

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební  
Katedra konstrukcí pozemních staveb



Studijní program: Budovy a prostředí  
Studijní obor: Budovy a prostředí

## **Diplomová práce**

### **Environmentálně-energetická optimalizace obálky budovy bytového domu**

Environmental and Energy Optimization of Building  
Enclosure of the Residential Building

Autor: Bc. Heda Brůhová

Vedoucí práce: Ing. Kateřina Sojková, Ph.D.

Konzultant: Ing. Martin Volf, Ph.D. (Univerzitní centrum  
energeticky efektivních budov ČVUT v Praze)

Praha, 2018



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Brůhová</u>	Jméno: <u>Heda</u>	Osobní číslo: <u>409638</u>
Zadávací katedra: <u>K124</u>		
Studijní program: <u>Budovy a prostředí</u>		
Studijní obor: <u>Budovy a prostředí</u>		

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: <u>Environmentálně-energetická optimalizace obálky budovy bytového domu</u>	
Název diplomové práce anglicky: <u>Environmental and Energy Optimization of Building Enclosure of the Residential Building</u>	
Pokyny pro vypracování: Cílem práce je najít environmentálně-energeticky optimální variantu řešení obálky zadaného bytového domu v rámci vybrané materiálové skupiny – "dřevo". Nejprve provést rešerši možných skladeb a materiálů použitelných pro konstrukce obálky budovy. Z těchto skladeb vybrat několik možností pro každou konstrukci obálky a vyhodnotit environmentální dopady budovy s danými skladbami, a to pro několik úrovní tepelněizolační kvality. Pro tyto tepelněizolační úrovně vyhodnotit rovněž provozní energetickou náročnost budovy a provozní environmentální dopady. Na základě vyhodnocení provozních a svázaných dopadů nalézt optimální variantu obálky budovy. Pro tuto variantu vyřešit klíčová napojení dílčích stavebních prvků a zpracovat vybrané výkresy (komplexní řez, detaily, vybraný půdorys a řez).	
Seznam doporučené literatury:	
Jméno vedoucího diplomové práce: <u>Ing. Kateřina Sojková, Ph.D.</u>	
Datum zadání diplomové práce: <u>4.10.2017</u>	Termín odevzdání diplomové práce: <u>7.1.2018</u>
<i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>	
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“.*

<u>4.10.2017</u>	
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci na téma „Environmentálně-energetická optimalizace obálky budovy bytového domu“ vypracovala samostatně pod vedením své vedoucí diplomové práce a za použití literatury a podkladů, které jsou uvedeny ve zdrojích.

.....

Heda Brůhová

Dovoluji si tímto poděkovat vedoucí mé diplomové práce Ing. Kateřině Sojkové, Ph.D. za velmi cenné rady a čas, který mi věnovala při psaní práce. Dále bych chtěla poděkovat Ing. Martinu Volfovi, Ph.D. a Ing. et Ing. Richardu Hlaváčovi za odborné konzultace.

**Environmentálně-energetická optimalizace obálky  
budovy bytového domu**

Environmental and Energy Optimization of Building Enclosure of  
the Residential Building

**Abstrakt:** Předmětem diplomové práce je najít nejvhodnější řešení skladeb pro jednotlivé konstrukce obálky zadaného bytového domu v rámci vybrané materiálové skupiny – dřevo. Výběr ideálních konstrukcí vychází z energeticko-environmentální optimalizace. Pro každou konstrukci obálky je navrženo několik variant skladeb, pro které je vypočten environmentální dopad pro 3 varianty součinitele prostupu tepla. Z jednotlivých skladeb jsou navrženy 4 obálky pro zadaný objekt, vždy ve 3 tepelněizolačních kvalitách. Pro všechny navržené obálky jsou spočteny celkové svázané a provozní environmentální dopady  $PEI_{nre}$  a GWP. Provozní environmentální dopady vychází z potřeby tepla na vytápění. Hodnoty provozních environmentálních dopadů  $PEI_{nre}$  a GWP se liší podle navržených energonositelů. Postupným porovnáváním jsou zvoleny nejvhodnější varianty skladeb obálkových konstrukcí. Pro zadaný objekt na základě posuzovaných parametrů vykazuje nejpříznivější environmentální dopady obálka, kde nosnou funkci plní I-nosníky na bázi dřeva a hlavní tepelnou izolaci tvoří foukaná celulóza. V závěru práce je řešeno napojení klíčových detailů optimálních konstrukcí.

**Klíčová slova:** environmentální dopad, optimalizace, dřevěné konstrukce, obálka budovy, potřeba tepla na vytápění

**Summary:** The aim of this diploma thesis is to find the most suitable composition of individual envelope structures of the given residential house within the selected material group – wood. The ideal designs are based on energy and environmental optimization. For each envelope structure are proposed variants of the composition for which the environmental impact is calculated using 3 variants of the thermal transmittance. Envelopes of a given house are proposed for individual compositions always in three thermal insulation qualities. Total embodied and operational impacts for  $PEI_{nre}$  and GWP are calculated for all proposed envelopes. Operational environmental impacts are calculated using the energy need for heating. Operational environmental impacts for  $PEI_{nre}$  and GWP depend on the kind of energy carrier. The most suitable variants of the envelope structures are selected by successive comparison. The envelope consisting I-beams and blown cellulose as main thermal insulation shows based on evaluated parameters the lowest environmental impacts. The connection of key details of optimal constructions is designed towards the end of the thesis.

**Keywords:** environmental impact, optimization, wood construction, building envelope, energy need for heating

# Obsah

Obsah .....	7
Přehled použitých zkratk.....	9
1. Úvod.....	10
1.1 Motivace.....	10
1.2 Cíle .....	12
2. Metoda .....	13
2.1 Optimalizace .....	13
2.2 Environmentální posouzení.....	13
2.3 Energetické posouzení .....	14
3. Popis objektu.....	15
4. Rešerše skladeb pro dřevostavby .....	18
4.1 Obvodová stěna.....	18
4.1.1 Lehký skelet.....	18
4.1.2 Těžký skelet .....	20
4.1.3 Panely z vrstveného dřeva .....	21
4.1.4 Sruby a roubené konstrukce.....	22
4.1.5 Materiálové řešení.....	23
4.2 Střechy a terasy .....	24
4.2.1 Jednoplášťová .....	24
4.2.2 Dvouplášťová.....	24
4.2.3 Materiálové řešení.....	26
4.3 Stropní konstrukce nad 1.PP .....	27
4.4 Suterénní stěna a podlaha.....	28
5. Environmentální posouzení .....	29
5.1 Metoda.....	29
5.1.1 Databáze a zdrojová oblast .....	29
5.1.2 Systémové hranice a jednotka.....	29
5.1.3 Environmentální indikátory .....	29
5.1.4 Modelování materiálu .....	30
5.1.5 Funkční jednotka.....	30
5.2 Porovnání v rámci vrstev .....	31

5.2.1	Porovnání tepelných izolací.....	31
5.2.2	Porovnání vybraných konstrukčních prvků .....	32
5.3	Navrhované skladby.....	34
5.3.1	Obvodová stěna.....	34
5.3.2	Střešní konstrukce.....	37
5.3.3	Terasy.....	39
5.3.4	Strop nad 1.PP.....	41
5.3.5	Suterénní stěna.....	43
5.3.6	Podlaha na zemině .....	44
5.3.7	Vnitřní stěny .....	46
5.3.8	Stropní konstrukce .....	47
6.	Energeticko-environmentální porovnání .....	49
6.1	Popis objektu.....	49
6.2	Program Energetika a výpočet potřeby tepla .....	49
6.3	Energonositele.....	50
6.4	Obálky a vnitřní konstrukce objektu .....	51
6.4.1	Zahrnutí zanedbaných konstrukcí.....	53
6.5	Porovnání provozních a svázaných environmentálních dopadů domů (obálek a jejich vnitřních konstrukcí).....	54
6.5.1	Obálka OB1 a vnitřní konstrukce .....	54
6.5.2	Obálka OB2 a vnitřní konstrukce .....	54
6.5.3	Obálka OB3 a vnitřní konstrukce .....	55
6.5.4	Obálka OB4 a vnitřní konstrukce .....	56
6.6	Porovnání obálek a potřeby tepla na vytápění .....	56
7.	Zvolená varianta .....	59
7.1	Volba kvality obálky .....	59
7.2	Aplikace skladby.....	61
8.	Závěr .....	62
9.	Zdroje.....	63
10.	Seznam obrázků, grafů a tabulek.....	65
11.	Přílohy.....	68



## Přehled použitých zkratk

CLT – Cross Laminated Timber – panel z lepeného dřeva

LCA – Life Cycle Assessment – hodnocení životního cyklu

OSB – Oriented Strand Board – orientované desky z velkoplošných třísek spojených umělou pryskyřicí

PVC – Polyvinylchlorid

PE – Polyethylen

MDF – Medium Density Fibreboard – středně hustá vláknitá deska

PEI – Primary Energy Indicator – spotřeba primární energie

PEI<sub>ne</sub> – Primary Energy Indicator (non renewable energy) – spotřeba neobnovitelné primární energie

GWP – Global Warming Potential – potenciál globálního oteplování

KVH – Konstruktionsvollholz – konstrukční dřevěné hranoly, v průřezu z jednoho kusu materiálu, délkově napojovaný cinkovým spojem [1]

EPS – expandovaný pěnový polystyren

XPS – extrudovaný pěnový polystyren

BSH – Brettschichtholz – konstrukční dřevěný vrstvený hranol, lepený z lamel melaminovou pryskyřicí [1]

# 1. Úvod

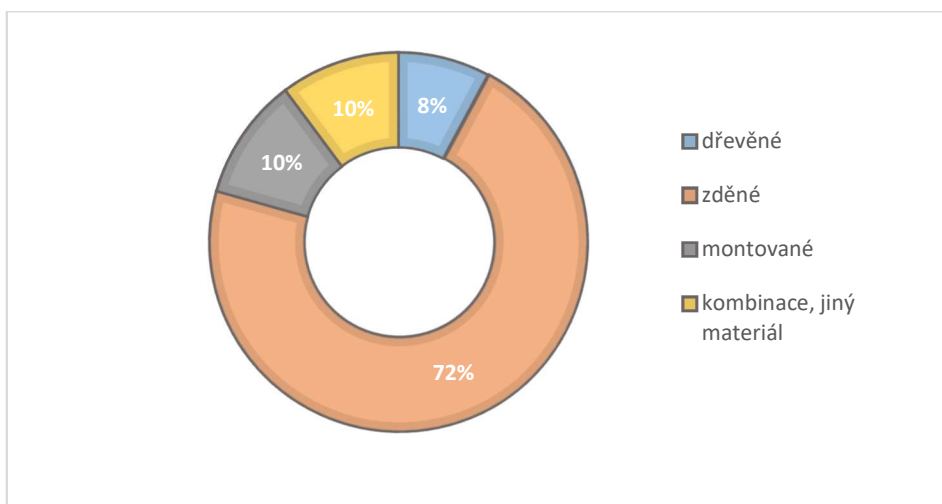
## 1.1 Motivace

Pojem „optimalizace“ jsem během magisterského studia slyšela ve škole často. Najít ideální variantu v kombinaci zvolených kritérií považuji za základ úspěšného řešení pro všechny zainteresované strany. Školních úlohách pracovali ve variantách a řešení „optimalizovali“, ale v menším měřítku.

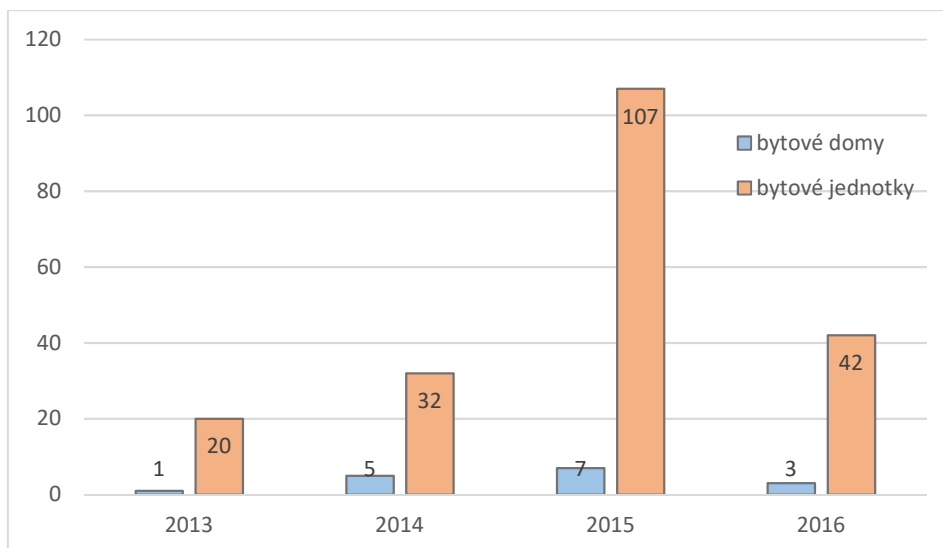
Možnost optimalizace dřevěného bytového domu mi přišla velmi zajímavá z důvodu, že ačkoli je ze stavebních materiálů environmentálně nejvhodnější dřevo, není podle dostupných údajů jako materiál pro nosnou konstrukci bytového domu moc využíváno.

Počet vydaných stavebních povolení na bytové budovy se ročně pohybuje asi kolem 30 000[3]. Bytové objekty tvoří podle českého statistického úřadu asi čtvrtinový podíl z orientační finanční hodnoty staveb. I když je v současnosti opětovně diskutováno téma ohledně vyčerpatelnosti neobnovitelných zdrojů, globálního oteplování nebo třeba tenčení ozonové vrstvy, použití dřevěného materiálu s příznivým environmentálním dopadem v České republice moc využíváno.

Ačkoliv má dřevo výrazně nižší environmentální dopad než jiné stavební materiály, v celkovém poměru výstavby bytových domů dosahuje asi 10 % výstavby [3] (Graf 1). V české republice se za rok 2016 dokončilo 278 bytových domů, z toho byly pouze 3 dřevěné [3]. Ačkoliv celkový počet dokončených bytových domů ročně roste, procento dřevěných konstrukcí klesá, je ale zajímavé, že poměr bytů dřevěných bytových domů roste. Například v roce 2014 bylo postaveno 5 bytových domů, s celkem 32 bytovými jednotkami, tedy asi 6-7 bytů na bytový dům. V roce 2016 to bylo 42 bytů na 3 domy, tedy asi 14 bytových jednotek v jednom objektu. [3] Trend je zaznamenán v grafu 2.



Graf 1 – Dokončená výstavba bytů v roce 2016 podle konstrukce [3]



Graf 2 – Dokončené dřevěné bytové domy a byty [3]

## 1.2 Cíle

Prvním cílem je vytvoření katalogu, který bude obsahovat různé skladby vhodné pro dřevostavby. Tento katalog obsahuje popis jednotlivých typů dřevostaveb a jejich možné materiálové a konstrukční řešení.

Druhým a hlavním cílem diplomové práce je formou optimalizace najít nejvhodnější skladby jednotlivých konstrukcí pro zadaný objekt z hlediska energetického a environmentálního dopadu. Pro zadaný objekt tedy navrhnout několik materiálových a konstrukčních variant pro každou konstrukci obálky objektu, pro tyto skladby pak vypočítat environmentální dopad a jednotlivé varianty porovnat podle předem zvoleného součinitele prostupu tepla ve 3 variantách. Z jednotlivých skladeb poskládat několik kompletních obálek pro zadaný dům a určit jejich environmentální dopady a potřeby tepla na vytápění pro 3 tepelněizolační kvality obálky, které vychází z použitých součinitelů prostupu tepla pro jejich konstrukce. Pomocí energeticko-environmentální optimalizace navrhnout nejvhodnější konstrukce pro zadaný objekt a ideální kvalitu tepelně izolační obálky. Pro každou kvalitu obálky dále navrhnout a porovnat různé energonositele a spočítat poměr svázaných a provozních environmentálních dopadů.

Dalším cílem práce je s využitím zvolených skladeb konstrukcí vytvořit výkresovou dokumentaci zaměřenou na detaily obálky budovy a napojení dílčích konstrukcí.

## 2. Metoda

### 2.1 Optimalizace

Pojem optimalizace je v této práci chápán jako proces volby nejvhodnějších variant jednotlivých konstrukcí pro obálku zadaného objektu z hlediska environmentálních a energetických dopadů, které jsou spolu úzce provázané.

Aby bylo v rámci optimalizace porovnáno co nejvíce variant, je v práci uvedena rešerše skladeb pro dřevostavby, ze které vycházejí konkrétní varianty skladeb pro jednotlivé konstrukce v kapitole 5.3. Při procesu hledání optimální varianty může být vhodné cíleně posoudit stěžejní části skladeb v dílčích porovnáních, které např. ukáží, jaké materiály vykazují nejprůzračnější hodnoty u porovnávaných kritérií.

Dalším krokem optimalizace v této práci je z jednotlivých konstrukcí vytvořit několik variant obálek budovy, které jsou porovnány z hlediska svázaných environmentálních dopadů. Energetická porovnání jsou zaměřena na potřebu tepla na vytápění pro daný objekt pro různé tepelněizolační kvality obálky budovy a volbu ideálního energonositele,

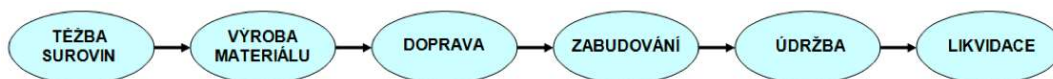
Díky jednotlivým posouzením je zjištěn poměr svázaných a provozních energií a environmentálních dopadů, pomocí kterého je např. podle návratnosti energetické investice zvolena ideální obálka, tedy i jednotlivé ideální varianty skladby konstrukce.

### 2.2 Environmentální posouzení

Základní metodikou pro hodnocení environmentální kvality produktu je hodnocení životního cyklu – LCA (Life Cycle Assessment) [4]. Tato metodika je použita i u této práce. LCA nezapočítává ekonomické nebo sociální aspekty produktu, posuzuje pouze kritéria z hlediska environmentálních dopadů během životního cyklu produktu.

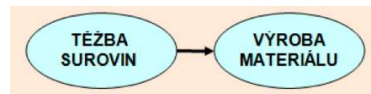
Pro každé hodnocení je potřeba vždy zvolit vhodné systémové hranice a celkový rozsah posouzení. Každý materiál má různé životní fáze a je několik přístupů, jak tyto fáze započítávat a pracovat s nimi.

Nejkomplexnější je přístup „Cradle to Grave“ (od kolébky do hrobu), kdy jsou vyhodnoceny všechny fáze životního cyklu materiálu, viz Obrázek 1.



Je složité a časově náročné, zahrnout všechny fáze pro všechny použité materiály, je tedy vhodné systémové hranice omezit např. jen na první dvě fáze, tedy na těžbu surovin a výrobu materiálu. Tyto systémové hranice tedy zahrnují stádium výroby produktu, které se skládá z přeměny materiálů potřebných pro výrobu produktu, z výroby a kompletace vlastního produktu a z jeho balení. Tyto procesy jsou spojeny s energetickými a materiálovými vstupy a výstupy, tudíž i environmentálními dopady. Takovéto systémové

hranice jsou nazývány jako „Cradle to Gate“, neboli od „kolébky k bráně“, viz Obrázek 2. Tento rozsah je použit i v této práci.



Obrázek 2 – Schéma fází životního cyklu "Cradle to Gate" [5]

Dalším možným přístupem je omezit systémové hranice od těžby surovin po dopravu neboli „Cradle to Site“, Obrázek 3. Hodnota environmentálních dopadů pro dopravu pro každý hodnocený prvek nebo materiál je specifická, při obecném započítání, se však provádí pomocí hodnocení průměrných vzdáleností.



Obrázek 3 – Schéma fází životního cyklu přístupu "Cradle to Site" [5]

Pro každý materiál je důležité zvolit jednotku materiálového toku. Typickou jednotkou materiálových toků je hmotnost vyjádřená v kilogramech. Jinou jednotkou může být objem, plocha, počet kusů nebo čas. U energetických toků se obvykle jedná o MJ nebo kWh.

### 2.3 Energetické posouzení

Energetické posouzení pro zadaný objekt je zaměřeno na potřebu tepla na vytápění. Každá konstrukce a skladba je navržena pro 3 odlišné součinitele prostupu tepla,  $U_N$ ,  $U_{rec}$  a  $U_{pas}$ , jejichž hodnota byla na začátku práce pro každou konstrukci zvolena. Jednotlivé tloušťky tepelné izolace jsou voleny ve skladbách tak, aby různé varianty skladeb pro danou konstrukci (obvodová stěna, střecha, strop nad 1.PP, terasa) vykazovaly vždy stejný součinitel prostupu tepla, aby je bylo možné porovnat.

Poté je navrženo několik konkrétních obálek pro zadaný dům, kdy už je pro každou dílčí konstrukci znám environmentální dopad. Pro navrhnuté obálky objektu je spočtena potřeba tepla na vytápění vždy pro 3 tepelněizolační kvality obálky, které vychází z použitých součinitelů prostupu tepla pro dané konstrukce.

