energie systému vytápění |
| $P_{H,p,n}$ | [W] | průměrný roční el. příkon oběhových čerpadel |
| $t_{H,HW,op}$ | [h] | roční doba provozu teplovodního systému |

$$Q_{A,aux,H} = 1 \cdot 10^{-3} \cdot [12,8 \cdot (24 \cdot 256)] = \mathbf{78,6 \text{ kWh/a}}$$

$$Q_{B,aux,H} = 1 \cdot 10^{-3} \cdot [49 \cdot (24 \cdot 256) + 12,8 \cdot (24 \cdot 256)] = \mathbf{379,7 kWh/a}$$

$$Q_{C,aux,H} = 1 \cdot 10^{-3} \cdot [30,8 \cdot (24 \cdot 256)] = \mathbf{189,2 kWh/a}$$

Pomocná energie systému teplovzdušného vytápění a větrání

Spotřeba energie na provoz vzduchotechnických jednotek zajišťujících ve variantě A teplovzdušné vytápění a přívod čerstvého vzduchu a ve variantách B a C mechanické větrání je určena na základě měrného elektrického příkonu ventilátorů, objemovém průtoku vzduchu a provozní doby systému nuceného větrání. Spotřeba elektrické energie odtahovými ventilátory navrženými pro odvod vzduchu z místností hygienického zázemí ve variantě A je na základě jejich předpokládaného krátkodobého provozu zanedbána.

Měrný příkon ventilátorů vzduchotechnických zařízení je určen dle ČSN 73 0331-1 tab. A.66 a tab. A68 na základě objemového průtoku vzduchu vycházejícího z výpočtu v kap. 8.2.2. Ve všech případech je uvažována vzduchotechnická jednotka osazená ventilátory s EC motory, které jsou oproti AC motorům energeticky úspornější.

| Systém TZB | Systém větrání | Max. objemový průtok vzduchu | Měrný příkon systému nuceného větrání |
|------------|---------------------------------------|---|---------------------------------------|
| A | teplvzdušné vytápění a nucené větrání | $V_e = 300 \text{ m}^3/\text{h}$ $V_p = 1101 \text{ m}^3/\text{h}$ | $P_{SFP,ahu} = 2600 \text{ W.s/m}^3$ |
| B | nucené větrání | $V_e = 300 \text{ m}^3/\text{h}$ | $P_{SFP,ahu} = 2670 \text{ W.s/m}^3$ |
| C | nucené větrání | $V_e = 300 \text{ m}^3/\text{h}$ | $P_{SFP,ahu} = 2670 \text{ W.s/m}^3$ |

Tabulka 44: Souhrnná tabulka objemových průtoků vzduchu a měrných příkonů systému nuceného větrání pro jednotlivé varianty TZB

Elektrický příkon ventilátorů systému nuceného větrání je stanoven jako součin měrného elektrického příkonu a objemového průtoku vzduchu.

$$P_{F,p} = P_{SFP,ahu} \cdot (V_e; V_p)$$

kde:

| | | |
|---------------|-----------------------|--|
| $P_{F,p}$ | [W] | instalovaný elektrický příkon ventilátorů systému nuceného větrání |
| $P_{SFP,ahu}$ | [W.s/m ³] | měrný elektrický příkon ventilátorů systému nuceného větrání |
| V_e | [m ³ /s] | množství venkovního vzduchu |

V_p [m³/s] množství přiváděného vzduchu

$$P_{A,F,p,1} = 2600 \cdot \frac{300}{3600} = 216,7 \text{ W}$$

$$P_{A,F,p,2} = 2600 \cdot \frac{1101}{3600} = 795,2 \text{ W}$$

$$P_{B,F,p} = P_{C,F,p} = 2670 \cdot \frac{300}{3600} = 222,5 \text{ W}$$

Provoz vzduchotechnických jednotek je předpokládán 24 hodin denně během celého roku. Systém nuceného větrání ve variantě A disponuje dvěma provozními stavy. V letním období systém zajišťuje pouze přívod čerstvého venkovního vzduchu o objemovém průtoku vzduchu 300 m³/h. Během otopného období vzduchotechnická jednotka zajišťuje teplovzdušné vytápění i přívod čerstvého vzduchu, maximální objemový průtok vzduchu během tohoto provozu je 1101 m³/h. Délka otopného období je stejně jako v případě vytápění uvažována 256 dní dle ČSN EN 12831-1.