Pro každou kvalitu obálky jsou navrženy a porovnány 4 různé energonositele a je spočten poměr svázaných a provozních energií a environmentálních dopadů.

Na posouzení energetické náročnosti je použit program Energetika [6]. Konkrétní vstupní hodnoty a podrobnější popis energetického posouzení jsou uvedeny v kapitole 6.2

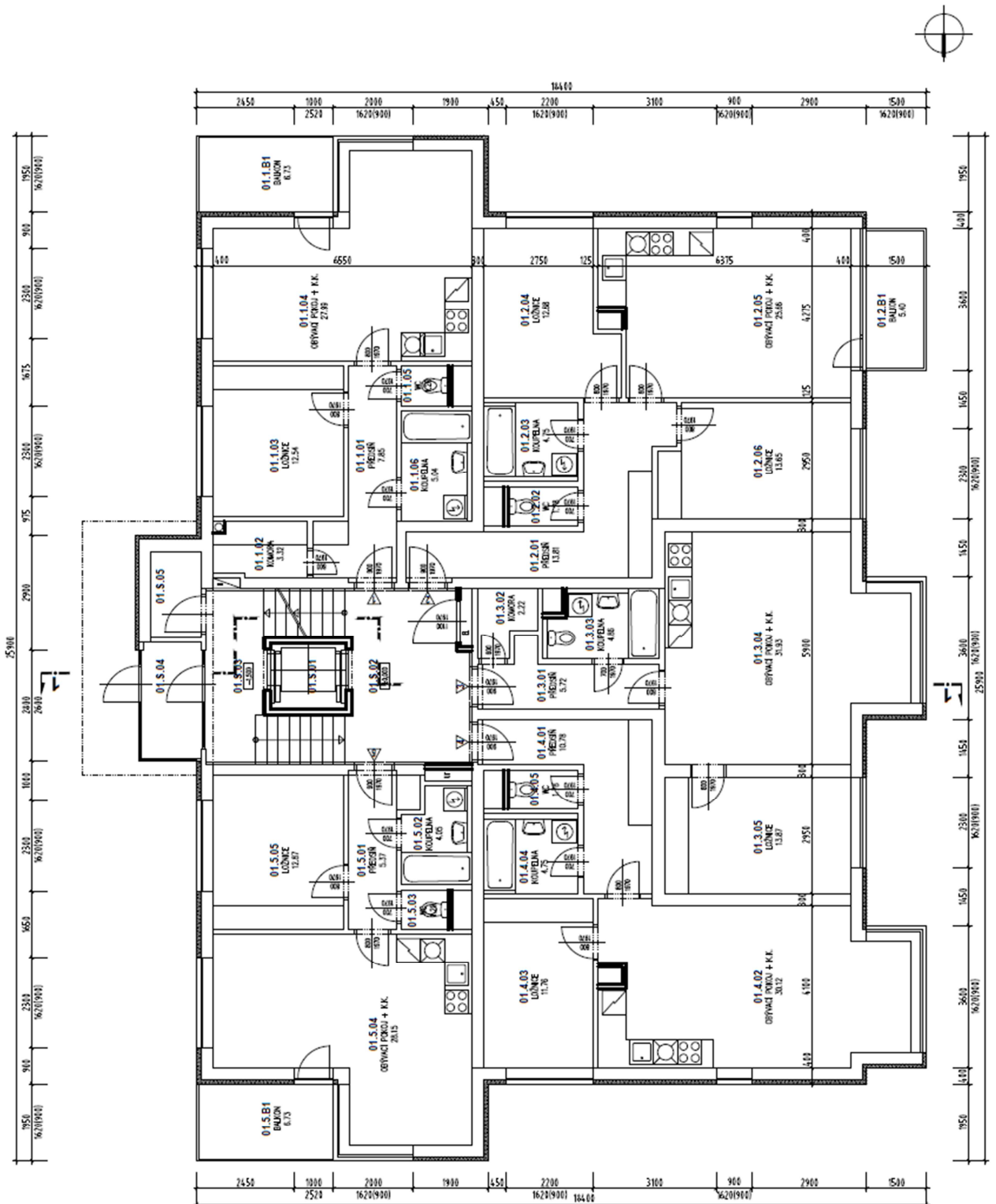
### 3. Popis objektu

Pro environmentálně-energetickou optimalizaci obálky byla zvolena výkresová dokumentace pro stavební povolení pro projekt bytového domu ve Štěrbobolech. [] Jedná se o bytový dům se 4 nadzemními podlažími a jedním podzemním. Půdorys 1.NP a řez objektem jsou zobrazeny na Obrázcích 4 a 5.

Úpravy objektu byly řešeny s cílem co nejmenšího zásahu do podkladního projektu, ideálně tedy zachovat stejné rozměry domu, stejné plochy a objemy budovy, vycházet z daného konstrukčního systému domu a vycházet z umístění nosných prvků, které jsou v projektu navrženy. Jelikož je zvoleným materiálem pro jednotlivé konstrukci dřevo, některé konstrukce však musely být poupravěny.

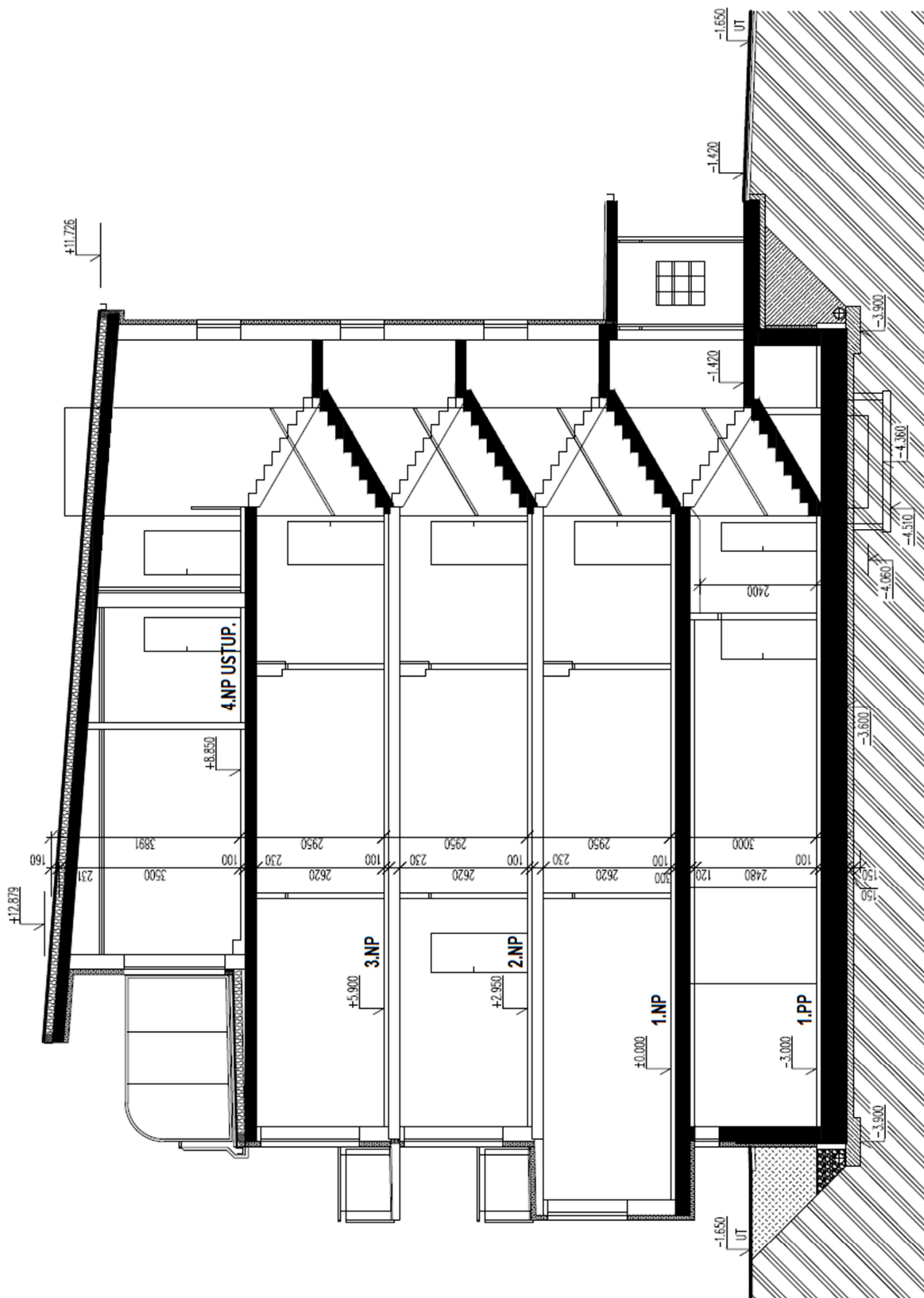
Suterénní část objektu, která funguje jako garáže, je v práci řešena jako nezateplená a systémové hranice budovy procházejí v oblasti stropní konstrukce 1. podzemního podlaží. Dále je tato část řešena jako železobetonová. Dřevěné konstrukce jsou navrhnuté až od 1. nadzemního podlaží.

Světlá výška domu je navrhnutá na 2,6 m. Konstrukční výška je 3,2 m. Ačkoliv je v podkladech uvedena tloušťka stropní konstrukce je 0,23 m, kvůli dřevěnému materiálu je uvažovaná tloušťka stropu zvýšena na 0,5 m. Souvrství podlahy je uvažováno na 0,15 m.



Obrázek 4 – Podkladní výkres půdorysu 1.NP [2]





Obrázek 5 – Podkladní výkres Řez objektem [2]

## 4. Rešerše skladeb pro dřevostavby

Hlavním obsahem rešerše je vytvoření katalogu skladeb. Pro přehlednost jsou typy skladeb rozděleny podle jejich nosné konstrukce do 4 kategorií:

- Lehký skelet
- Těžký skelet
- Panely z vrstveného dřeva
- Sruby a roubenky

V každé kategorii je navržena základní skladba, ze které je v detailnějším popisu vycházeno. U každé vrstvy je pak dělení na možná řešení. Rešerše neobsahuje všechny možné konstrukční a materiálové řešení, ale vybrané základní principy fungování a rozdělení jednotlivých dřevěných systémů a příklady řešení jednotlivých vrstev a skladeb.

Materiálové řešení dílčích vrstev skladeb je uvedeno v kapitole 4.1.5. V kapitolách o typech jednotlivých dřevěných systémech je popsáno pouze pořadí a funkce vrstev.

### 4.1 Obvodová stěna

#### 4.1.1 Lehký skelet

Obecně:

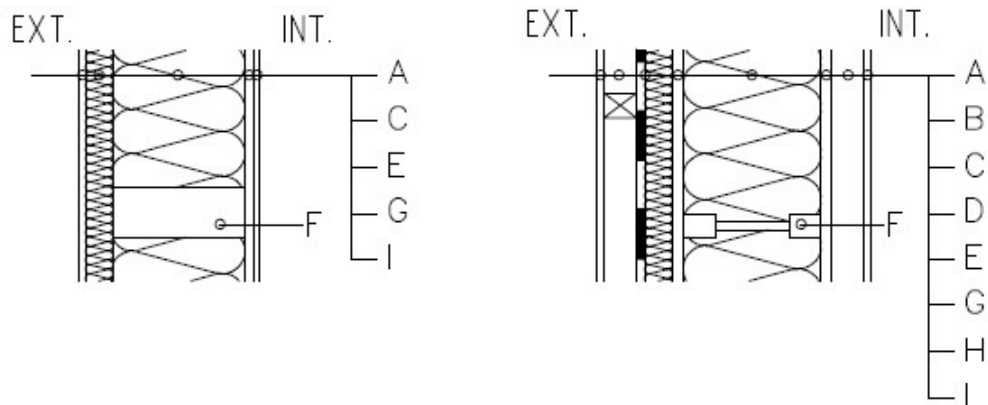
Skladba tohoto systému se skládá z dřevěných sloupků, z nichž se vytvoří základní kostra domu, která je na jedné nebo obou stranách zaklopena konstrukční velkoformátovou deskou. Prostor mezi trámkami je vyplněn tepelnou izolací.

Konstrukci lehkého skeletu je možné rozdělit podle typu výroby, a to na prefabrikovanou, kde se ve výrobní hale vytvoří celý panel nebo je možné celou konstrukce postupně montovat až na stavbě.

Výhody a nevýhody:

- + snadná montáž přímo na staveništi, bez technických přestávek
- + malá tloušťka konstrukce
- + snadná úprava dispozic
- + cena
- nutná kvalita a preciznost zpracování
- možný pouze relativně krátký rozpon konstrukce
- nižší tepelně akumuláční schopnost

Základní skladba:



Obrázek 6 – Základní skladba lehkého dřevěného skeletu

Rozpis vrstev/skladby:

A...Exteriérová pohledová vrstva

- Obklad
- Omítka
- Fasádní deskový systém

B... Provětrávaná mezera + rošt

C... Tepelně-izolační deska – může být chráněna difúzní fólií

D...Konstrukční deska venkovní – záleží na statické účinnosti konstrukce

E...Tepelná izolace – umístěna mezi nosnými prvky

F...Nosná konstrukce

- Sloupky (tzv. „2 by 4“ systém), při větší šířce je možné rozšířit o sloupek s příložkami
- I-nosníky

G...Konstrukční deska vnitřní – jestliže neplní funkci parobrzdné vrstvy, je potřeba rozšířit skladbu o parotěsnou vrstvu většinou ve formě fólie

H...Instalační předstěna

- Vyplněna tepelnou izolací
- Prázdná

I...Interiérová pohledová vrstva

- Obklad
- Omítka

## 4.1.2 Těžký skelet

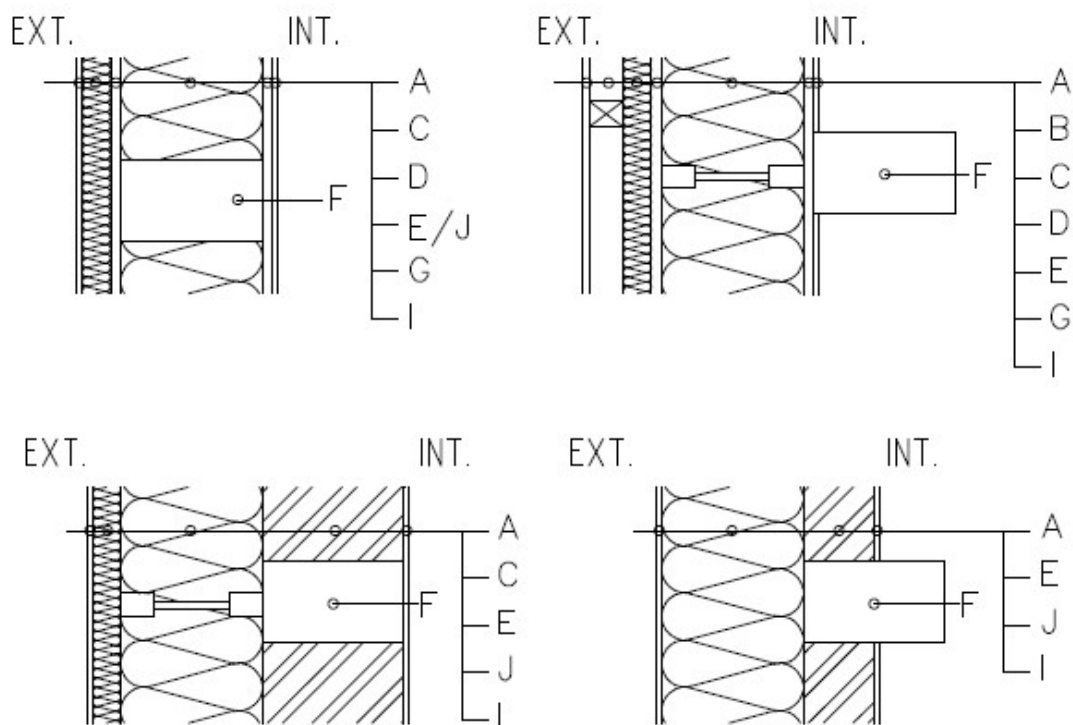
Obecně:

Konstrukce u těžkého skeletu je tvořena masivními dřevěnými sloupy, jejichž rozměry jsou několikanásobně větší než dimenze dřevěných sloupků u lehkého skeletu. Rozdílný je také typ dřeva, u těžkého skeletu je používáno dřevo lepené. Mezi sloupy může být umístěna výplňová konstrukce, která nemá nosnou funkci.

Výhody a nevýhody:

- + nosná i estetická funkce konstrukce při přiznané konstrukci
- + velký rozpon
- + variabilita, snadná úprava dispozic, kompoziční volnost
- provedení stavby, nutná přítomnost těžké techniky
- cena

Základní skladba:



Obrázek 7 – Základní skladby těžkého dřevěného skeletu

Rozpis vrstev skladby:

A...Exteriérová pohledová vrstva

- Obklad
- Omítka
- Deskový systém

B... Provětrávaná mezera + rošt

C... Tepelně-izolační deska – může být chráněna difúzní fólií

D...Konstrukční deska venkovní – umístění podle typu výplňové konstrukce

E...Tepelná izolace

F...Nosná konstrukce – masivní dřevěný sloup

G...Konstrukční deska vnitřní

- Jestliže neplní funkci parotěsné vrstvy, je potřeba rozšířit skladbu o vrstvu s touto funkcí, např. pomocí fólie
- Umístění podle typu výplňové konstrukce

H...Instalační předstěna

- Vyplněna tepelnou izolací
- Prázdná

I...Interiérová pohledová vrstva

- Obklad
- Omítka
- Přiznaný dřevěný sloup

J...výplňová konstrukce – součástí může být TI

- Lehká sloupková konstrukce
- Zdivo
- Nemusí být

#### 4.1.3 Panely z vrstveného dřeva

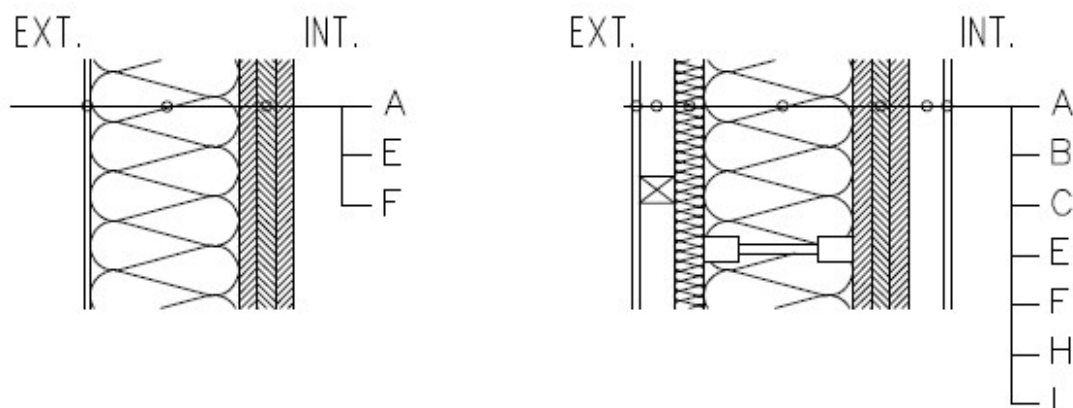
Obecně:

Tento typ konstrukce se vyrábí z prefabrikovaných velkoplošných dílců. Ty vznikají vrstvením lepeného dřeva, kdy jednotlivé vrstvy jsou proti sobě vždy otočeny o 90°, což zajišťuje dokonalou tvarovou stabilitu. Vzhledem k technologii sušení a lepení vykazují tvarovou stálost i při změnách vlhkosti. Jednotlivé prvky nosné konstrukce (panely) se vyrobí ve výrobně a po dodání se na stavbě ihned montují.

Výhody a nevýhody:

- + vysoká pevnost a stabilita, statická účinnost
- + rychlost výstavby
- + vyšší požární odolnost než u ostatních dřevostaveb
- + tepelná setrvačnost
- cena
- doprava (velké rozměry panelů)

Základní skladba:



Obrázek 8 – Základní skladby stěny z panelů z lepeného dřeva

Rozpis vrstev/skladby:

A...Exteriérová vrstva

- Obklad
- Omítka
- Deskový systém

B...Provětrávaná mezera + rošt

C... Tepelně-izolační deska – může být chráněna difúzní fólií

D...Konstrukční deska venkovní – záleží na typu tepelné izolace

E...Tepelná izolace

F...Nosná konstrukce

- CLT panel

H...Instalační předstěna

- Vyplněna tepelnou izolací
- Prázdná

I...Interiérová pohledová vrstva

- Obklad
- Panelová pohledová úprava

#### 4.1.4 Sruby a roubené konstrukce

Obecně:

Roubené dřevěné domy a sruby jsou většinou jednovrstvé konstrukce sestavené z masivních profilů; sruby z kulatiny, roubenky z trámů. Dům se nejprve „předvyrobí“ a po demontáži znovu instaluje na parcele.