Spotřeba pomocné elektrické energie pro pohon ventilátorů systému nuceného větrání vyplývá z příkonu ventilátorů a doby jejich provozu.

$$Q_{aux,F} = 1 \cdot 10^{-3} \cdot \sum (P_{F,p,n} \cdot t_{F,op})$$

kde:

| | | |
|-------------|---------|--|
| $Q_{aux,F}$ | [kWh/a] | roční spotřeba pomocné energie systému větrání |
| $P_{F,p,n}$ | [W] | instalovaný elektrický příkon ventilátorů systému nuceného větrání |
| $t_{F,op}$ | [h] | roční doba provozu systému nuceného větrání |

$$Q_{A,aux,F} = 1 \cdot 10^{-3} \cdot [216,7 \cdot (24 \cdot 109) + 795,2 \cdot (24 \cdot 256)] = \mathbf{5\ 452,6\ kWh/a}$$

$$Q_{B,aux,F} = Q_{C,aux,F} = 1 \cdot 10^{-3} \cdot [222,5 \cdot (24 \cdot 365)] = \mathbf{1\ 949,1\ kWh/a}$$

Celková pomocná energie pro provoz energetických systémů

Celková pomocná energie pro provoz energetických systémů je v tomto případě dána spotřebou energie pro pohon oběhových čerpadel systému teplovodního vytápění a pro pohon ventilátorů systému nuceného větrání.

$$Q_{fuel,Aux} = Q_{aux,H} + Q_{aux,F}$$

kde:

| | | |
|----------------|---------|---|
| $Q_{fuel,Aux}$ | [kWh/a] | roční spotřeba energie pro provoz energetických systémů |
| $Q_{aux,H}$ | [kWh/a] | roční spotřeba pomocné energie systému vytápění |
| $Q_{aux,F}$ | [kWh/a] | roční spotřeba pomocné energie systému větrání |

$$Q_{A,fuel,Aux} = 78,6 + 5\,452,6 = \mathbf{5\,531,2\ kWh/a} = \mathbf{19\,912,3\ MJ/a}$$
$$= \mathbf{49,8\ MJ/(m^2a)}$$

$$Q_{B,fuel,Aux} = 379,7 + 1\,949,1 = \mathbf{2\,328,8\ kWh/a} = \mathbf{8\,383,7\ MJ/a}$$
$$= \mathbf{21,0\ MJ/(m^2a)}$$

$$Q_{C,fuel,Aux} = 189,2 + 1\,949,1 = \mathbf{2\,138,3\ kWh/a} = \mathbf{7\,697,9\ MJ/a}$$
$$= \mathbf{19,2\ MJ/(m^2a)}$$

9.3 SPOTŘEBA PRIMÁRNÍ ENERGIE

Spotřeba primární energie při provozu je dána součinem spotřeby provozní energie jednotlivých systémů technického zařízení budovy a faktorů energetické přeměny. Použité konverzní faktory jsou přebrány z přílohy metodiky SBToolCZ.