Výhody a nevýhody:

- + akumulace
- + zdravé mikroklíma
- + estetika
- opracování
- tepelně technické vlastnosti

Jelikož tento konstrukční systém není vhodný pro zvolený objekt, nebude toto řešení podrobně rozebráno ani dále uvažováno.

#### 4.1.5 Materiálové řešení

Ne všechny materiály uvedené pro jednotlivé vrstvy jsou vhodné k vzájemné kombinaci. Z důvodu přehlednosti jsou však uvedeny dohromady. Vždy je potřeba podrobněji posoudit, jestli je kombinace zvolených materiálů vhodná.

##### A...Exteriérová vrstva

- Obklad
  - dřevo
  - kámen
  - cihly
- Omítka
  - akrylátové (nevhodné)
  - silikonové
  - silikátové
  - silikon-silikátové
  - hliněné
- Deskový systém
  - Fasádní systémy
  - Plech

##### B...Provětrávaná mezera + rošt

##### C...Tepelně-izolační deska

- Dřevovláknitá deska
- Tuhá minerální deska

##### D...Konstrukční deska venkovní

- OSB
- Sádrovláknitá deska
- Sádrokartonová deska
- Cementovláknitá deska

##### E...Tepelná izolace

- Polystyren

- Minerální vlna
- Polyuretan (PUR)
- Celulóza
- Dřevovláknitá izolace
- konopí, sláma, ovčí vlna a další

##### F...Nosná konstrukce

- Rošty
  - Dřevo
  - Kov – ocel, hliník

##### G...Konstrukční deska vnitřní

- OSB
- Sádrovláknitá deska
- Sádrokartonová deska
- Cementovláknitá deska

##### H...Instalační rovina

##### I...Interiérová vrstva

- Přiznané nosné konstrukce
- Omítky
  - Vápenné
  - Cementové
  - Sádrové
  - kombinované – vápenocementové, vápenosádrové
- Deskový materiál

- Sádroláknitá deska
- Sádkartonová deska
- Cementovláknitá deska
- konstrukce z konopného betonu
- sloupková konstrukce vyplněná TI
- hliněné zdivo

J... Výplňová konstrukce

## 4.2 Střechy a terasy

V této práci jsou jako nosné konstrukce pro střechy a terasy navrženy 3 varianty; lepený panel, I-nosník a trám s plným profilem.

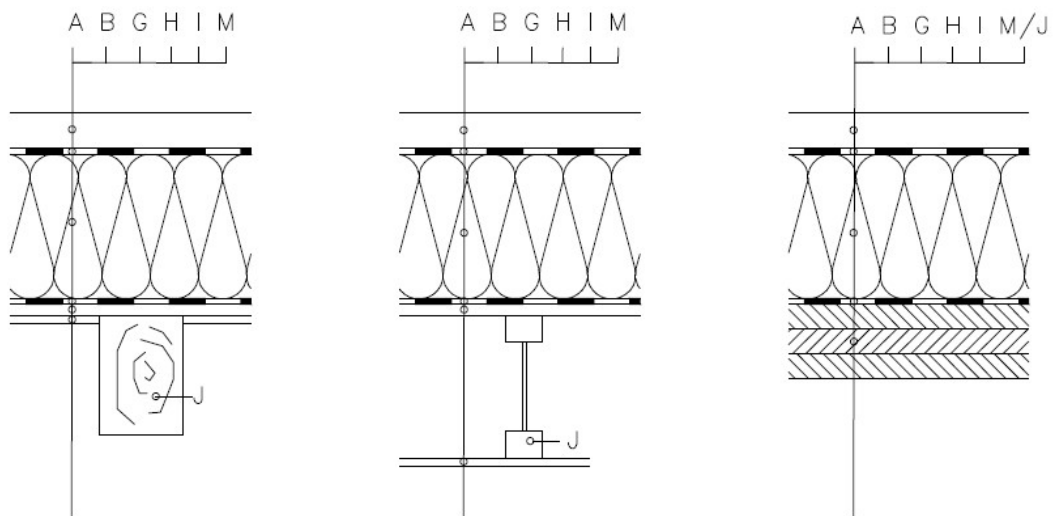
Výchozí dělení střech je dáno počtem plášťů. Jelikož jde o dřevěnou nosnou konstrukci je obecně doporučováno volit konstrukci dvouplášťovou, s provětrávanou vzduchovou vrstvou.

### 4.2.1 Jednoplášťová

Pro jednoplášťové střechy jsou v této práci uvažovány pouze nenasákavé tepelné izolace, které jsou vždy celým objemem umístěny nad nosnou konstrukci. Spád je u jednoplášťové střechy možné zajistit těmito způsoby:

- Nosnou konstrukcí
- Tepelnou izolací – spádovými klíny

Základní skladba: (legenda je uvedena pod kapitolou dvouplášťové střechy)



Obrázek 9 – Základní skladby jednoplášťových dřevěných střech

### 4.2.2 Dvouplášťová

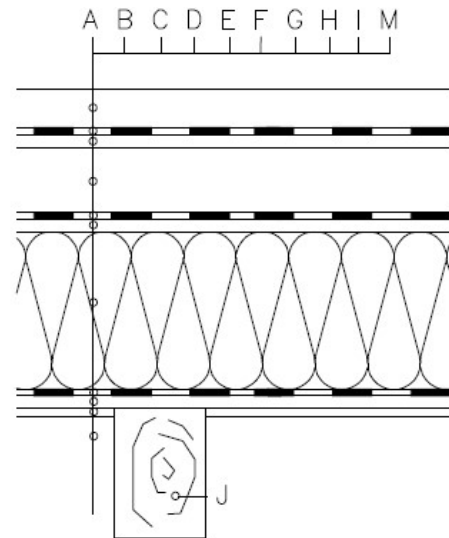
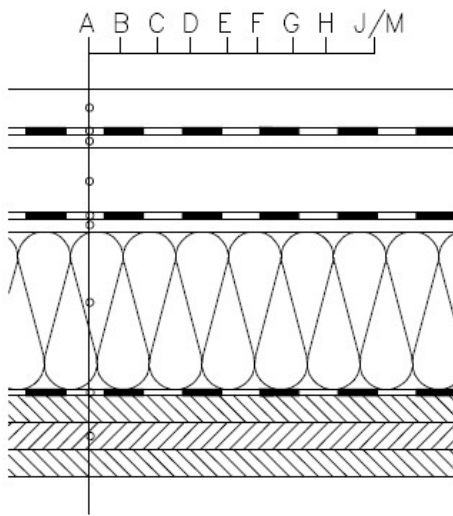
Dvouplášťové konstrukce střech jsou děleny podle umístění nosné konstrukce vůči tepelné izolaci.

- Pod tepelnou izolací
- Částečně zapuštěné do tepelnou izolace
- V rámci tepelné izolace

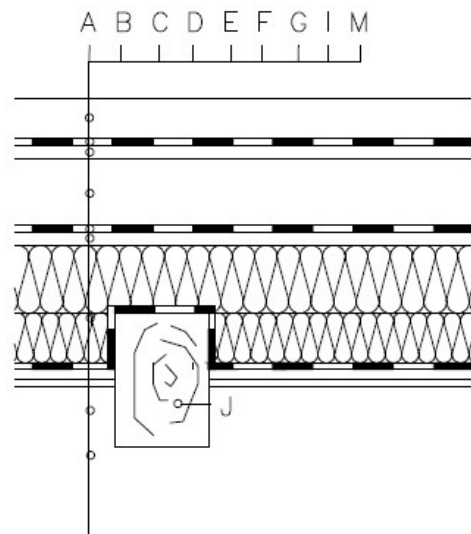
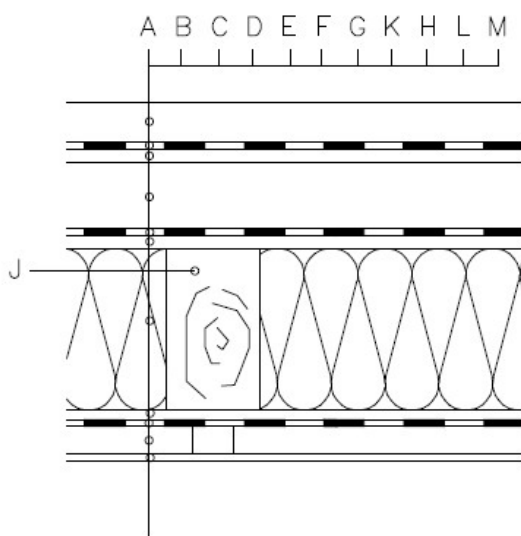


Pro dvouplášťové střechy jsou v této práci uvažovány pouze vláknité izolace.

Možné varianty skladby:



Obrázek 11 – Základní skladby dvouplášťové střechy s nosnou konstrukcí pod tepelnou izolací



Obrázek 10 – Základní skladba dvouplášťové střechy s nosnou konstrukcí uvnitř tepelné izolace

Obrázek 12 – Základní skladba dvouplášťové střechy s nosnou s částečně přiznanou nosnou konstrukcí

Rozpis skladby:

A...Exteriérová vrstva

B...Hydroizolace

C...Záklop – uzavírá provětrávanou mezeru

D...Provětrávaná mezera

#### E...Difúzní fólie

- nemusí být použita, aplikována kvůli bezpečnosti z ohledu vnikání vlhkosti do konstrukce

#### F...Difúzní deska

- Zajišťuje, aby se z exteriéru nedostala vlhkost do tepelné izolace
- Redukuje tepelné mosty roštu

#### G...Tepelná izolace

#### H...Parozábrana

- Zamezuje prostupu vodní páry z interiéru do konstrukce

#### I...Stropní deska

- Posiluje statickou účinnost stropní konstrukce

#### J...Nosná konstrukce

- I-nosník
- Nosník s plným profilem
- Panely z vrstveného dřeva

#### K...Podbití

#### L...Instalační podhled

- Vyplněný tepelnou izolací
- Prázdny

#### M...Interiérová vrstva

### 4.2.3 Materiálové řešení

#### A...Exteriérová vrstva – podle využití střechy

- Zelená
  - Extenzivní
  - Intenzivní
- Pochozí
- Nepochozí

#### B...Hydroizolace

- Asfaltový pás
- PVC folie

#### C...Záklop

- OSB deska
- Sádroláknitá deska

#### D...Provětrávaná mezera

#### E...Difúzní fólie

- PE fólie
- PP fólie

#### F...Difúzní deska

- Hydrofobizovaná dřevovláknitá deska (MDF)
- OSB deska

#### G...Tepelná izolace – typ podle střechy

- Polystyren
- Minerální vata
- Dřevovláknitá deska
- Celulóza
- Ovčí vlna, sláma a další

#### H...Parozábrana

- Asfaltový pás
- PE fólie

#### I...Stropní deska

- OSB deska

#### J...Nosná konstrukce

- I-nosník – dřevovláknitá deska + dřevo
- Nosník s plným profilem – dřevo, lepené dřevo
- Panely z vrstveného lepeného dřeva

#### K...Podbití

- OSB deska

#### L...Instalační pohled, rošt

- Rošt
  - Dřevo
  - Hliník

#### M... Interiérová vrstva

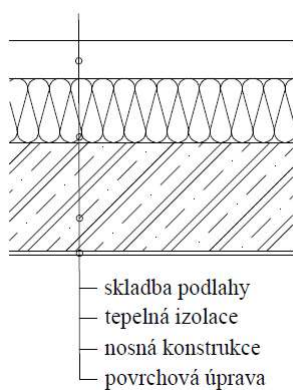
- Omítky
  - Vápenné
  - Sádrové
  - kombinované – vápenocementové, vápenosádrové
- Deskový materiál
  - Sádroláknitá deska
  - Sádrokartonová deska
  - Cementovláknitá deska
- Pohledová úprava nosného prvku

### 4.3 Stropní konstrukce nad 1.PP

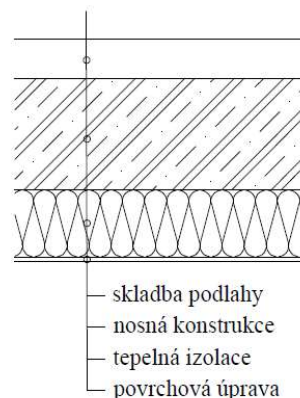
Jelikož prostor 1.PP není vytápěný, je systémová hranice vedena pod stropem 1.PP. U stropní konstrukce musí být provedené dostatečně zateplení, které je buď pod nosnou konstrukcí stropu nebo v souvrství podlahy nad nosnou desku, viz Obrázky 13 a 14.

V této práci je pro tuto konstrukci navrženo použití železobetonové nosné desky, která je k napojení na suterénní železobetonovou stěnu vhodnější než dřevěná konstrukce. Obě varianty jsou však proveditelné.

Skladba podle umístění tepelné izolace:



Obrázek 14 – Skladba stropu nad 1.PP



Obrázek 13 – Skladba stropu nad 1.PP

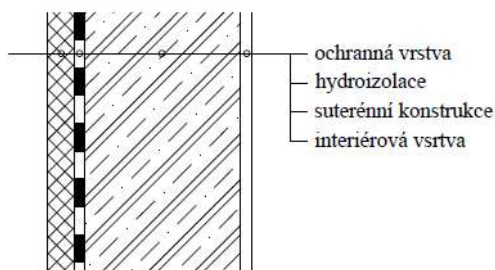
Jelikož jde o prostor s vyšším požárním rizikem, je nutné, aby skladba stropu odpovídala potřebným požadavkům. Možný typ pro tepelnou izolaci z Obrázku 13 je např:

- Minerální vata
- Speciální pórobetonové izolační desky

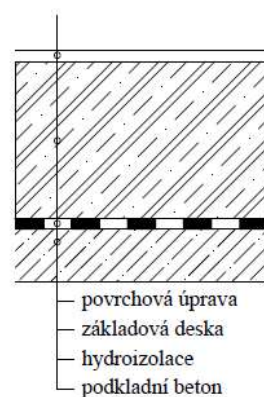
#### 4.4 Suterénní stěna a podlaha

Pro suterénní stěnu a podlahu není dřevěný materiál vhodný. Dřevěná konstrukce je uvažována až od 1.NP, kde už není žádná část stavby v kontaktu se zeminou.

Základní skladba:



Obrázek 15 – Skladba suterénní stěny



Obrázek 16 – Skladba suterénní podlahy

Materiálové řešení:

Bílá vana: (není použita povlaková hydroizolace)

- Vodonepropustný beton
- Beton s krystalizační příměsí

Suterénní stěna:

- Zděná stěna (betonové tvárnice, vápenopískové bloky, pálené cihly)
- ŽB monolitická stěna
- ŽB prefabrikovaná stěna

Suterénní podlaha:

- ŽB deska

Povlakové hydroizolace:

- Modifikované asfaltové pásy
- Plastové fólie
- Hydroizolační stěrky

Ochranná vrstva:

- Extrudovaný polystyren
- Nopová fólie
- Ochranná textilie
- Jiné

## 5. Environmentální posouzení

### 5.1 Metoda

Environmentální hodnocení vychází z porovnání dopadů fází životního cyklu jednotlivých materiálů. Princip a popis LCA je uveden v kapitole 2.3, viz výše.

#### 5.1.1 Databáze a zdrojová oblast

Jako zdroj dat environmentálních dopadů jednotlivých materiálů a prvků byla zvolena švýcarská databáze Ecoinvent [7].

Velký vliv na hodnotu pro jednotlivé faktory má zdrojová oblast. Tato oblast, odkud jsou data sbírána je v Ecoinventu [7] uvedena pro každou položku. Pro tuto práci je vhodné volit data, které nám (České republice) jsou nejbližší jak geograficky, tak i třeba podobným zpracováním energie a zdrojů. Některé země mají např. větší podíl obnovitelných zdrojů u výroby materiálů než Česká republika a použití těchto hodnot by nemuselo být adekvátní. Jelikož nejsou k dispozici data, které by odpovídala pouze České republice, byl vytvořen žebříček ideálních lokací. Jako nejvhodnější oblast sběru dat byla zvolena oblast Evropy – RER.

1. RER – oblast Evropy, nám nejbližší data
2. GLO – globální, celosvětová data
3. ROW – zbytek světa, bez Švýcarska

#### 5.1.2 Systémové hranice a jednotka

Pro tuto práci byly zvoleny systémové hranice „cradle to gate“. V databázi Ecoinvent [7] je možné dohledat materiály s různým členěním životních fází, resp. s jejich systémovými hranicemi. Pro práci jsou voleny materiály s pojmem „production“, který říká, že data zahrnují všechny procesy a materiály potřebné k tomu vyrobit jednotku daného materiálu.

Pro každý materiál je také uvedena jednotka, ke které se hodnoty vztahují. Pro stavební materiály jsou nejběžnější kilogramy, m<sup>3</sup> nebo m<sup>2</sup>.

#### 5.1.3 Environmentální indikátory

Pro vyjádření environmentálních dopadů existuje velké množství různých indikátorů, např.:

- spotřeba primární energie
- potenciál globálního oteplování
- potenciál okyselování prostředí
- potenciál tvorby přízemního ozónu
- potenciál ničení ozonové vrstvy
- potenciál eutrofizace prostředí, aj.

Environmentálních indikátorů je velké množství a žádný z nich nelze určit jako důležitější, všechny indikátory jsou mezi sebou provázané. Do této práce jsou jako srovnávací parametry zvoleny 2 faktory, spotřeba primární energie PEI, u tohoto indikátoru jsou porovnávány pouze neobnovitelné zdroje energie, tedy PEI<sub>nre</sub> a potenciál globálního oteplování GWP.

#### 5.1.4 Modelování materiálu

Některé materiály či prvky nejsou v databázi přímo uvedeny, je proto nutné je vymodelovat „ručně“.

Některé materiály mají stejné nebo velmi podobné materiálové složení jako hledaný materiál, ale liší se např. objemovou hmotností, např. tepelné izolace. Zjednodušeně lze říci, že v takovém případě je možné environmentální vlivy přenásobit poměrem objemových hmotností materiálů.

Další možností, jak materiál namodelovat, je vytvořit kombinaci dílčích procesů a materiálů. Podle materiálového procentuálního zastoupení, případně dané úpravy materiálu je možné sestavit hledaný prvek. Příklady jsou uvedeny v Tabulce 1, difúzní fólie byla modelována jako součet materiálu a procesu, železobeton jako procentuální poměr jednotlivých materiálů.

Tabulka 1 – Příklad ručně namodelovaných materiálů

			PEI <sub>nre</sub>	GWP
modelovaný materiál	dílčí materiály a procesy	poznámka	[MJ/kg]	[kg CO <sub>2,ekv.</sub> /kg]
difúzní fólie	PP fólie		74,632	1,983
	válcování		7,958	0,434
	celkový environmentální dopad		82,591	2,417
železobeton	beton prostý	98%	0,511	0,086
	výztuž - ocel	2%	24,166	2,184
	celkový environmentální dopad		0,984	0,128

Při jakémkoliv ručním modelování z dostupných dat, kombinací dílčích procesů a materiálů dochází k vnášení nepřesností do výpočtu. Při procesu jsou hodnoty zkresleny a data spíše orientační.

Tepelně-technické materiálové parametry jsou buď převzaty z programu Teplo [8], případně u některých materiálů je hodnota převzata přímo od výrobce nebo odvozena jako průměr hodnot pro daný materiál od různých výrobců.

V příloze č.1 jsou uvedeny environmentální i tepelně technické hodnoty pro všechny použité materiály.

#### 5.1.5 Funkční jednotka

Pro každou variantu konstrukce byl vždy navržen typický m<sup>2</sup> skladby pro tři předem zvolené součinitele prostupu tepla. Pro každou variantu byl spočten celkový environmentální dopad GWP a PEI<sub>nre</sub>. Jednotlivé varianty byly poté z hlediska environmentálního dopadu pro každou konstrukci vzájemně porovnány.

Do porovnání jsou vždy zahrnuty pouze 3 zmíněné faktory. Ekonomická ani jiná kritéria nejsou uvažována.

## 5.2 Porovnání v rámci vrstev

Možný způsob, jak najít optimální variantu, je porovnat některé jednotlivé vrstvy a jejich možná materiálová řešení. Jednotlivé nejlepší možnosti pak aplikovat do jedné skladby a vytvořit tak cíleně nejlepší variantu. Obecně se dá říci, že největší část celé skladby dřevostavby tvoří nosná konstrukce a tepelná izolace. Tyto vrstvy jsou dále porovnány.

### 5.2.1 Porovnání tepelných izolací

V tomto srovnání jsou porovnány tepelné izolace, o kterých by se dalo uvažovat v běžné výstavbě a které jsou svými vlastnostmi vhodné pro řešený objekt.

Pro tepelné izolace byl jako srovnávací faktor zvolen součinitel prostupu tepla  $U$ .

$$U = \frac{1}{R_{se} + R + R_{si}}; U \text{ je zde zvoleno jako konstanta, tedy } U = 0,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

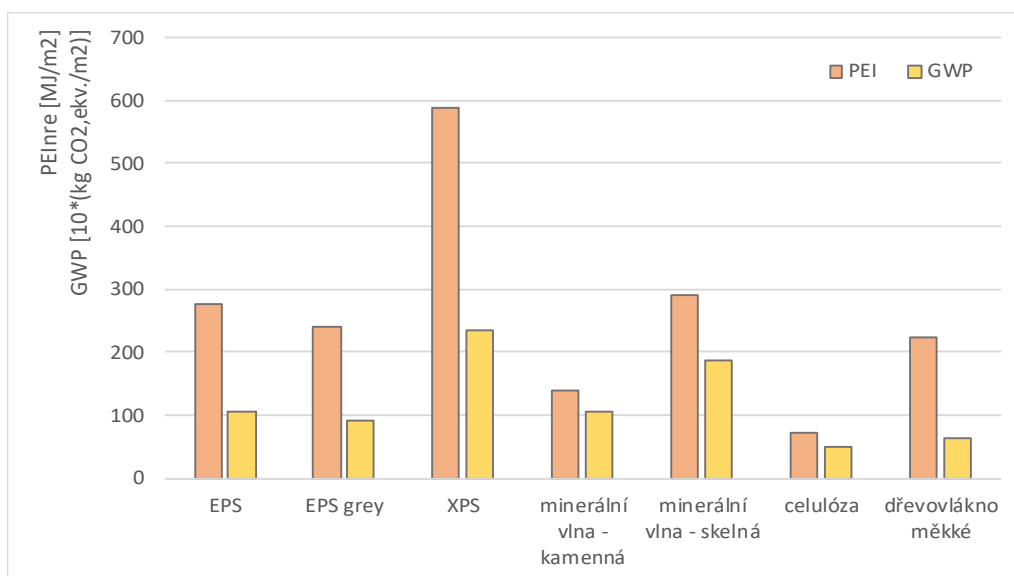
Jelikož nejde o konstrukci s vnitřním a vnějším povrchem, odpor při přestupu tepla na vnitřní a vnější straně konstrukce je uvažován jako nulový, resp. neuvažován. Zjednodušeně lze tedy napsat:

$$R = \frac{d}{\lambda} \rightarrow U = \frac{1}{d}, \text{ neboli } U = \frac{\lambda}{d}$$

$U$  je zvoleno jako konstanta a součinitel tepelné vodivosti je dosazen pro každou tepelnou izolaci. Ze vztahu  $U = \frac{\lambda}{d}$  je spočtena potřebná tloušťka všech typů izolací, aby bylo dosaženo zvoleného součinitele prostupu tepla ( $U = 0,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ). Jednotlivé tloušťky izolací byly přenásobeny objemovou hmotností materiálů, výsledkem je plošná hmotnost v  $\text{kg}/\text{m}^2$ . Ta je opět pro každou tepelnou izolaci přenásobena dohledanými environmentálními dopady. V Tabulce 2 jsou uvedeny konkrétní hodnoty environmentálních dopadů pro všechny posouzené tepelné izolace. Pro přehlednost jsou data převedena do grafu 3.

Tabulka 2 – Porovnání tepelných izolací pro součinitel prostupu tepla  $U = 0,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

$U = 0,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	$\lambda$	$\rho$	$PEI_{nre}$	GWP	d		$PEI_{nre}$	GWP
	$[\text{W}/(\text{mK})]$	$[\text{kg}/\text{m}^3]$	$[\text{MJ}/\text{kg}]$	$[\text{kg CO}_{2,ekv.}/\text{kg}]$	$[\text{m}]$	$\text{kg}/\text{m}^2$	$[\text{MJ}/\text{m}^2]$	$[\text{kg CO}_{2,ekv.}/\text{m}^2]$
EPS	0,039	16	89,166	3,383	0,195	3,120	278,198	10,556
EPS grey	0,033	16	90,654	3,455	0,165	2,640	239,327	9,122
XPS	0,035	35	96,181	3,841	0,175	6,125	589,111	23,526
minerální vlna - kamenná	0,038	40	18,255	1,410	0,190	7,600	138,736	10,712
minerální vlna - skelná	0,034	40	42,940	2,743	0,170	6,800	291,989	18,655
celulóza	0,040	50	7,184	0,502	0,200	10,000	71,837	5,020
dřevovláknitá deska měkká	0,038	140	8,364	0,239	0,190	26,600	222,488	6,353



Graf 3 – Porovnání tepelných izolací pro součinitel prostupu tepla  $U = 0,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Celulóza vykazuje nejnižší hodnoty jak pro primární neobnovitelnou energii, tak pro produkci  $\text{CO}_{2,\text{ekv.}}$ . V přepočtu na primární neobnovitelnou energii mají nižší hodnoty přírodnější izolanty jako minerální vlna kamenná nebo dřevovláknité izolace. U produkce  $\text{CO}_{2,\text{ekv.}}$  je však expandovaný polystyren srovnatelný s minerální kamennou vlnou. EPS grey sice na kilogramy vykazuje vysoké hodnoty environmentálních dopadů, ale díky nízkému součiniteli prostupu tepla se v přepočtu dá environmentálně řadit k izolantům s nižším GWP.

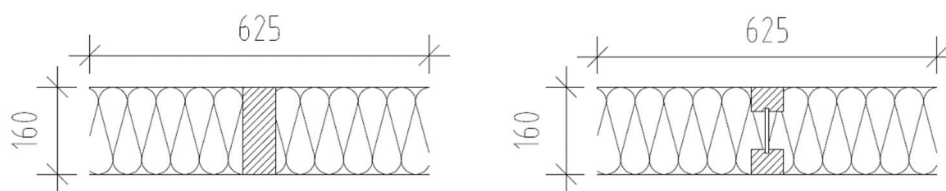
Různé typy izolace se však pojí s jistými konstrukčními omezeními ohledně vlhkosti. Difúzní odpory se pro jednotlivé typy izolantů řádově liší a použití zvoleného izolačního materiálu má vliv na celou skladbu konstrukce a prostup vlhkosti.

### 5.2.2 Porovnání vybraných konstrukčních prvků

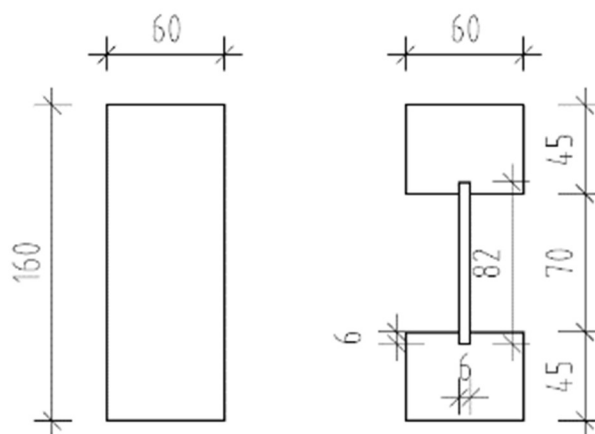
Konstrukcí, které se používají ve dřevostavbách jako nosné nebo jako rošt pro tepelnou izolaci, existuje několik typů. V tomto porovnání je znázorněno, jaké vykazují environmentální dopady při stejné celkové výšce a šířce prvku dvě často používané varianty – I-nosník a KVH hranol s plným průřezem.

Environmentální dopad i součinitel prostupu tepla je počítán přes charakteristický výsek konstrukce. Většinou část tvoří tepelná izolace s  $\lambda$  0,04  $\text{W}/(\text{mK})$ . Osová vzdálenost prvků je 0,625 m. Schéma je na Obrázku 17. Půdorysný rozměr sloupků je stejný a to 160 na 60 mm, viz Obrázek 18.





Obrázek 17 – Schéma charakteristického výseku pro varianty s KVH hranolem a I-nosníkem



Obrázek 18 – Schéma nosných prvků – KVH hranol a I-nosník

Jako modelová tepelná izolace je v tomto porovnání uvažována celulóza s  $\lambda = 0,04$  W/(mK). Environmentální parametry izolace jsou relativně nízké a environmentální dopad konstrukčních prvků je tak více patrný než např. v kombinaci s klasickým EPS.

### Popis prvků

Sloupky s plným profilem jsou navrženy jako celodřevěné s  $\lambda = 0,18$  W/(mK).

I-sloupek je navržen podle systému STEICO [9], pro tepelně izolační vlastnosti jsou navrženy hodnoty. Pásnice (dřevo)  $\lambda = 0,18$  W/(mK), stojna je z tvrdé dřevovláknité desky, kde  $\lambda = 0,13$  W/(mK).

Materiálové procentuální zastoupení obou variant je uvedeno v Tabulce 3.

Tabulka 3 – Porovnání charakteristických výseků se stejnou tloušťkou tepelné izolace

	materiálové zastoupení		$\lambda$	PEI <sub>nre</sub>		GWP	
	materiál	%	[W/(mK)]	[MJ/kg]		[kg CO <sub>2,ekv.</sub> /kg]	
PLNÝ PROFIL	dřevo	9,600	0,180	2,321	0,223	0,155	0,015
	izolace	90,400	0,040	7,184	6,494	0,502	0,454
	celkem	100,000	0,053		6,717		0,469
I-SLOUPEK	dřevo	5,330	0,180	2,321	12,371	0,155	0,826
	dřevovl. deska	0,490	0,130	17,108	8,383	0,923	0,452
	izolace	94,180	0,040	7,184	676,561	0,502	47,282
	celkem	100,000	0,048		6,973		0,486

V porovnání charakteristických výseků vykazuje při stejné tloušťce tepelné izolace u obou variant, z hlediska ekvivalentního součinitele tepelné vodivosti, lepší hodnoty I-nosník (Tabulka 3). Sloupek s plným profilem vykazuje lepší hodnoty u environmentálních dopadů.

Tabulka 4 – Porovnání charakteristických výseků pro  $U = 0,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

		PEI <sub>nre</sub>			GWP	
$U = 0,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$		[kg/m <sup>2</sup> ]	[MJ/kg]	[MJ/m <sup>2</sup> ]	[kg CO <sub>2,ekv.</sub> /kg]	[kg CO <sub>2,ekv.</sub> /m <sup>2</sup> ]
PLNÝ PROFIL	dřevo	8,544	2,321	19,830	0,155	1,324
	izolace	8,046	7,184	57,797	0,502	4,039
	celkem			77,627		5,364
I-SLOUPEK	dřevo	4,264	2,321	9,897	0,155	0,661
	izolace	7,534	7,184	54,125	0,502	3,783
	dřevovl. deska	0,549	17,108	9,389	0,923	0,506
	celkem			73,410		4,950

Obě varianty jsou dále porovnány na součinitel prostupu tepla,  $U = 0,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  (Tabulka 4). Jelikož součinitel tepelné vodivosti je horší u varianty s plným profilem, musí mít tedy větší tloušťku, aby dosáhl požadovaného součinitele prostupu tepla a tím i vyšší materiálové zastoupení, které má celkově vyšší environmentální dopad. Při stejném součiniteli prostupu tepla by bylo z hlediska energetického i environmentálního dopadu vhodnější zvolit I-nosník.

### 5.3 Navrhované skladby

V této kapitole je pro každou konstrukci budovy navrženo několik materiálových variant skladeb. Vyčíslení environmentálních parametrů je vždy navrženo pro běžný m<sup>2</sup> skladby; není uvažováno případné zhuštění prvků u staticky náročnějších částí konstrukce, nejsou započteny kovové spojníky.

Aby porovnání variant skladeb bylo co nejpřesnější, jsou tloušťky tepelné izolace navrženy tak, aby každá skladba odpovídala přesně požadovanému součiniteli prostupu tepla, i když nejsou reálně proveditelné. Pro konstrukční návrh v závěrečné části práce však bude použita nejbližší reálná tloušťka izolace, při které konstrukce splňuje požadované parametry.

Je provedeno několik předpokladů a zjednodušení výpočtů. Skladby nejsou akusticky ani staticky posouzeny. Dimenze jednotlivých prvků jsou pouze empiricky navrženy a odhadnuty.

#### 5.3.1 Obvodová stěna

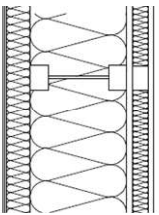
Je navrženo celkem 5 variant skladeb obvodové stěny. Jsou voleny spíše difúzně otevřené skladby, které umožňují použití izolací z minerálních a dřevitých vláken, s nižším environmentálním dopadem. Varianty vychází z běžně používaných skladeb.

Pro zjednodušení jsou nosné prvky, které zároveň slouží jako nosná konstrukce pro tepelnou izolaci vždy navrženy ve stejné tloušťce jako tepelná izolace.

Tabulky 5 až 9 představují jednotlivé vybrané skladby. Pro každou skladbu jsou uvedeny tři součinitele prostupu tepla a jim odpovídající svázané environmentální dopady.

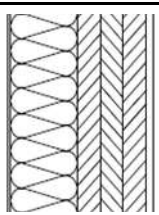
- $U_{N,20}=0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$
- $U_{rec,20}=0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$
- $U_{pas,20}=0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Tabulka 5 – Popis skladby obvodové stěny K1

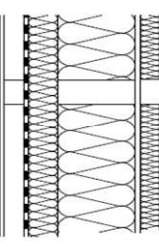
OBVODOVÁ STĚNA		SKLADBA K1	$U_{N,20}$	$U_{rec,20}$	$U_{pas,20}$
			[m]		
SCHÉMA	POPIS	FUNKCE	d		
	omítka	exteriérová vrstva	0,004		
	dřevovláknitá deska	izolační deska	0,040		
	minerální vlna - kamenná + l-nosník	tepelná izolace + nosná kce	0,130	0,142	0,210
	OSB	konstrukční deska	0,015		
	dřevěný rošt + minerální vlna - kamenná	instalační předstěna	0,04 <sup>1)</sup>	0,040	0,040
	sádrokartonová deska	interiérová vrstva	0,013		
	odpor při přestupu tepla [(m <sup>2</sup> K)/W]	PEI <sub>nre</sub> [MJ/m <sup>2</sup> ]	364,235	400,673	458,039
	R <sub>si</sub> =0,13 (na vnitřní straně konstrukce)	GWP [kg CO <sub>2</sub> ,ekv./m <sup>2</sup> ]	28,002	30,786	35,031
	R <sub>se</sub> =0,04 (na vnější straně konstrukce)	U [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,30	0,20	0,15

<sup>1)</sup> není vyplněno tepelnou izolací

Tabulka 6 – Popis skladby obvodové stěny K2

OBVODOVÁ STĚNA		SKLADBA K2	$U_{N,20}$	$U_{rec,20}$	$U_{pas,20}$
			[m]		
SCHÉMA	POPIS	FUNKCE	d		
	omítka	exteriérová vrstva	0,004		
	EPS	tepelná izolace	0,084	0,149	0,214
	lepené dřevo	CLT panel, nosná konstrukce	0,124		
	sádrovláknitá deska	interiérová vrstva	0,013		
	odpor při přestupu tepla [(m <sup>2</sup> K)/W]	PEI <sub>nre</sub> [MJ/m <sup>2</sup> ]	679,273	772,434	865,167
	R <sub>si</sub> =0,13 (na vnitřní straně konstrukce)	GWP [kg CO <sub>2</sub> ,ekv./m <sup>2</sup> ]	41,611	45,145	48,664
	R <sub>se</sub> =0,04 (na vnější straně konstrukce)	U [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,30	0,20	0,15

Tabulka 7 – Popis skladby obvodové stěny K3

OBVODOVÁ STĚNA		SKLADBA K3	$U_{N,20}$	$U_{rec,20}$	$U_{pas,20}$
			[m]		
SCHÉMA	POPIS	FUNKCE	d		
	dřevěný obklad	exteriérová vrstva	0,012		
	dřevěný rošt + větraná mezera	rošt, větraná mezera	0,040		
	difúzní fólie PP	difúzní vrstva	-		
	dřevovláknitá deska	izolační deska	0,040		
	dřevovláknitá izolace + KVH nosník	tepelná izolace + nosná konstrukce	0,103	0,156	0,241
	OSB	konstrukční deska	0,015		
	dřevěný rošt + dřevovláknitá izolace	instalační předstěna	0,04 <sup>1)</sup>	0,040	0,040
	sádrokartonová deska	interiérová vrstva	0,0125		
	odpor při přestupu tepla [(m <sup>2</sup> K)/W]	PEI <sub>nre</sub> [MJ/m <sup>2</sup> ]	356,641	461,578	561,027
	R <sub>si</sub> =0,13 (na vnitřní straně konstrukce)	GWP [kg CO <sub>2</sub> ,ekv./m <sup>2</sup> ]	19,733	22,958	26,159
R <sub>se</sub> =0,13 (na vnější straně konstrukce)	U [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,30	0,20	0,15	

<sup>1)</sup> není vyplněno tepelnou izolací

Tabulka 8 – Popis skladby obvodové stěny K4

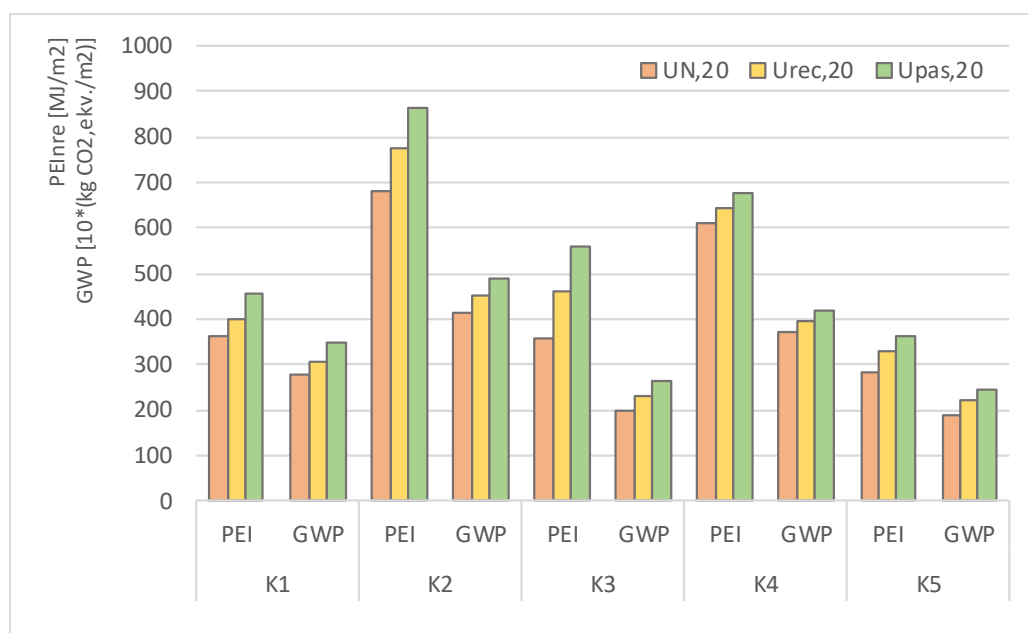
OBVODOVÁ STĚNA		SKLADBA K4	U <sub>N,20</sub>	U <sub>rec,20</sub>	U <sub>pas,20</sub>
			[m]		
SCHÉMA	POPIS	FUNKCE	d		
	dřevěný obklad	exteriérová vrstva	0,012		
	dřevěný rošt + větraná mezera	rošt, větraná mezera	0,040		
	difúzní fólie PP	difúzní vrstva	-		
	dřevovláknitá deska	izolační deska	0,040		
	foukaná celulóza + I-nosník	tepelná izolace + kce pro TI	0,07 <sup>2)</sup>	0,145	0,214
	lepené dřevo	CLT panel, nosná konstrukce	0,124		
	odpor při přestupu tepla [(m <sup>2</sup> K)/W]	PEI <sub>nre</sub> [MJ/m <sup>2</sup> ]	609,295	645,092	677,622
	R <sub>si</sub> =0,13 (na vnitřní straně konstrukce)	GWP [kg CO <sub>2</sub> ,ekv./m <sup>2</sup> ]	37,198	39,571	41,718
	R <sub>se</sub> =0,13 (na vnější straně konstrukce)	U [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,30	0,20	0,15

Tabulka 9 – Popis obvodové stěny K5

OBVODOVÁ STĚNA		SKLADBA K5	U <sub>N,20</sub>	U <sub>rec,20</sub>	U <sub>pas,20</sub>
			[m]		
SCHÉMA	POPIS	FUNKCE	d		
	dřevěný obklad	exteriérová vrstva	0,012		
	dřevěný rošt + větraná mezera	rošt, větraná mezera	0,040		
	difúzní fólie PP	difúzní vrstva	-		
	dřevovláknitá deska	izolační deska	0,040		
	foukaná celulóza + I-nosník	tepelná izolace + nosná konstrukce	0,106 <sup>2)</sup>	0,145	0,215
	OSB	konstrukční deska	0,015		
	dřevěný rošt + minerální vlna - kamenná	instalační předstěna	0,04 <sup>1)</sup>	0,040	0,040
	sádrokartonová deska	interiérová vrstva	0,0125		
	odpor při přestupu tepla [(m <sup>2</sup> K)/W]	PEI <sub>nre</sub> [MJ/m <sup>2</sup> ]	282,945	329,551	362,421
	R <sub>si</sub> =0,13 (na vnitřní straně konstrukce)	GWP [kg CO <sub>2</sub> ,ekv./m <sup>2</sup> ]	19,066	22,397	24,570
R <sub>se</sub> =0,13 (na vnější straně konstrukce)	U [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,30	0,20	0,15	

<sup>1)</sup> není vyplněno tepelnou izolací

<sup>2)</sup> nosný prvek je kvůli malému rozměru počítán jako prvek s plným průřezem



Graf 4 – Porovnání obvodových konstrukcí podle PEI a GWP

Pro oba environmentální dopady vychází nejlépe skladba K5 (Tabulka 9). Relativně nízké hodnoty vykazuje i skladba K3, která by se dala popsat jako typická obvodová konstrukce pro dřevostavby. Nejhůře vycházejí skladby s lepenými dřevěnými panely.