9.3.1 VARIANTA A

| Roční spotřeba energie na | Označení | [MJ/a] | Energonositel |
|------------------------------|------------------|-----------|----------------------------|
| Vytápění | $Q_{A,fuel,H}$ | 101 950,9 | zemní plyn (REZZO3) |
| Příprava teplé vody | $Q_{A,fuel,DHW}$ | 35 521,6 | zemní plyn (REZZO3) |
| Provoz energetických systémů | $Q_{A,fuel,Aux}$ | 19 912,3 | elektrická energie ze sítě |

Tabulka 45: Souhrn provozní energie na vytápění, přípravu teplé vody a větrání ve variantě A řešení technického zařízení budovy

| Měrná spotřeba energie | Měrná roční dodaná energie [MJ/(m ² a)] | Konverzní faktor [MJ/MJ] | Měrná roční spotřeba primární energie [MJ/(m ² a)] |
|------------------------|--|--------------------------|---|
| $Q_{A,fuel,H}$ | 254,9 | 1,46 | 372,2 |
| $Q_{A,fuel,DHW}$ | 88,8 | 1,46 | 129,6 |
| $Q_{A,fuel,Aux}$ | 49,8 | 3,16 | 157,4 |
| Σ | 393,5 | - | 659,2 |

Tabulka 46: Výpočet měrné roční spotřeby primární energie na vytápění, přípravu teplé vody a větrání ve variantě A řešení technického zařízení budovy

9.3.2 VARIANTA B

| Roční spotřeba energie na | Označení | [MJ/a] | Energonositel |
|------------------------------|------------------|----------|----------------------------|
| Vytápění | $Q_{B,fuel,H}$ | 42 885,4 | elektrická energie ze sítě |
| Příprava teplé vody | $Q_{B,fuel,DHW}$ | 13 970,9 | elektrická energie ze sítě |
| Provoz energetických systémů | $Q_{B,fuel,Aux}$ | 8 383,7 | elektrická energie ze sítě |

Tabulka 47: Souhrn provozní energie na vytápění, přípravu teplé vody a větrání ve variantě B řešení technického zařízení budovy

| Měrná spotřeba energie | Měrná roční dodaná energie [MJ/(m ² a)] | Konverzní faktor [MJ/MJ] | Měrná roční spotřeba primární energie [MJ/(m ² a)] |
|------------------------|--|--------------------------|---|
| $Q_{B,fuel,H}$ | 107,2 | 3,16 | 338,8 |
| $Q_{B,fuel,DHW}$ | 34,9 | 3,16 | 110,3 |
| $Q_{B,fuel,Aux}$ | 21,0 | 3,16 | 66,4 |
| Σ | 163,1 | - | 515,4 |

Tabulka 48: Výpočet měrné roční spotřeby primární energie na vytápění, přípravu teplé vody a větrání ve variantě B řešení technického zařízení budovy

9.3.3 VARIANTA C

| Roční spotřeba energie na | Označení | [MJ/a] | Energonositel |
|------------------------------|------------------|-----------|----------------------------|
| Vytápění | $Q_{C,fuel,H}$ | 135 212,0 | dřevěné pelety (REZZO3) |
| Příprava teplé vody | $Q_{C,fuel,DHW}$ | 37 943,3 | dřevěné pelety (REZZO3) |
| Provoz energetických systémů | $Q_{C,fuel,Aux}$ | 7 697,9 | elektrická energie ze sítě |

Tabulka 49: Souhrn provozní energie na vytápění, přípravu teplé vody a větrání ve variantě C řešení technického zařízení budovy

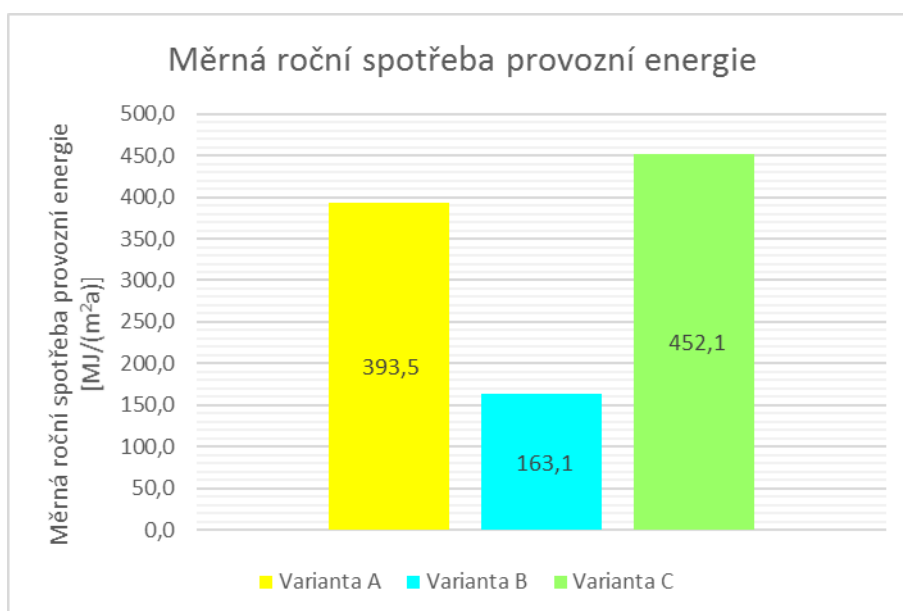
| Měrná spotřeba energie | Měrná roční dodaná energie [MJ/(m ² a)] | Konverzní faktor [MJ/MJ] | Měrná roční spotřeba primární energie [MJ/(m ² a)] |
|------------------------|--|--------------------------|---|
| $Q_{C,fuel,H}$ | 338,0 | 0,11 | 37,2 |
| $Q_{C,fuel,DHW}$ | 94,9 | 0,11 | 10,4 |
| $Q_{C,fuel,Aux}$ | 19,2 | 3,16 | 60,7 |
| Σ | 452,1 | | 108,3 |

Tabulka 50: Výpočet měrné roční spotřeby primární energie na vytápění, přípravu teplé vody a větrání ve variantě C řešení technického zařízení budovy

9.4 VYHODNOCENÍ ŘEŠENÍ TECHNICKÉHO ZAŘÍZENÍ BUDOVY

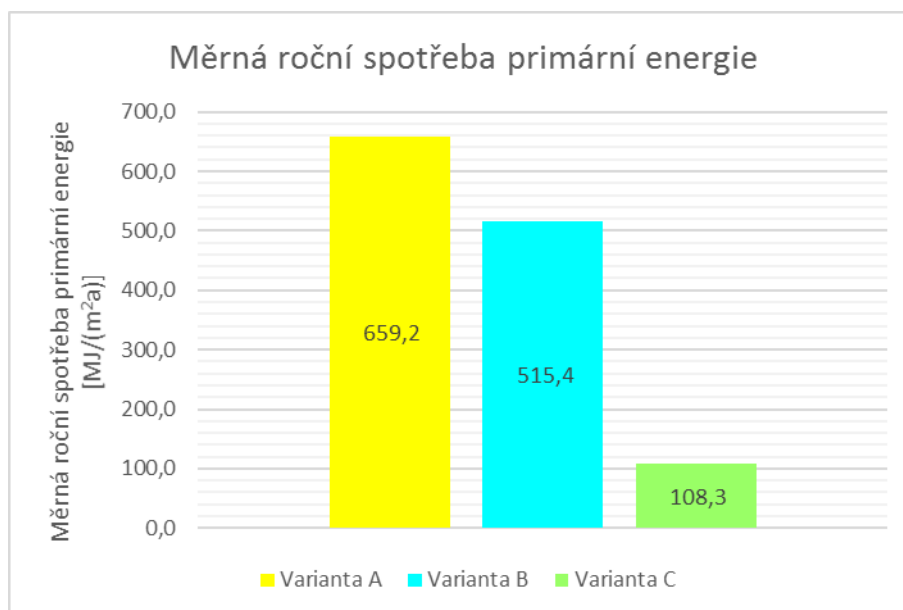
Na následujících grafech je znázorněna celková měrná roční spotřeba energie a spotřeba primární energie na vytápění, přípravu teplé vody a větrání jednotlivých navržených variant řešení technického zařízení budovy.