### 5.3.2 Střešní konstrukce

Jednotlivé součinitele prostupu tepla pro tuto konstrukci jsou:

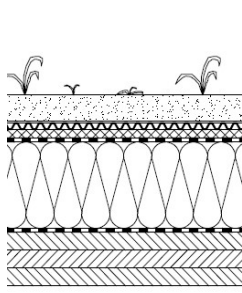
- $U_{N,20}=0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$
- $U_{rec,20}=0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$
- $U_{pas,20}=0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Optimalizace střešních krytin není v této práci zahrnuta. Střecha je navržena jako extenzivní zelená. Souvrství střechy nad hydroizolací je u všech variant stejné.

Zelená střecha je zvolena např. z důvodu redukce přehřívání v letních měsících, redukce koncentrace  $\text{SO}_2$  a  $\text{CO}_2$ , která je v městských oblastech několikanásobně vyšší oproti lesnímu ekosystému [3], schopnosti tlumit hluk a redukci odtoku dešťové vody.

Většina skladeb je navržena jako provětrávaná z důvodu odvodu vlhkosti. Větrací mezera je navrhována podle normy na 0,1 m [10]. U skladeb, kde je navrženo EPS (Tabulka 10), je střecha neprovětrávaná, jelikož případný vznik vlhkosti nemá na tepelnou izolaci vliv a dřevěná konstrukce je u této varianty z hlediska průniku vlhkosti zajištěna.

Tabulka 10 – Popis skladby střechy S1

STŘECHA		SKLADBA S1	$U_{N,20}$	$U_{rec,20}$	$U_{pas,20}$
			[m]		
SCHÉMA	POPIS	FUNKCE	d		
	extenzivní zeleň	vegetační vrstva	0,100		
	geotextilie, 300 g/m <sup>2</sup>	separační vrstva	-		
	nopová fólie	drenážní vrstva	0,015		
	XPS	ochranná vrstva	0,020		
	geotextilie, 300 g/m <sup>2</sup>	separační vrstva	-		
	PVC fólie	hydroizolace	0,002		
	geotextilie, 300 g/m <sup>2</sup>	separační vrstva	-		
	EPS	tepelná izolace	0,089	0,170	0,250
	asfaltový pás	parozábrana	0,004		
	lepené dřevo	CLT panel, nosná konstrukce	0,150		
	odpor při přestupu tepla [(m <sup>2</sup> k)/W]	PEI [MJ/m <sup>2</sup> ]	1316,963	1432,522	1546,655
	$R_{si}=0,1$ (na vnitřní straně konstrukce)	GWP [kg CO <sub>2</sub> ekv./m <sup>2</sup> ]	59,913	64,298	68,629
	$R_{se}=0,04$ (na vnější straně konstrukce)	U [W/(m <sup>2</sup> k)]	0,24	0,16	0,12

Tabulka 11 – Popis skladby střechy S2

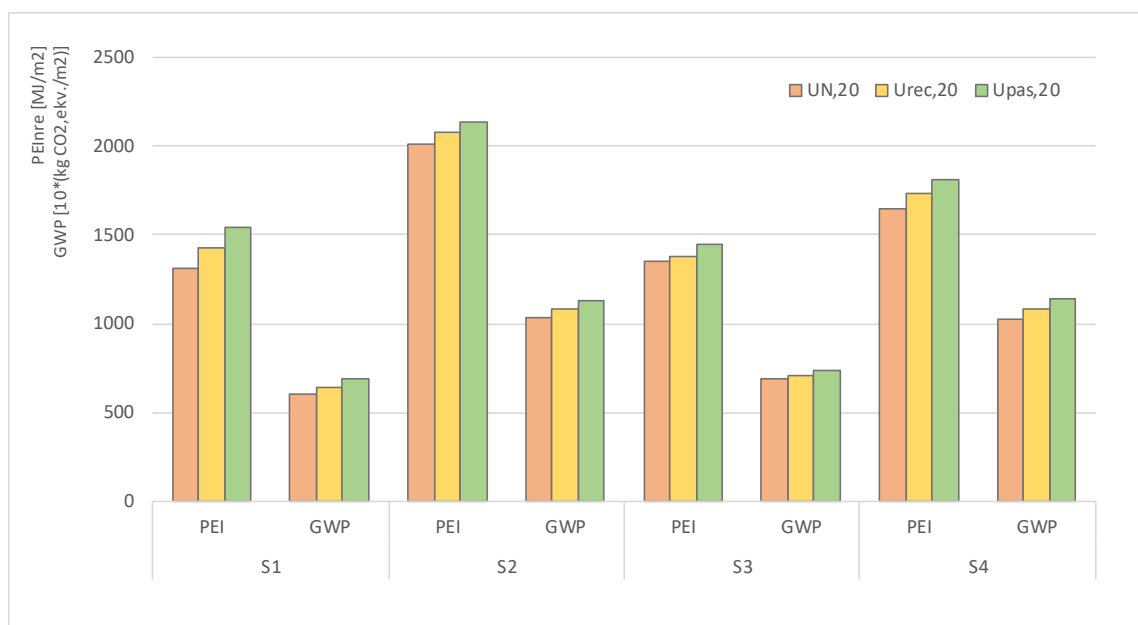
STŘECHA		SKLADBA S2	U <sub>N,20</sub>	U <sub>rec,20</sub>	U <sub>pas,20</sub>
SCHÉMA		FUNKCE	[m]		
	extenzivní zeleň	vegetační vrstva	0,100		
	geotextilie, 300 g/m <sup>2</sup>	separační vrstva	-		
	nopová fólie	drenážní vrstva	0,002		
	XPS	ochranná vrstva	0,020		
	asfaltový pás	hydroizolace	0,008		
	sádrovláknitá deska, 2x15 mm	záklon	0,030		
	dřevěný rošt + větraná mezera	větraná mezera	0,100		
	difúzní fólie PP, 150 g/m <sup>2</sup>	difúzní vrstva	-		
	dřevovláknitá hydrofob. deska (DHF)	difúzní vrstva	0,015		
	minerální vlna - kamenná + I-nosník	tepelná izolace	0,120	0,204	0,288
	asfaltový pás	parozábrana	0,004		
	lepené dřevo	CLT panel, nosná konstrukce	0,150		
	odpor při přestupu tepla [(m <sup>2</sup> K)/W]	PEI <sub>nre</sub> [MJ/m <sup>2</sup> ]	2014,472	2076,153	2138,095
	R <sub>si</sub> =0,1 (na vnitřní straně konstrukce)	GWP [kg CO <sub>2</sub> ,ekv./m <sup>2</sup> ]	103,496	108,248	113,014
	R <sub>se</sub> =0,1 (na vnější straně konstrukce)	U [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,24	0,16	0,12

Tabulka 12 – Popis skladby střechy S3

STŘECHA		SKLADBA S3	U <sub>N,20</sub>	U <sub>rec,20</sub>	U <sub>pas,20</sub>
SCHÉMA		FUNKCE	[m]		
	extenzivní zeleň	vegetační vrstva	0,100		
	geotextilie, 300 g/m <sup>2</sup>	separační vrstva	-		
	nopová fólie	drenážní vrstva	0,015		
	XPS	ochranná vrstva	0,020		
	sádrovláknitá deska, 2x15 mm	záklon	0,030		
	asfaltový pás	hydroizolace	0,008		
	dřevěný rošt + větraná mezera	větraná mezera	0,100		
	difúzní fólie PP, 150 g/m <sup>2</sup>	difúzní vrstva	-		
	dřevovláknitá hydrofob. deska (DHF)	difúzní vrstva	0,015		
	foukaná celulóza + I-nosník	tepelná izolace + nosná konstrukce	0,132	0,220	0,307
	PE fólie, 150 g/m <sup>2</sup>	parozábrana	-		
	OSB deska	záklon	0,015		
	minerální vlna - kamenná + I-nosník	instalační podhled	0,040		
	sádrokartonová deska	interiérová vrstva	0,0125		
	odpor při přestupu tepla [(m <sup>2</sup> K)/W]	PEI <sub>nre</sub> [MJ/m <sup>2</sup> ]	1351,014	1383,426	1451,575
R <sub>si</sub> =0,1 (na vnitřní straně konstrukce)	GWP [kg CO <sub>2</sub> ,ekv./m <sup>2</sup> ]	68,876	71,139	73,391	
R <sub>se</sub> =0,1 (na vnější straně konstrukce)	U [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,24	0,16	0,12	

Tabulka 13 – Popis skladby střechy S4

STŘECHA		SKLADBA S4	U <sub>N,20</sub>	U <sub>rec,20</sub>	U <sub>pas,20</sub>
SCHÉMA		POPIS	[m]		
		FUNKCE	d		
	extenzivní zeleň	vegetační vrstva	0,100		
	geotextilie, 300 g/m <sup>2</sup>	separační vrstva	-		
	hopová fólie	drenážní vrstva	0,002		
	XPS	ochranná vrstva	0,020		
	asfaltový pás	hydroizolace	0,008		
	sádrovláknitá deska, 2x15 mm	záklon	0,030		
	dřevěný rošt + větraná mezera	větraná mezera	0,100		
	difúzní fólie PP, 150 g/m <sup>2</sup>	difúzní vrstva	-		
	dřevovláknitá hydrofob. deska (DHF)	difúzní vrstva	0,015		
	minerální vlna - kamenná	tepelná izolace	0,099	0,150	0,200
	minerální vlna - kamenná	tepelná izolace	0,090	0,146	0,200
	asfaltový pás	parozábrana	0,004		
	OSB deska	záklon	0,018		
	lepené dřevo	příznaná nosná konstrukce	0,260		
odpor při přestupu tepla [(m <sup>2</sup> ·K)/W]	PEI <sub>pre</sub> [MJ/m <sup>2</sup> ]	1648,468	1731,018	1811,253	
R <sub>si</sub> =0,1 (na vnitřní straně konstrukce)	GWP [kg CO <sub>2</sub> ekv./m <sup>2</sup> ]	102,035	108,285	114,359	
R <sub>se</sub> =0,1 (na vnější straně konstrukce)	U [W/(m <sup>2</sup> ·K)]	0,24	0,16	0,12	



Graf 5 – Porovnání střešních konstrukcí podle PEI a GWP

Z celkového porovnání jsou v environmentálním dopadu srovnatelné skladby S1 a S3. Ačkoliv skladba S1 má pro U<sub>N,20</sub> nižší dopad než S3, pro zbylé dva součinitele prostupu tepla je environmentální dopad vyšší.

### 5.3.3 Terasy

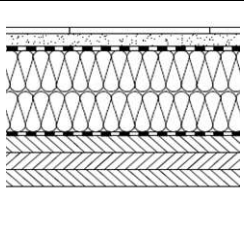
Konstrukční řešení teras a plochých střech je u dřevostaveb z hlediska kondenzace vlhkosti více rizikovější než u jiných stavebních materiálů. Rozdíl tlaků vzduchu není na vodorovných úsecích tak velký jako například u obvodové stěny a nasávání vzduchu není tak bezproblémové. Je tedy možné, že ačkoliv je větraná mezera navržena, případná kondenzace nemusí být odvětrána, což může způsobit degradační účinky např. u vláknité tepelné izolace a dřevěné konstrukce.

Součinitele prostupu tepla jsou navrženy stejné jako pro střechy, tedy:

- $U_{N,20}=0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$
- $U_{rec,20}=0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$
- $U_{pas,20}=0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$

Skladba T2 je navržena s provětrávanou mezerou. Tloušťka vzduchových mezer se však projeví v celkové tloušťce terasy. Přístup z interiéru na terasu by tak mohl být uživatelsky nepříjemný. U minerálních nebo vláknitých izolací je však i přes to vhodnější volit provětrávanou a difúzně otevřenou konstrukci než skladbu difúzně uzavřenou.

Tabulka 14 – Popis skladby terasy T1

TERASA		SKLADBA T1	$U_{N,20}$	$U_{rec,20}$	$U_{pas,20}$	
SCHÉMA			[m]			
	POPIS	FUNKCE	d			
	dlaždice	pochozí vrstva	0,030			
	štěrka	štěrkové lože	0,050			
	asfaltový pás	hydroizolace	0,008			
	XPS	tepelná izolace	0,099	0,120	0,120	
	EPS	tepelná izolace	0,000	0,058	0,139	
	asfaltový pás	parozábrana	0,004			
	lepené dřevo	CLT panel, nosná konstrukce	0,150			
	odpor při přestupu tepla $[(\text{m}^2\text{K})/\text{W}]$		$PEI_{nre}$ $[\text{MJ}/\text{m}^2]$	2324,659	2478,098	2593,657
	$R_{si}=0,1$ (na vnitřní straně konstrukce)		GWP $[\text{kg CO}_2, \text{ekv.}/\text{m}^2]$	126,719	132,681	137,066
	$R_{se}=0,04$ (na vnější straně konstrukce)		U $[\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$	0,24	0,16	0,12

Tabulka 15 – Popis skladby terasy T2

TERASA		SKLADBA T2	$U_{N,20}$	$U_{rec,20}$	$U_{pas,20}$	
SCHÉMA			[m]			
	POPIS	FUNKCE	d			
	dlaždice	pochozí vrstva	0,030			
	štěrka	štěrkové lože	0,050			
	geotextilie, 300 g/m <sup>2</sup>	separační vrstva	-			
	XPS	izolační vrstva	0,020			
	asfaltový pás	hydroizolace	0,008			
	sádrovláknitá deska, 2x15 mm	záklap	0,030			
	difúzní fólie PP, 150 g/m <sup>2</sup>	difúzní vrstva	-			
	dřevěný rošt + větraná mezera	větraná mezera	0,100			
	dřevovláknitá hydrofob. deska (DHF)	difúzní vrstva	0,015			
	foukaná celulóza + I-nosník	tepelná izolace + nosná konstrukce	0,133	0,220	0,308	
	OSB deska	záklap	0,015			
	PE fólie, 150 g/m <sup>2</sup>	parozábrana	-			
	minerální vlna - kamenná	instalační podhled	0,040			
	sádrokartonová deska	interiérová vrstva	0,0125			
	odpor při přestupu tepla $[(\text{m}^2\text{K})/\text{W}]$		$PEI_{nre}$ $[\text{MJ}/\text{m}^2]$	1918,123	1950,191	1982,848
	$R_{si}=0,1$ (na vnitřní straně konstrukce)		GWP $[\text{kg CO}_2, \text{ekv.}/\text{m}^2]$	115,423	117,661	119,937
$R_{se}=0,1$ (na vnější straně konstrukce)		U $[\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$	0,24	0,16	0,12	



Tabulka 16 – Popis skladby terasy T3

TERASA		SKLADBA T3	U <sub>N,20</sub>	U <sub>rec,20</sub>	U <sub>pas,20</sub>
SCHÉMA		FUNKCE	[m]		
	dlaždice	pochozí vrstva	0,030		
	štěrk	štěrkové lože	0,050		
	asfaltový pás	hydroizolace	0,008		
	XPS	tepelná izolace	0,080	0,100	0,120
	EPS	tepelná izolace	0,060	0,120	0,180
	asfaltový pás	parozábrana	0,004		
	OSB deska	záklap	0,015		
	lepené dřevo	příznaná nosná konstrukce	0,260		
	odpor na konstrukci [(m <sup>2</sup> K)/W]	PEI <sub>inre</sub> [MJ/m <sup>2</sup> ]	2035,356	2188,283	2341,209
	R <sub>si</sub> =0,1 (na vnitřní straně konstrukce)	GWP [kg CO <sub>2</sub> ,ekv./m <sup>2</sup> ]	108,419	114,356	120,292
	R <sub>se</sub> =0,04 (na vnější straně konstrukce)	U [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,24	0,16	0,12



Graf 6 – Porovnání teras podle PEI a GWP

Porovnávané terasové konstrukce vykazují relativně stejné hodnoty. Zejména rozdíl mezi skladbou T2 a T3 není tak markantní a při zohlednění možných nepřesností kvůli „ručnímu“ modelování je možné environmentální dopad považovat za srovnatelný. Pro určení vhodnější varianty by bylo potřeba zvolit další porovnávací kritérium.

### 5.3.4 Strop nad 1.PP

Pro tuto konstrukci jsou navrženy dvě varianty. U obou je použita železobetonová stropní deska, která je z důvodu napojení na suterénní stěny vhodnější. Rozdíl je v uložení a materiálu tepelné izolace.

Pro tuto konstrukci nejsou řešeny např. akustické nebo požární požadavky. U skladby P2 je navržena tepelná izolace, která se lepí ze spodní strany stropu.

Konstrukce je posuzována jako strop vnitřní, z vytápěného k nevytápěnému prostoru. Jednotlivé součinitele prostupu tepla jsou:

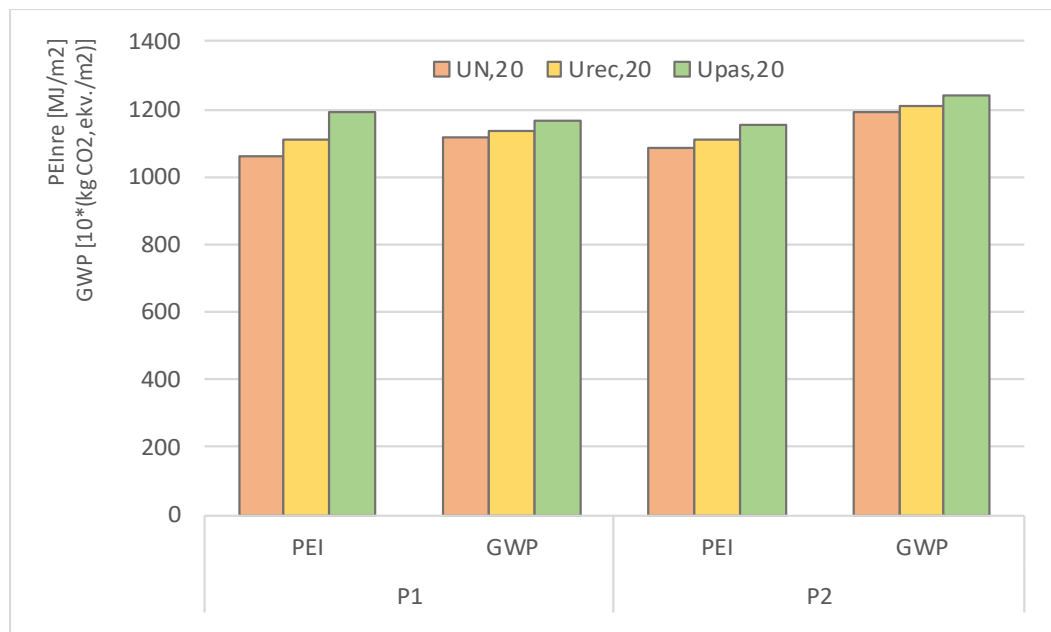
- $U_{N,20}=0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$
- $U_{rec,20}=0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$
- $U_{pas,20}=0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$

Tabulka 17 – Popis skladby stropy 1.PP P1

STROP NAD 1.PP		SKLADBA P1	$U_{N,20}$	$U_{rec,20}$	$U_{pas,20}$
			[m]		
SCHÉMA	POPIS	FUNKCE	d		
	dlaždice	pochozí vrstva	0,010		
	lepidlo	lepidlo	0,003		
	cementový potěr	roznášecí vrstva	0,050		
	geotextilie, 300 g/m <sup>2</sup>	separační vrstva	-		
	EPS	tepelná izolace	0,046	0,079	0,138
	ŽB, 4% ocel	nosná konstrukce	0,150		
	odpor při přestupu tepla [(m <sup>2</sup> K)/W]	PEI <sub>inre</sub> [MJ/m <sup>2</sup> ]	1061,388	1107,897	1192,069
	R <sub>si</sub> =0,17 (na vnitřní straně konstrukce)	GWP [kg CO <sub>2</sub> ,ekv./m <sup>2</sup> ]	111,575	113,34	116,533
	R <sub>se</sub> =0,17 (na vnější straně konstrukce)	U [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,60	0,40	0,25

Tabulka 18 – Popis skladby stropy 1.PP P2

STROP NAD 1.PP		SKLADBA P2	$U_{N,20}$	$U_{rec,20}$	$U_{pas,20}$
			[m]		
SCHÉMA	POPIS	FUNKCE	d		
	dlaždice	pochozí vrstva	0,010		
	lepidlo	lepidlo	0,003		
	cementový potěr	roznášecí vrstva	0,050		
	PE fólie, 150 g/m <sup>2</sup>	separační vrstva	-		
	minerální vlna - kamenná	tepelná izolace	0,020	0,030	0,066
	ŽB, 4% ocel	nosná konstrukce	0,150		
	minerální vlna - kamenná	tepelná izolace	0,025	0,048	0,070
	omítka	pohledová vrstva	0,005		
	odpor při přestupu tepla [(m <sup>2</sup> K)/W]	PEI <sub>inre</sub> [MJ/m <sup>2</sup> ]	1087,227	1111,031	1153,380
	R <sub>si</sub> =0,17 (na vnitřní straně konstrukce)	GWP [kg CO <sub>2</sub> ,ekv./m <sup>2</sup> ]	118,890	120,728	123,990
R <sub>se</sub> =0,17 (na vnější straně konstrukce)	U [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,60	0,40	0,25	



Graf 7 – Porovnání stropní konstrukce nad 1.PP podle PEI a GWP

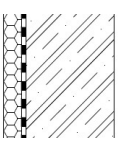
Z grafu je patrné, že ačkoliv skladba P2 vychází pro  $U_{N,20}$  hůře než u P1, pro  $U_{pas}$  už vychází lépe. Produkce  $CO_2$  je vyšší u varianty P2 pro všechny zvolené součinitele prostupu tepla. Varianta P2 vychází lépe pro  $PEI_{nre}$ , ale varianta P1 zase pro GWP. Vzájemný rozdíl výsledných environmentálních dopadů se však pohybuje do 5 % vypočtených hodnot, obě varianty lze tedy z hlediska environmentálních dopadů považovat za srovnatelné. Při volbě vhodnější varianty je vhodné vzít v potaz nějaké další kritérium.