Největší spotřeba energie je ve všech variantách tvořena spotřebou energie na vytápění. Její množství je závislé především na účinnosti výroby tepla zdrojem tepla. Z tohoto důvodu je roční spotřeba provozní energie ve variantě B, při použití tepelného čerpadla, výrazně nižší než ve variantě s plynovým kotlem nebo kotlem na dřevěné pelety, což je varianta ze všech zvažovaných možností ta nejméně efektivní.



Graf 30: Měrná roční spotřeba energie na vytápění, přípravu teplé vody a větrání pro jednotlivé varianty TZB

Celková spotřeba provozní energie ve variantě s kotlem na dřevěné pelety je nejvyšší, mohlo by se tak zdát, že se jedná o zdroj z hlediska šetření energií nevyhovující. Nicméně na základě výsledků spotřeby celkové primární energie pro provoz vytápění, přípravu teplé vody a větrání budovy se jedná o variantu nejhodnější. Výhodou kotle na pelety oproti ostatním uvažovaným zdrojům tepla je, že palivem je obnovitelný zdroj energie. I přes nutnost zpracování prvotní suroviny, dřeva, do formy pelet, je konverzní faktor primární energie o mnoho nižší než u neobnovitelných zdrojů energie. V neprospěch tepelného čerpadla jako zdroje tepla hraje vysoký faktor neobnovitelné primární energie udávaný v ČR pro elektřinu ze sítě.



Graf 31: Měrná roční spotřeba primární energie na vytápění, přípravu teplé vody a větrání pro jednotlivé varianty TZB

Tepelné čerpadlo jako zdroj tepla by z hlediska spotřeby primární energie bylo vhodnější v objektu s nižší tepelnou ztrátou, a tak nižší potřebou tepla, případně zdroj energie doplnit některým z alternativních zdrojů energie. Plynový kondenzační kotel i teplovzdušné vytápění prostoru zvažované v první variantě řešení technického zařízení budovy disponují vysokou účinností, navíc konverzní faktor primární energie je více než o polovinu nižší vzhledem k elektřině ze sítě, i přesto dosahuje tato varianta z hlediska spotřeby primární energie nejnepříznivějších výsledků. Nejvyšší spotřeba primární energie ve variantě A je dána vyšším konverzním faktorem zemního plynu v porovnání s kotlem na pelety a také vyšší spotřebou pomocné energie pro provoz ventilátorů teplovzdušného vytápění, jejíž zdrojem je elektrická energie ze sítě.

Variantou s nejnižší spotřebou primární energie na provoz vytápění, přípravu teplé vody a větrání je řešení technického zařízení objektu, ve kterém je zdrojem tepla kotel na dřevěné pelety, vytápění objektu je teplovodní kombinací konvektorů, deskových a trubkových otopných těles a větrání objektu zajišťuje centrální vzduchotechnická jednotka s deskový rekuperačním výměníkem tepla.

10 ZÁVĚR

Pro snižování spotřeby primární energie budovou ve fázi výstavby i provozu je zásadní využívání obnovitelných zdrojů materiálu a energie.

V případě snižování svázané spotřeby primární energie je vhodné použití přírodních obnovitelných materiálů, které disponují menší měrnou spotřebou svázané energie. Jejich výhodou je často i nižší hmotnost, recyklovatelnost a lokální dostupnost. Jako nevhodné se na základě studie jeví používání polystyrenu jako hlavního tepelně-izolačního materiálu, jeho výroba je nejen energeticky náročná, ale jedná se i o materiál špatně recyklovatelný po použití ve stavbě.

Pro snížení spotřeby primární energie při provozu je důležité nejenom snížit celkovou energetickou náročnost budovy, ale také využívat v co největší míře obnovitelné zdroje energie. Zdá se, že rozdíl mezi obnovitelným a neobnovitelným zdrojem energie z hlediska spotřeby primární energie při provozu je zcela zásadní.

Snížení spotřeby primární energie vede ke snížení vlivu budov na životní prostředí, a tak k trvale udržitelné výstavbě.

11 ZDROJE

11.1 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. KABELE, Karel. Energetická náročnost budov v souvislostech s platnou legislativou ČR. Praha: ABF - nakl. ARCH, 2008. ISBN 978-80-86905-45-7.
2. Zákon č. 318/2012 Sb., kterým se mění zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů. In: Zákony pro lidi [online]. AION CS s.r.o. [cit. 2018-09-05]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-318>
3. Vyhláška č. 78/2013 Sb., ve znění zákona č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů a zákona č. 318/2012 Sb., o hospodaření energií. In: Zákony pro lidi [online]. AION CS s.r.o. [cit. 2018-09-05]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2013-78>
4. HUDEC, Mojmír, Blanka JOHANISOVÁ a Tomáš MANSBART. Pasivní domy z přírodních materiálů. Praha: Grada, 2013. ISBN 978-80-247-4243-4.
5. ČSN 73 4301. Obytné budovy. Praha: Český normalizační institut, 2004.
6. ČSN 73 4108. Hygienická zařízení a šatny. Praha: Český normalizační institut, 2013.
7. ČSN 73 0540-2. Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky. Praha: Český normalizační institut, 2011.
8. ČSN 73 0331-1. Energetická náročnost budov – Typické hodnoty pro výpočet – Část 1: Obecná část a měsíční výpočtová data. Praha: Český normalizační institut, 2018.
9. TNI 73 0329. Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění – Rodinné domy. Praha: Český normalizační institut, 2010.
10. ČSN EN 15665. Větrání budov – Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov. Praha: Český normalizační institut, 2009.
11. ČSN EN 12831-1. Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu – Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3-3. Praha: Český normalizační institut, 2018.
12. VONKA, Martin a kol. SBToolCZ pro bytové domy. Praha, 2013. ISBN 978-80-01-05125-2.
13. VONKA, Martin a kol. SBToolCZ pro rodinné domy. Praha, 2013. ISBN 978-80-01-05126-9.
14. BÁČOVÁ, Marie. Manuál energeticky úsporné architektury: novostavby, panelové domy, změny staveb, historické objekty. Praha: Státní fond životního prostředí ve spolupráci s Českou komorou architektů, 2010. ISBN 8090457711; 9788090457713.

15. KABELE, Karel. Energetické a ekologické systémy 1: zdravotní technika, vytápění. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03327-9.
16. PAPEŽ, Karel. Energetické a ekologické systémy budov 2: vzduchotechnika, chlazení, elektroinstalace a osvětlení. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03622-8.
17. KABELE, Karel. Technická zařízení budov: vytápění – podklady pro cvičení. Praha: České vysoké učení technické, 2013. ISBN 978-80-01-05203-7.
18. PETRÁŠ, Dušan. Vytápění rodinných a bytových domů. Bratislava: Jaga, 2005. ISBN 80-8076-020-9.
19. PETRÁŠ, Dušan. Nízkoteplotní vytápění a obnovitelné zdroje energie. Bratislava: Jaga group, 2008. ISBN 978-80-8076-069-4.
20. MURTINGER, Karel. Úsporný rodinný dům. Praha: Grada, 2013. ISBN 978-80-247-4559-6.