### 5.3.5 Suterenní stěna

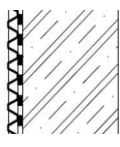
Tato konstrukce netvoří obálku vytápěné části budovy, proto je porovnání omezeno pouze na environmentální dopad.

Vždy je navržena varianta se suterenní ŽB stěnou, kde se liší typ hydroizolace a ochranné vrstvy. Konstrukce, kde by suterenní stěna nebo podlaha měly dostatečné hydroizolační vlastnosti díky potřebné příměsi, není kvůli chybějícím datům možné namodelovat. Je ale pravděpodobné, že by příměs nejspíš neměla takový environmentální dopad jako povlakové hydroizolace a v porovnání by vyšla nejlépe. Bohužel tuto hypotézu není možné v průběhu psaní této práce ověřit. Jsou tedy porovnány jen varianty, pro které bylo dostatek použitelných údajů.

Tabulka 19 – Popis skladby suterenní stěny SS1

SUTERÉN - STĚNA		SKLADBA SS1	[m]	[MJ/m <sup>2</sup> ]	[kg CO <sub>2</sub> ,ekv./m <sup>2</sup> ]
SCHÉMA	POPIS	FUNKCE	d	PEI <sub>nre</sub>	GWP
	ŽB, 4% ocel	suterenní stěna	0,150	568,311	66,207
	penetrační nátěr	penetrační nátěr	-	31,370	0,447
	asfaltový pás	hydroizolace	0,008	518,851	21,245
	XPS	ochranná vrstev	0,060	201,981	8,066
	CELKEM			0,218	1320,513

Tabulka 20 – Popis skladby suterenní stěny SS2

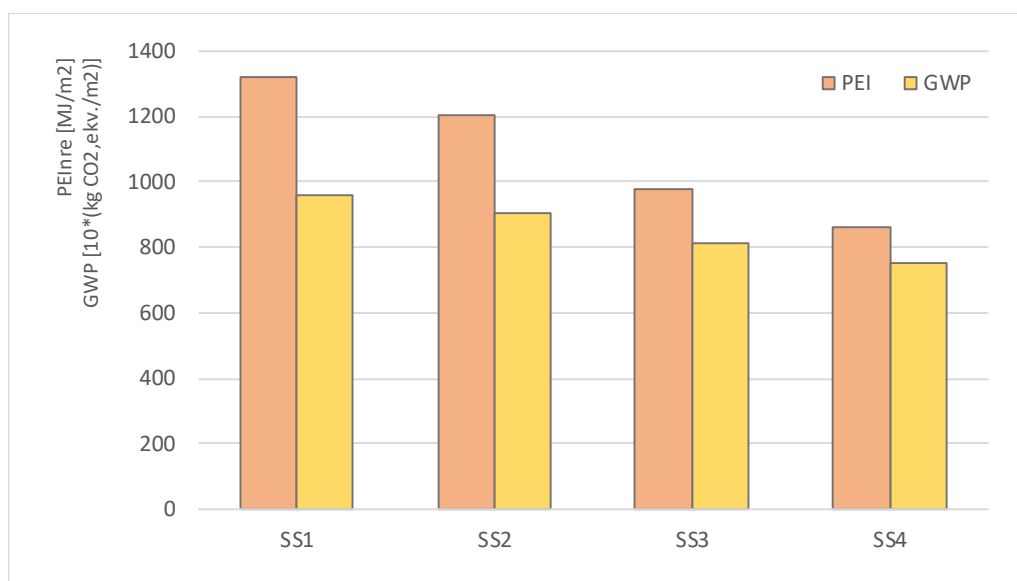
SUTERÉN - STĚNA		SKLADBA SS2	[m]	[MJ/m <sup>2</sup> ]	[kg CO <sub>2</sub> ,ekv./m <sup>2</sup> ]
SCHÉMA	POPIS	FUNKCE	d	PEI <sub>nre</sub>	GWP
	ŽB, 4% ocel	suterenní stěna	0,150	568,311	66,207
	penetrační nátěr	penetrační nátěr	-	31,370	0,447
	asfaltový pás	hydroizolace	0,008	518,851	21,245
	nopová fólie	ochranná vrstev	0,020	84,349	2,383
	CELKEM			0,178	1202,881

Tabulka 21 – Popis skladby suterénní stěny SS3

SUTERÉN - STĚNA		SKLADBA SS3	[m]	[MJ/m <sup>2</sup> ]	[kg CO <sub>2,ekv.</sub> /m <sup>2</sup> ]
SCHÉMA	POPIS	FUNKCE	d	PEI <sub>nre</sub>	GWP
	ŽB, 4% ocel	suterénní stěna	0,150	568,311	66,207
	geotextilie	separační vrstva	-	24,777	0,725
	PVC fólie	hydroizolace	0,002	158,351	5,374
	geotextilie	separační vrstva	-	24,777	0,725
	XPS	ochranná vrstva	0,060	201,981	8,066
	CELKEM			0,212	978,198

Tabulka 22 – Popis skladby suterénní stěny SS4

SUTERÉN - STĚNA		SKLADBA SS4	[m]	[MJ/m <sup>2</sup> ]	[kg CO <sub>2,ekv.</sub> /m <sup>2</sup> ]
SCHÉMA	POPIS	FUNKCE	d	PEI <sub>nre</sub>	GWP
	ŽB, 4%	suterénní stěna	0,150	568,311	66,207
	geotextilie	separační vrstva	-	24,777	0,725
	PVC fólie	hydroizolace	0,002	158,351	5,374
	geotextilie	separační vrstva	-	24,777	0,725
	nopová fólie	ochranná vrstva	0,020	84,349	2,383
	CELKEM			0,172	860,565



Graf 8 – Porovnání suterénních stěn podle PEI a GWP

V celkovém porovnání je patrné, že vychází lépe konstrukce s nopovou fólií, jako ochrannou vrstvou. Ohledně volby hydroizolace vykazuje lepší environmentální dopad použití povlakové hydroizolace ve formě PVC fólie.

Stěžejní materiály byly v tomto porovnání modelovány ručně.

### 5.3.6 Podlaha na zemině

Pro suterénní podlahy je navržena stejná pojízdná vrstva v obou variantách, aby bylo environmentální posouzení zaměřené na typ hydroizolace, která se pro dané varianty liší.

Tabulka 23 – Popis skladby podlahy na zemině SP1

SUTERÉN - PODLAHA		SKLADBA SP1	[m]	[MJ/m <sup>2</sup> ]	[kg CO <sub>2</sub> ,ekv./m <sup>2</sup> ]
SCHÉMA	POPIS	FUNKCE	d	PEI <sub>nre</sub>	GWP
	ŽB, 2%	pojízdná vrstva	0,075	183,046	23,769
	ŽB, 4%	základová deska	0,150	568,311	66,207
	asfaltový pás	hydroizolace	0,008	518,851	21,245
	penetrační nátěr	penetrační nátěr	-	31,370	0,447
	beton prostý	vyrovnávací vrstva	0,100	121,113	20,340
	CELKEM			0,333	1422,691

Tabulka 24 – Popis skladby podlahy na zemině SP2

SUTERÉN - PODLAHA		SKLADBA SP2	[m]	[MJ/m <sup>2</sup> ]	[kg CO <sub>2</sub> ,ekv./m <sup>2</sup> ]
SCHÉMA	POPIS	FUNKCE	d	PEI <sub>nre</sub>	GWP
	ŽB, 2%	pojízdná vrstva	0,075	183,046	23,769
	ŽB, 4%	základová deska	0,150	568,311	66,207
	geotextilie	separační vsrtva, 300 g/m <sup>2</sup>	-	24,777	0,725
	PVC fólie	hydroizolace	0,002	158,351	5,374
	geotextilie	separační vsrtva, 300 g/m <sup>2</sup>	-	24,777	0,725
	beton prostý	vyrovnávací vrstva	0,100	121,113	20,340
CELKEM			0,327	1080,375	79,819



Graf 9 – Porovnání podlah na zemině podle GWP a PEI

U této konstrukce stejně jako u suterénní stěny vychází pro oba faktory lépe varianta s povlakovou hydroizolací ve formě PVC fólie. Skladby s tímto typem hydroizolace však nezaručují takovou protiradonovou ochranu jako asfaltové pásy. Rozšíření skladeb s PVC o protiradonovou vložku by způsobila navýšení environmentálního dopadu, což by mohlo vést k jiným environmentálním výsledkům.

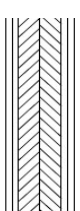
### 5.3.7 Vnitřní stěny

Akustické posouzení pro vnitřní stěny nebylo provedeno, navržené skladby částečně vychází z doporučených skladeb výrobců. [11] [12]

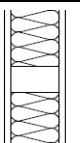
#### Nenosné stěny

Vnitřní stěny jsou děleny na nosné a nenosné – bytové. Pro každou stěnu je spočítán environmentální dopad. Pro nenosné stěny jsou navrženy pouze 2 varianty, panelová konstrukce (Tabulka 25) a tradiční příčka z dřevěného rámu vyplněna izolací (Tabulka 26). Použití I-nosníkové konstrukce do nenosné vnitřní stěny není uvažováno z důvodu malé tloušťky konstrukce.

Tabulka 25 – Popis skladby nenosné vnitřní stěny V1

NENOSNÁ BYTOVÁ STĚNA V1		d	PEI <sub>nre</sub>	GWP
SCHÉMA	POPIS	[m]	[MJ/m <sup>2</sup> ]	[kg CO <sub>2,ekv</sub> /m <sup>2</sup> ]
	sádrovláknitá deska	0,0125	50,568	4,589
	sádrovláknitá deska	0,0125	50,568	4,589
	lepené dřevo	0,084	305,876	17,837
	sádrovláknitá deska	0,0125	50,568	4,589
	sádrovláknitá deska	0,0125	50,568	4,589
	CELKEM	0,134	508,147	36,193

Tabulka 26 – Popis skladby nenosné vnitřní stěny V2

NENOSNÁ BYTOVÁ STĚNA V2		d	PEI <sub>nre</sub>	GWP
SCHÉMA	POPIS	[m]	[MJ/m <sup>2</sup> ]	[kg CO <sub>2,ekv</sub> /m <sup>2</sup> ]
	sádrovláknitá deska	0,0125	50,568	4,589
	minerální vlna - kamenná + KVH hranol	0,100	77,150	5,841
	sádrovláknitá deska	0,0125	50,568	4,589
	CELKEM	0,125	178,285	15,019

Lepené dřevo v podobě panelu nemá tak dobré akustické vlastnosti jako minerální izolace, proto by bylo pravděpodobně potřeba více sádrovláknitých desek, které zvyšují vzduchovou neprůzvučnost. Stejně jako u obvodových konstrukcí je environmentální dopad horší než u sloupkových systémů. Pro bytové příčky, která nesousedí s jinými byty je požadavek na vzduchovou neprůzvučnost  $R_w = 42$  dB [13].

#### Nosné stěny

U nosných vnitřních stěn, které mají zároveň funkci mezibytových akustických příček je požadavek na akustiku vyšší,  $R_w = 53$  dB [13]. Z tohoto důvodu jsou u všech variant navrženy 2 akustické sádrovláknité desky. Vnitřní stěny jsou navrženy tak, aby konstrukce byla řešena stejnými nosnými prvky jako obvodové nosné konstrukce.

Tabulka 27 – Popis skladby nosné vnitřní stěny V3

NOSNÁ VNITŘNÍ STĚNA V3		d	PEI <sub>nre</sub>	GWP
SCHÉMA	POPIS	[m]	[MJ/m <sup>2</sup> ]	[kg CO <sub>2,ekv.</sub> /m <sup>2</sup> ]
	sádrovláknitá deska	0,0125	50,568	4,589
	sádrovláknitá deska	0,0125	50,568	4,589
	lepené dřevo	0,124	451,531	26,331
	sádrovláknitá deska	0,0125	50,568	4,589
	sádrovláknitá deska	0,0125	50,568	4,589
	CELKEM	0,174	653,802	44,687

Tabulka 28 – Popis skladby nosné vnitřní stěny V4

NOSNÁ VNITŘNÍ STĚNA V4		d	PEI <sub>nre</sub>	GWP
SCHÉMA	POPIS	[m]	[MJ/m <sup>2</sup> ]	[kg CO <sub>2,ekv.</sub> /m <sup>2</sup> ]
	sádrovláknitá deska	0,0125	50,568	4,589
	sádrovláknitá deska	0,0125	50,568	4,589
	minerální vlna - kamenná + KVH hranol	0,160	123,439	9,345
	sádrovláknitá deska	0,0125	50,568	4,589
	sádrovláknitá deska	0,0125	50,568	4,589
	CELKEM	0,210	325,710	27,702

Tabulka 29 – Popis skladby nosné vnitřní stěny V5

NOSNÁ VNITŘNÍ STĚNA V5		d	PEI <sub>nre</sub>	GWP
SCHÉMA	POPIS	[m]	[MJ/m <sup>2</sup> ]	[kg CO <sub>2,ekv.</sub> /m <sup>2</sup> ]
	sádrovláknitá deska	0,0125	50,568	4,589
	sádrovláknitá deska	0,0125	50,568	4,589
	minerální vlna - kamenná + I-nosník	0,240	271,728	18,587
	sádrovláknitá deska	0,0125	50,568	4,589
	sádrovláknitá deska	0,0125	50,568	4,589
	CELKEM	0,29	473,999	36,944

### 5.3.8 Stropní konstrukce

Pro každé konstrukční řešení je navržena 1 varianta stropu. Pochozí vrstva podlahy není u vnitřních stropů řešena. Detailní popis stropů je uveden v Tabulkách 30 až 32.

Tabulka 30 – Popis skladby strop vnitřní VS1

VNITŘNÍ STROP VS1		d	PEI <sub>nre</sub>	GWP
SCHÉMA	POPIS	[m]	[MJ/m <sup>2</sup> ]	[kg CO <sub>2,ekv.</sub> /m <sup>2</sup> ]
	sádrovláknitá deska, 2x 10 mm	0,020	80,908	7,343
	dřevovláknitá deska	0,040	93,213	6,955
	geotextilie, 300 g/m <sup>2</sup>	-	24,777	0,725
	násyp	0,050	139,896	28,022
	geotextilie, 300 g/m <sup>2</sup>	-	24,777	0,725
	OSB deska	0,022	115,812	5,765
	dřevovláknitá deska + dřevěný rošt	0,050	109,787	8,157
	sádrovláknitá deska	0,0125	50,568	4,589
	lepený dřevěný nosník	0,26	181,778	10,600
	CELKEM	0,455	821,516	72,881

Tabulka 31 – Popis skladby strop vnitřní VS2

VNITŘNÍ STROP VS2		d	PEI <sub>nre</sub>	GWP
SCHÉMA	POPIS	[m]	[MJ/m <sup>2</sup> ]	[kg CO <sub>2,ekv.</sub> /m <sup>2</sup> ]
	sádrovláknitá deska, 2x 10 mm	0,020	80,908	7,343
	dřevovláknitá deska	0,040	93,213	6,955
	geotextilie, 300 g/m <sup>2</sup>	-	24,777	0,725
	násyp	0,030	83,938	16,813
	geotextilie, 300 g/m <sup>2</sup>	-	24,777	0,725
	OSB deska	0,022	115,812	5,765
	kamenná vlna + I-nosník	0,400	105,902	5,774
	OSB deska	0,015	73,019	5,638
	kamenná vlna + dřevěný rošt, podhled	0,040	78,963	3,930
	sádrovláknitá deska	0,0125	78,963	3,930
<b>CELKEM</b>		<b>0,580</b>	<b>762,736</b>	<b>60,594</b>

Tabulka 32 – Popis skladby strop vnitřní VS3

VNITŘNÍ STROP VS3		d	PEI <sub>nre</sub>	GWP	
SCHÉMA	POPIS	[m]	[MJ/m <sup>2</sup> ]	[kg CO <sub>2,ekv.</sub> /m <sup>2</sup> ]	
	sádrovláknitá deska, 2x 10 mm	0,020	80,908	7,343	
	dřevovláknitá deska	0,060	139,819	10,433	
	OSB deska	0,022	115,812	5,765	
	násyp	0,100	252,933	50,663	
	geotextilie, 300 g/m <sup>2</sup>	-	24,777	0,725	
	dřevěný rošt	0,050	11,141	0,744	
	lepené dřevo, CLT panel	0,260	546,207	31,852	
	<b>CELKEM</b>		<b>0,512</b>	<b>1171,597</b>	<b>107,524</b>

Z tabulek vyplývá, že nejnižší environmetální dopad má strop VS2 (Tabulka 31), kde nosnou funkci plní I-nosník. U tohoto řešení, stejně jako u zbylých konstrukcí je k zamezení šíření kročejového zvuku navrhnutá dřevovláknitá deska. Pro stropy platí stejný požadavek jako pro mezi-bytové stěny, tedy  $R_w = 53 \text{ Db}$  [13].



## 6. Energeticko-environmentální porovnání

### 6.1 Popis objektu

Celý objekt je rozdělen do dvou zón. První zónu tvoří vytápěné prostory, tedy byty, schodiště a chodby. Druhou zónu tvoří nevytápěné prostory, garáže. Pro dům je navrženo decentrální rovnotlaké větrání s rekuperací v první zóně a podtlakové větrání bez rekuperace v garážích.

V environmentálním porovnání obálek a celkově domu je přístup k posouzení některých konstrukcí zjednodušen. Nejsou zde započteny např. průvlaky, kovové spoje nebo nutnost snížit osovou vzdálenost u nosných prvků.

Jednotlivé konstrukce nejsou staticky ani akusticky posouzeny. Navrhované konstrukce jsou pouze předběžně dimenzovány. Pro ověření splnění požadavků by potřeba přesnější návrh a posouzení.

### 6.2 Program Energetika a výpočet potřeby tepla

Pro výpočet potřeby tepla na vytápění je zvolen program Energetika [6], který pro výpočty energetické náročnosti využívá měsíční výpočet dle ČSN EN ISO 13790[14]. Potřeba tepla byla počítána pro 3 tepelněizolační kvality obálky, podle dílčích konstrukcí, které jsou navrženy na 3 úrovně hodnot součinitelů prostupu tepla. Ty byly navrženy tak, aby odpovídaly hodnotám normovým požadovaným, doporučeným a doporučeným pro pasivním domy. Konkrétní vstupy do programu Energetika pro jednotlivé tepelněizolační kvality obálky, pro které je vypočtena potřeba na vytápění jsou uvedeny v Tabulce 33. Hodnoty zadávané do programu se podle kvality tepelněizolační obálky budovy liší a tím jsou do výpočtu zahrnuty předpoklady ohledně preciznosti a detailnosti provedení obálky a technologie budovy. Je uvažováno, že např. obálka s konstrukcemi, které splňují pasivní hodnoty pro součinitel prostupu tepla má nižší hodnotu intenzity výměny vzduchu skrz obálku při tlakovém rozdílu  $50 \text{ Pa}$  v  $\text{h}^{-1}$  než obálka, která je složena z konstrukcí, které jsou navrženy pouze na požadovaný součinitel prostupu tepla.

Tabulka 33 – Vybrané vstupní a výsledné hodnoty spojené s potřebou tepla na vytápění

Vstupní hodnoty			
Součinitel prostupu tepla [W/m <sup>2</sup> k]	U <sub>N,20</sub>	U <sub>rec,20</sub>	U <sub>pas,20</sub>
Obvodová konstrukce	0,3	0,2	0,15
Střecha, terasa	0,24	0,16	0,12
Strop nad 1. PP	0,6	0,4	0,25
Výplň otvoru	1,5	1,2	0,7
Dveřní výplň včetně rámu	1,5	1,2	0,7
Přirážka pro tepelné vazby	0,05	0,02	0,01
Účinnost rekuperace [%]	70	70	80
Propustnost slunečního záření g <sub>⊥</sub>	0,75	0,67	0,5
Celková intenzita výměny vzduchu n50 při tlakovém rozdílu 50 Pa, v h <sup>-1</sup>	2	1	0,4
intenzita větrání	0,3		
Převažující návrhová vnitřní teplota [°C]	20		
Vnitřní zisky od osob [W], obsazenost 0,7	2604		
Výsledné hodnoty			
U <sub>em</sub> - referenční budova	0,48		
Průměrný součinitel prostupu tepla U <sub>em</sub>	0,6	0,42	0,26
Potřeba tepla na vytápění kWh/rok	76281	46432	21594
Potřeba tepla na vytápění kWh/rok m <sup>2</sup>	53	32	15

Při výpočtu s pasivními hodnotami součinitele prostupu tepla objekt splňuje požadavek potřeby tepla na vytápění pro pasivní budovy – 15 kWh/rok m<sup>2</sup>. Obálka složená z konstrukcí s U<sub>rec</sub> by z hlediska potřeby tepla byla klasifikována jako nízkoenergetická, protože roční potřeba tepla na vytápění nepřesahuje 50 kWh/m<sup>2</sup>. Pro budovu s konstrukcemi U<sub>N,20</sub> hodnota průměrného součinitele tepla U<sub>em</sub> = 0,6 W/(m<sup>2</sup>K) překračuje hodnotu U<sub>em,N</sub> = 0,48 W/(m<sup>2</sup>K) a nesplňuje tak požadavek vyhlášky [15].

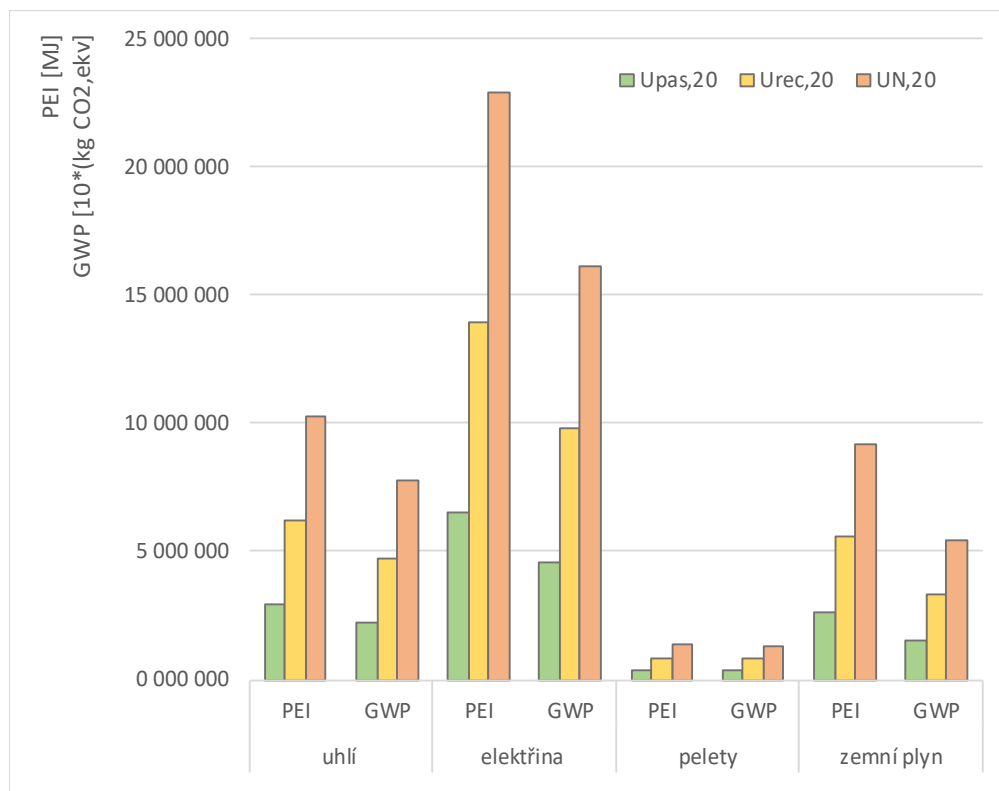
### 6.3 Energonositele

Pro porovnání svázaných a provozních energií a produkcí CO<sub>2,ekv.</sub> byly navrženy 4 různé energonositele a zdroje energie. Pro každý zdroj byla zvolena hodnota pro účinnost zdroje, rozvodů a sdílení a přiřazeny hodnoty GWP a PEI<sub>nre</sub>, viz Tabulka 34.

Tabulka 34 – Účinnosti a environmentální faktory pro jednotlivé energonositele [16], [17]

zdroj energie	Účinnost [%]				Environmentální faktory	
	zdroj	rozvody	sdílení	celkem	PEI <sub>nre</sub> [MJ/MJ]	GWP [kg/MJ]
kotel na dřevěné pelety	0,800	0,870	0,880	0,612	0,150	0,015
kotel na zemní plyn	0,940	0,870	0,880	0,720	1,200	0,072
elektrická energie, mix ČR	0,940	0,870	0,880	0,720	3,000	0,211
teplárna uhlí	0,980	0,870	0,880	0,750	1,400	0,106

Pro všechny zdroje energie byla zvolena časová období pro posouzení. Jsou to časové úseky 1 rok, 10 let, 20 let, 30 let. Konkrétní hodnoty potřeby tepla na vytápění ke každému zdroji pro všechny 4 časové úseky jsou uvedeny v Příloze č.2. V Grafu 10 jsou uvedeny poměry potřeby energie pro každý energonositel za 20 let.



Graf 10 – Provozní environmentální dopady jednotlivých energonositelů po 20 letech pro 3 tepelněizolační kvality obálky budovy

Hodnoty environmentálních dopadů jsou vždy rozděleny podle součinitele prostupu tepla. V přepočtu na PEI<sub>nre</sub> má největší dopad elektrická energie, stejně jako v produkci CO<sub>2</sub>, ekv. Pro oba faktory má nejnižší hodnoty tepelný zdroj v podobě kotle na dřevěné pelety.

#### 6.4 Obálky a vnitřní konstrukce objektu

Jelikož není vhodné kombinovat různé nosné dřevěné systémy v jedné konstrukci, byly navrženy celkem 4 kompletní obálky budovy. Každá obálka se skládá z těch variant skladeb, které pro daný konstrukční systém obálky vykazují nejpříznivější environmentální hodnoty. Jsou tedy porovnány obálky, kde nosnou funkci plní I-nosníky, lepené panely a prvky s plným profilem. Pro zajímavost byla navržena obálka s variantami skladeb, které vykazovaly nejvyšší environmentální dopady, aby bylo možné určit rozptyl environmentálního dopadu obálek pro dřevostavby. Základní popis konstrukcí je uveden v Tabulce 35. Detailní výpis a environmentální dopad ke každé obálce je uveden v Příloze č.3.

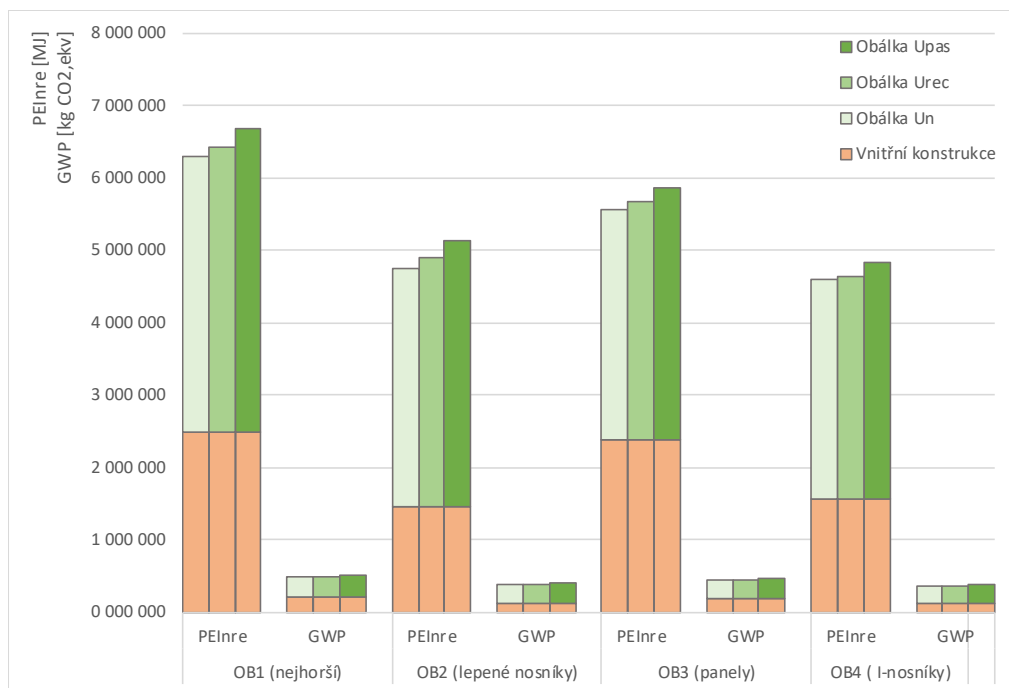
Tabulka 35 – Popis dílčích konstrukcí pro jednotlivé obálky

KONSTRUKCE	OBÁLKA OB 1	OBÁLKA OB 2
Střecha	S2 - CLT panel + kamenná vlna	S4 - příznané nosníky + kamenná vlna
Terasa	T1 - CLT panel + EPS + XPS	T3 - příznaný nosník + EPS + XPS
Obvodová stěna	K2 - CLT panel + EPS	K3 - KVH Hhranol + dřevovláknó
Strop nad 1.PP	S1 - ŽB + EPS	S2 - ŽB + kamenná vlna
Suterénní stěna	SS1 - ŽB + asfaltový pás + XPS	SS4 - ŽB + PVC fólie+ nopová fólie
Podlaha na zemině	SP1 - ŽB + asfaltový pás	SP2 - ŽB + PVC fólie
KONSTRUKCE	OBÁLKA OB 3	OBÁLKA OB 4
Střecha	S1 - CLT panel + EPS	S3 - I-nosník + celulóza
Terasa	T1 - CLT panel + EPS + XPS	T2 - I-nosník + celulóza
Obvodová stěna	K4 - CLT panel + celulóza	K5 - I-nosník + celulóza
Strop nad 1.PP	S2 - ŽB + kamenná vlna	S2 - ŽB + kamenná vlna
Suterénní stěna	SS4 - ŽB + PVC fólie+ nopová fólie	SS4 - ŽB + PVC fólie+ nopová fólie
Podlaha na zemině	SP2 - ŽB + PVC fólie	SP2 - ŽB + PVC fólie

Podle typu nosné konstrukce obálky byly navrženy i vnitřní konstrukce. Environmentální dopad je spočten jak pro samotné obálky, tak pro kombinaci – obálka a její vnitřní konstrukce. Celkový environmentální dopad jednotlivých obálek i domů (tzn. kombinace obálky a vnitřní konstrukce) je uveden v tabulce 36.

V přepočtu na primární energii  $PEI_{nre}$  tvoří obalové konstrukce u zvoleného objektu asi 55-70 % svázaných environmentálních dopadů.

V Grafu 11 jsou zobrazeny environmentální dopady obálek budovy a vnitřních konstrukcí, které jsou k nim navrženy. Nejlepší hodnoty vykazuje obálka OB4. Dopad vnitřních konstrukcí obálky OB4 je sice z hlediska  $PEI_{nre}$  vyšší než pro vnitřní konstrukce obálky OB2, v celkovém srovnání vnitřních konstrukcí i obálek však vítězí varianta OB4 z I-nosníků.



Graf 11 – Environmentální dopad pro obálku i vnitřní konstrukce všech variant

#### 6.4.1 Zahrnutí zanedbaných konstrukcí

Jelikož jsou svázané environmentální dopady počítány z typických m<sup>2</sup> skladby, je vhodné nějakým způsobem započítat zanedbání a zjednodušení konstrukce, jako např. zanedbání kovových spojů, zhuštění svislých prvků u staticky náročnějších částí konstrukce atd. Pro tuto práci byly zvoleny koeficienty 1,1 pro panelovou konstrukci a pro sloupkové systémy 1,15. Koeficienty jsou zvoleny na základě vlastního hrubého odhadu a slouží k rámcovému přiblížení reálným hodnotám. Výsledné dopady obálek a domů (obálka + vnitřní konstrukce) jsou v Tabulce 36.

Tabulka 36 – Celkový environmentální dopad obálek a domů

		U <sub>N,20</sub>		U <sub>rec,20</sub>		U <sub>pas,20</sub>	
		PEI <sub>nre</sub>	GWP	PEI <sub>nre</sub>	GWP	PEI <sub>nre</sub>	GWP
		[MJ]	[kg CO <sub>2</sub> ,ekv.]	[MJ]	[kg CO <sub>2</sub> ,ekv.]	[MJ]	[kg CO <sub>2</sub> ,ekv.]
OBÁLKA	OB1 - Nejhorší	3 813 779	284 646	3 945 965	290 345	4 186 659	304 282
	OB2 - Plný profil	3 297 081	251 203	3 440 803	257 366	3 690 536	272 342
	OB3 - Panely	3 199 689	241 996	3 291 811	246 710	3 481 909	259 502
	OB4 - I-nosník	3 025 116	238 940	3 088 251	243 490	3 261 636	255 971
DŮM	OB1 - Nejhorší	6 297 170	488 944	6 429 356	494 643	6 670 050	508 580
	OB2 - Plný profil	4 744 199	381 589	4 887 921	387 752	5 137 653	402 728
	OB3 - Panely	5 572 479	439 844	5 664 602	444 558	5 854 700	457 350
	OB4 - I-nosník	4 584 671	360 688	4 647 806	365 238	4 821 190	377 719

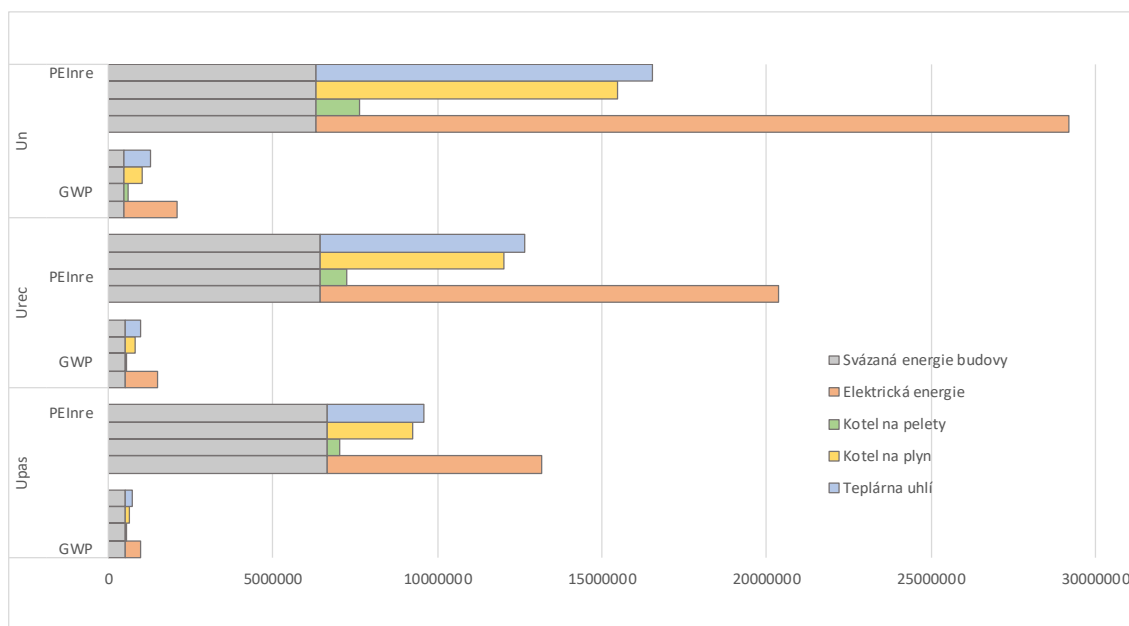
Podbarvení v Tabulce 36 naznačuje, která obálka vykazuje nejnižší a nejvyšší environmentální dopad. Odstín barvy je úměrný rozdílu k variantě s nejnižšími hodnotami environmentálních dopadů. Nejnižší hodnoty PEI<sub>nre</sub> i GWP vykazuje obálka OB4.

## 6.5 Porovnání provozních a svázaných environmentálních dopadů domů (obálek a jejich vnitřních konstrukcí)

V grafech 12-15 jsou znázorněny environmentální dopady pro navržené typy obálek a jejich vnitřních konstrukcí pro zadaný objekt. Dále je v grafech znázorněna potřeba tepla na vytápění pro jednotlivé zdroje energie za dobu provozu 20 let. Ve svázaných environmentálních dopadech je vždy započtena obálka i vnitřní konstrukce dané varianty.

### 6.5.1 Obálka OB1 a vnitřní konstrukce

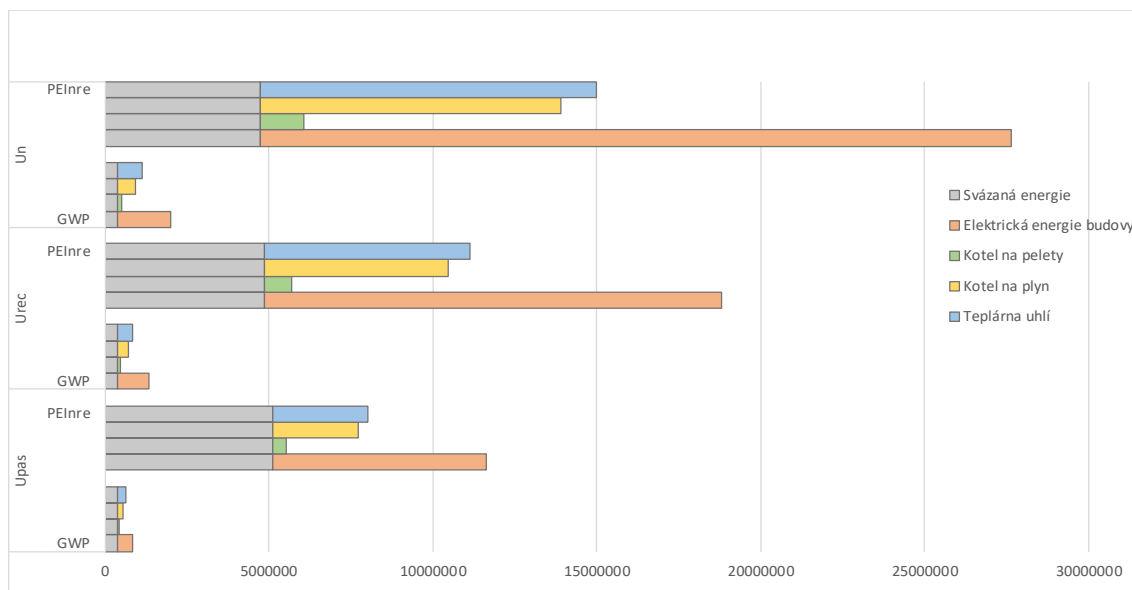
Tato varianta byla řešena jako kombinace variant, které vykazovaly pro dané skladby nejhorší environmentální hodnoty, nosný systém tvoří CLT panely a izolant především EPS.