11.2 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

21. KREBSOVÁ, Jarmila. Studie EU: obytné budovy tvoří 40 % celkové spotřeby energie. In: Ministerstvo životního prostředí [online]. Ministerstvo životního prostředí. [cit. 2018-09-05]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/news_tz101021Studie_EU_uspor%20energie
22. KABELE, Karel. Revize evropské směrnice 2002/91/ES o energetické náročnosti budov. In: tzb-info [online]. Topinfo s.r.o. [cit. 2018-09-05]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/6739-revize-evropske-smernice-2002-91-es-o-energeticke-narocnosti-budov>
23. SRDEČNÝ, Karel. Šedá energie v pasivních domech. In: ekolist [online]. BEZK. [cit. 2018-09-05]. Dostupné z: <https://ekolist.cz/cz/zelena-domacnost/rady-a-navody/seda-energie-v-pasivnich-domech>
24. NOVOTNÝ, Jiří a Tomáš MATUŠKA. Neobnovitelná primární energie. In: tzb-info [online]. Topinfo s.r.o. [cit. 2018-09-05]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-vytapani/16491-neobnovitelna-primarni-energie>
25. Energetická náročnost budov – definice pojmů. In: tzb-info [online]. Topinfo s.r.o. [cit. 2018-09-05]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/239-energeticka-narocnost-budov-definice-pojmu>
26. RUBINOVÁ, Olga. Budova a energie, energetická náročnost a legislativa ČR. In: Fakulta stavební, Ústav technických zařízení budov [online]. Vysoké učení technické v Brně. [cit. 2018-09-08]. Dostupné z: <https://www.fce.vutbr.cz/TZB/rubinova.o/prednasky/tp08.pdf>
27. SBToolCZ [online]. Fakulta stavební, ČVUT v Praze. [cit. 2018-09-08]. Dostupné z: <https://www.sbtool.cz/cs/>

28. SBToolCZ. In: wikipedie [online]. Wikimedia Česká republika. [cit. 2018-09-08]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/SBToolCZ>
29. DesignBuilder [online]. DesignBuilder Software Ltd. [cit. 2018-09-08]. Dostupné z: <https://designbuilder.cz/>
30. Cooling Design Calculation [online]. DesignBuilder Software Ltd. [cit. 2018-09-08]. Dostupné z: https://www.designbuilder.co.uk/helpv2/Content/Cooling_design_simulation.htm
31. Ke stažení, CAD detaily podkategorie [online]. HELUZ cihlářský průmysl v.o.s. [cit. 2018-09-10]. Dostupné z: <https://www.heluz.cz/cs/ke-stazeni/cad-detaily-podkategorie>
32. Konstrukční detaily pro montovaný strop Klasik [online]. Xella International GmbH. [cit. 2018-09-10]. Dostupné z: <https://www.ytong.cz/konstrukcni-detaily-pro-montovany-strop-klasik.php>
33. Katalog materiálů [online]. Fakulta stavební, ČVUT v Praze. [cit. 2018-09-12]. Dostupné z: <http://envimat.cz/materialy/>
34. Venkovní výpočtové teploty a otopná období dle lokalit. In: tzb-info [online]. Topinfo s.r.o. [cit. 2018-09-05]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/25-venkovni-vypoctove-teploty-a-otopna-obdobi-dle-lokalit>
35. Jak odhadnout spotřebu elektřiny v domácnosti [online]. Lumius, spol. s.r.o. [cit. 2018-10-10]. Dostupné z: <https://dodavatelektriny.cz/uzitecne-informace/jak-odhadnout-spotrebu-elekriny>
36. ČEJKA, Michal a Miroslav ŠAFAŘÍK. Ekonomické porovnání provozu pasivního domu a běžné výstavby. In: tzb-info [online]. Topinfo s.r.o. [cit. 2018-10-10]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/pasivni-domy/8238-ekonomicke-porovnani-provozu-pasivniho-domu-a-bezne-vystavby>
37. MATUŠKA, Tomáš a Martin ZAJÍC. Analýza potřeby pomocné elektrické energie v pasivní domě. In: tzb-info [online]. Topinfo s.r.o. [cit. 2018-10-10]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/pasivni-domy/8176-analyza-potreby-pomocne-elektricke-energie-v-pasivnim-dome>
38. BERANOVSKÝ, Jiří, Martin JINDRÁK a Veronika BEJVLOVÁ. Efektivní vytápění úsporných domů. In: mpo-efekt [online]. EFEKT. [cit. 2018-10-12]. Dostupné z: <https://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/e-book-efektivni-vytapani-uspornych-domu.pdf>