Graf 12 – Poměr svázaných a provozních environmentálních dopadů pro obálku OB1 za 20 let

### 6.5.2 Obálka OB2 a vnitřní konstrukce

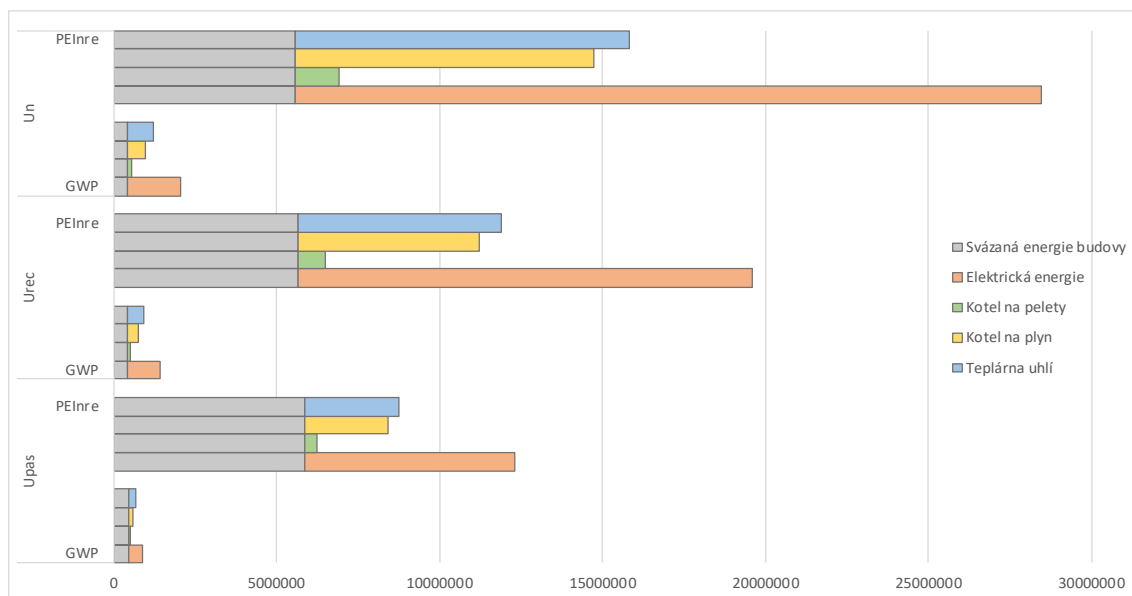
Nosné konstrukce v této variantě jsou tvořeny nosnými prvky z KVH hranolů ve svislých konstrukcích a BSH lepenými hranoly ve vodorovných konstrukcích. Svázané environmentální dopady se pro tuto variantu pohybují kolem 5 000 GJ pro PEInre a asi 380 tun vyprodukovaného CO<sub>2ekv</sub>.



Graf 13 – Poměr svázaných a provozních environmentálních dopadů pro obálku OB2 za 20 let

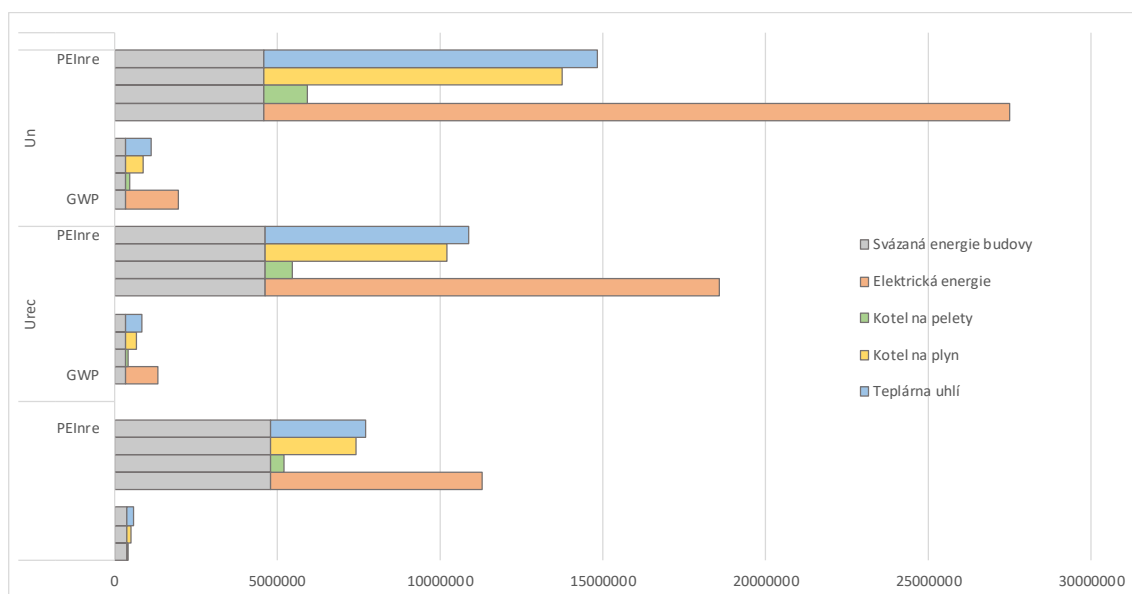
### 6.5.3 Obálka OB3 a vnitřní konstrukce

Nosnou konstrukci u této varianty tvoří výhradně CLT panely, které kvůli komplikovanější a environmentálně náročnější výrobě vykazují horší hodnoty než nepanelové varianty. Výhodou je menší množství doplňkových konstrukcí jako je např. zesílení staticky náročnějších úseků.



Graf 14 – Poměr svázaných a provozních environmentálních dopadů pro obálku OB3 za 20 let

## 6.5.4 Obálka OB4 a vnitřní konstrukce



Graf 15 – Poměr svázaných a provozních environmentálních dopadů pro obálku OB3 za 20 let

Svázané environmentální dopady domu s obálkou OB4 jsou ze všech variant nejnižší jak pro  $PEI_{nre}$  tak pro GWP.

Co se týče primární potřeby energie  $PEI_{nre}$  je provozní energie pro  $U_{rec}$  po 20 letech provozu zhruba srovnatelná se svázanou energií domu, zatímco pro budovu v pasivní kvalitě se provozní energie vyrovnají environmentálnímu dopadu budovy asi až za 40 let. Výjimku tvoří pelety, které se po 20 letech rovnají asi čtvrtině svázané energie pro dům s konstrukcemi s požadovanou kvalitou

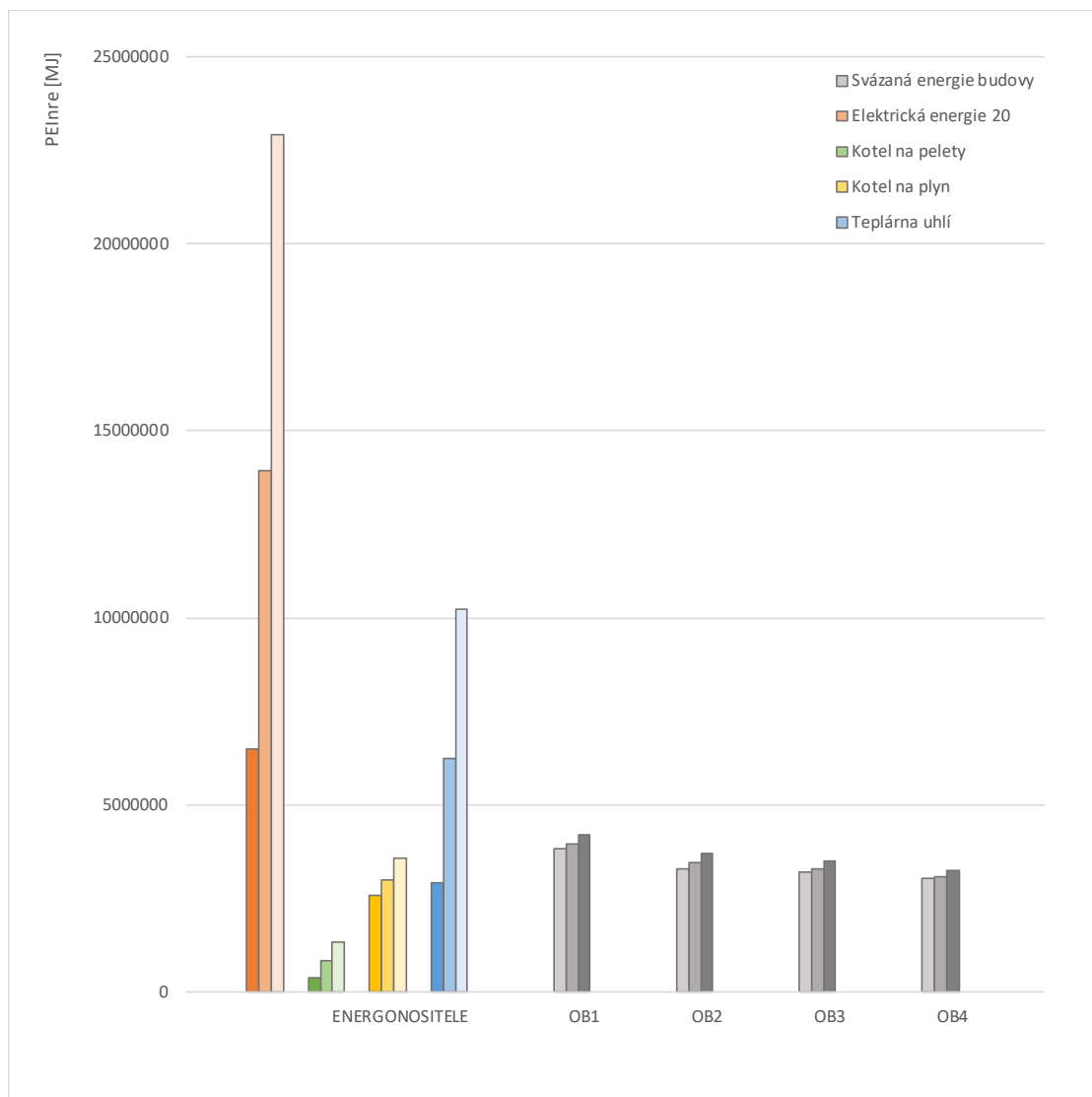
Pro varianty s požadovanými hodnotami na součinitel prostupu tepla vykazuje svázaná hodnota GWP konstrukce většinou nižší produkci než energonositelé. U variant s pasivní úrovní tepelně-izolační kvality obálky je ale svázaná produkce  $CO_2$ , ekv. konstrukce krom elektrické energie nejvyšší.

## 6.6 Porovnání obálek a potřeby tepla na vytápění

Vnitřní konstrukce mají pro všechny 3 tepelněizolační kvality obálky stejný environmentální dopad a nemají vliv na celkovou potřebu tepla na vytápění. Toto porovnání obálek a environmentálních dopadů potřeby na vytápění je tedy provedeno pouze na hodnotu obálky budovy, bez jejich vnitřních konstrukcí.

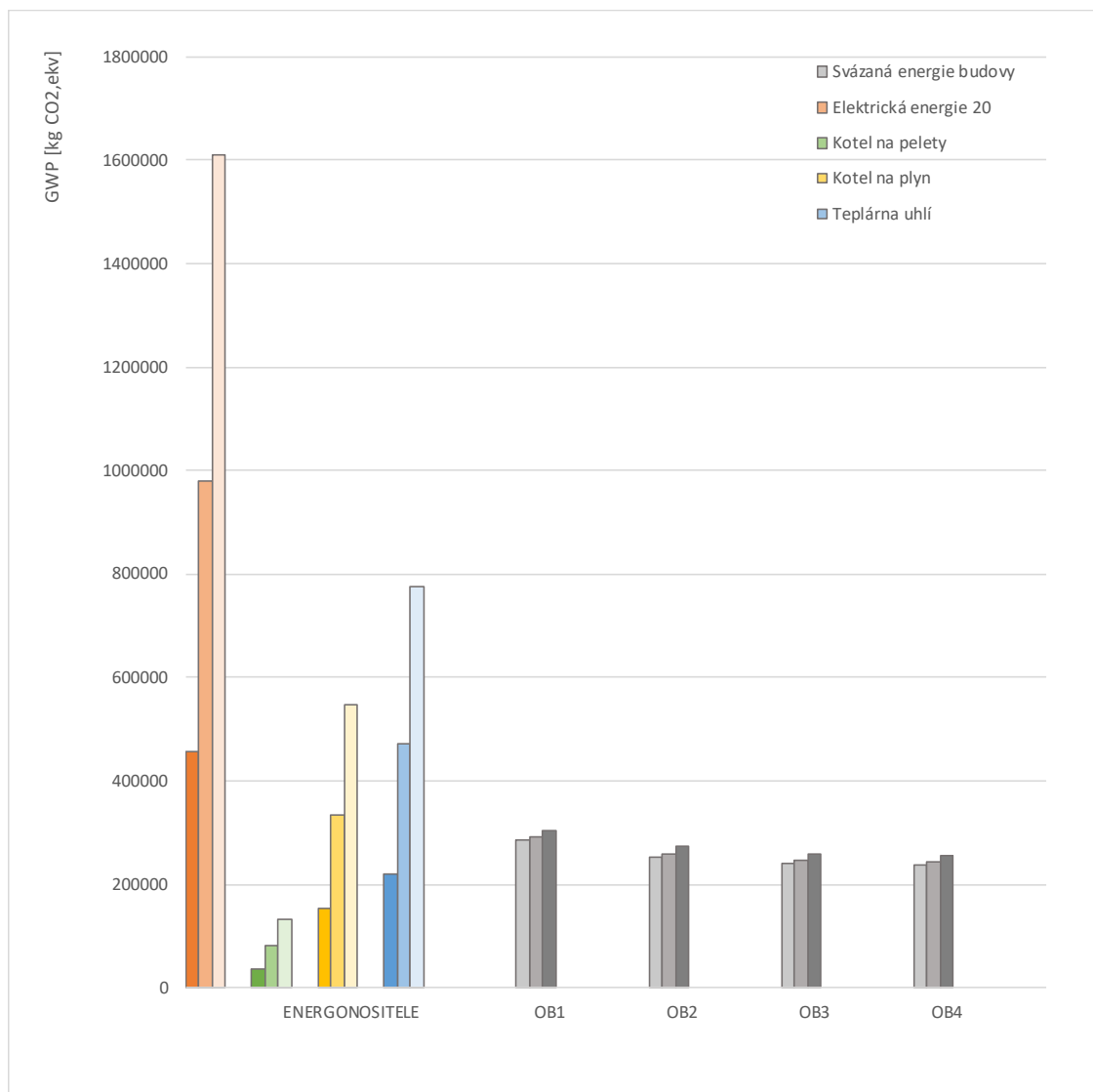
V Grafech 16 a 17 jsou znázorněny jednotlivé obálky ve 3 tepelně izolačních kvalitách.





Graf 16 – Poměr svázaných a provozních energií za 20 let užívání pro spotřebu primární energie PEI

V levé části jsou zobrazeny zdroje tepla a pro ně spočítané potřeby tepla na vytápění. Nejsvětlejší úseky zobrazují potřebu tepla na vytápění pro obálku, která je složená z konstrukci s  $U_N$ , nejtmavší úseky pak pro  $U_{pas}$ . Stejný systém platí pro svázané energie obálek.



Graf 17 – Poměr svázaných a provozních energií za 20 let užívání pro produkci CO<sub>2</sub>, ekv. GWP

V levé části jsou zobrazeny zdroje tepla a pro ně spočítané potřeby tepla na vytápění. Nejsvětější úseky zobrazují potřebu tepla na vytápění pro obálku, která je složená z konstrukcí s  $U_N$ , nejtmavší úseky pak pro *Upas*. Stejný systém platí pro svázané energie obálek.

Z grafů je patrné, že investice do lepší kvality obálky ušetří velké množství provozní energie a razantně sníží environmentální dopad jak pro  $PEI_{nre}$ , tak pro GWP. Je možné také vyzorovat poměry potřeby tepla na vytápění mezi jednotlivými zdroji tepla. Například potřeba tepla na vytápění pasivní budovy s energonositelem ve formě elektrické energie je stále vyšší než potřeba tepla nepasivní budovy s plynem nebo uhlím. Provozní energie domu na pelety vykazuje bezkonkurenčně nejlepší dopady pro zvolené environmentální faktory.

## 7. Zvolená varianta

### 7.1 Volba kvality obálky

Jako nejvhodnější varianta z hlediska environmentální optimalizace je zvolena obálka OB4, která vykazuje ve všech environmentálních porovnáních nejlepší výsledky.

Z dílčích porovnání zdrojů energie byl jako nejvhodnější zvolen kotel na zemní plyn. V ohledu environmentálního dopadu vykazuje zemní plyn pro  $PEI_{nre}$  i GWP velmi dobré výsledky. Environmentálně nejlepší možností je sice volba dřevěných pelet, ale z důvodu funkce domu není tento typ vhodný. Dřevěné pelety jsou z hlediska údržby tepelného komfortu mnohem náročnější. Provoz na pelety je např. spojen s pravidelnou obsluhou, pro kterou by měly být zřízené určité vazby a zázemí, které přináší vícenásobky a komplikace.

Poslední bodem optimalizace je zvolit úroveň kvality obálky budovy. Jelikož se jedná o bytový dům, kde je předpoklad dlouhodobějšího trvání stavby, je velmi výhodné zvolit pasivní variantu obálky. V Tabulce 37 je uveden rozdíl svázaných environmentálních dopadů obálek pro různé tepelněizolační kvality. Rozdíl hodnot obálky v pasivní tepelněizolační kvalitě a požadované tepelněizolační kvalitě činí asi 235 000 MJ. U všech energonositelů, krom pelet je rozdíl provozních dopadů pro  $U_{rec}$  a  $U_{pas}$  větší než rozdíl svázaných dopadů.

Tabulka 37 – Návrat po 1 roce pro  $PEI$  a GWP

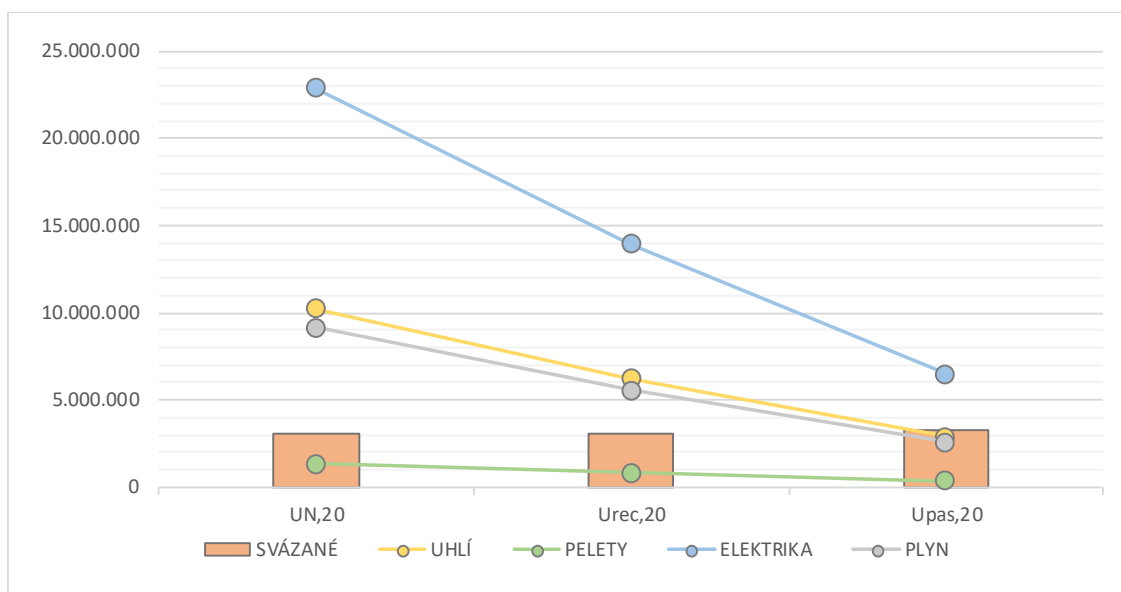
PEI						PO 1 ROKU
OB4	SVÁZANÉ	UHLÍ	PELETY	ELEKTRIKA	PLYN	
$U_{N,20}$	3.025.116	512.412	67.254	1.144.749	457.900	
$U_{rec,20}$	3.088.251	311.903	40.937	696.805	278.722	
$U_{pas,20}$	3.261.636	145.056	19.039	324.061	129.624	
ROZDÍL	63.135	200.508	26.317	447.944	179.178	
	236.519	367.356	48.215	820.688	328.275	
GWP						PO 1 ROKU
OB4	SVÁZANÉ	UHLÍ	PELETY	ELEKTRIKA	PLYN	
$U_{N,20}$	238.940	38.797	6.591	80.514	27.321	
$U_{rec,20}$	243.490	23.616	4.012	49.009	16.630	
$U_{pas,20}$	255.971	10.983	1.866	22.792	7.734	
ROZDÍL	4.550	15.181	2.579	31.505	10.691	
	17.031	27.814	4.725	57.722	19.587	

Pro srovnání jsou v Grafu 18 uvedeny všechny energonositele a znázorněny rozdíly potřeby tepla na vytápění pro různé tepelněizolační kvality obálky. Pro zvolený zdroj energie – zemní plyn, je rozdíl za 20 let užívání asi 6,5 milionu MJ. Když se z této hodnoty odečte potřebné navýšení svázaných environmentálních dopadů kvůli lepší tepelněizolační kvalitě obálky, je výsledná ušetřená primární energie  $PEI_{nre}$  asi 6,3

milionu MJ. Tato hodnota pro představu odpovídá s rezervou asi 35 topným sezónám pro rodinný dům (cca 200 m<sup>2</sup>) kde je získání energie pro vytopení zajištěno dřevem a krbem s uvažovanou nulovou přeměnou na primární energii.

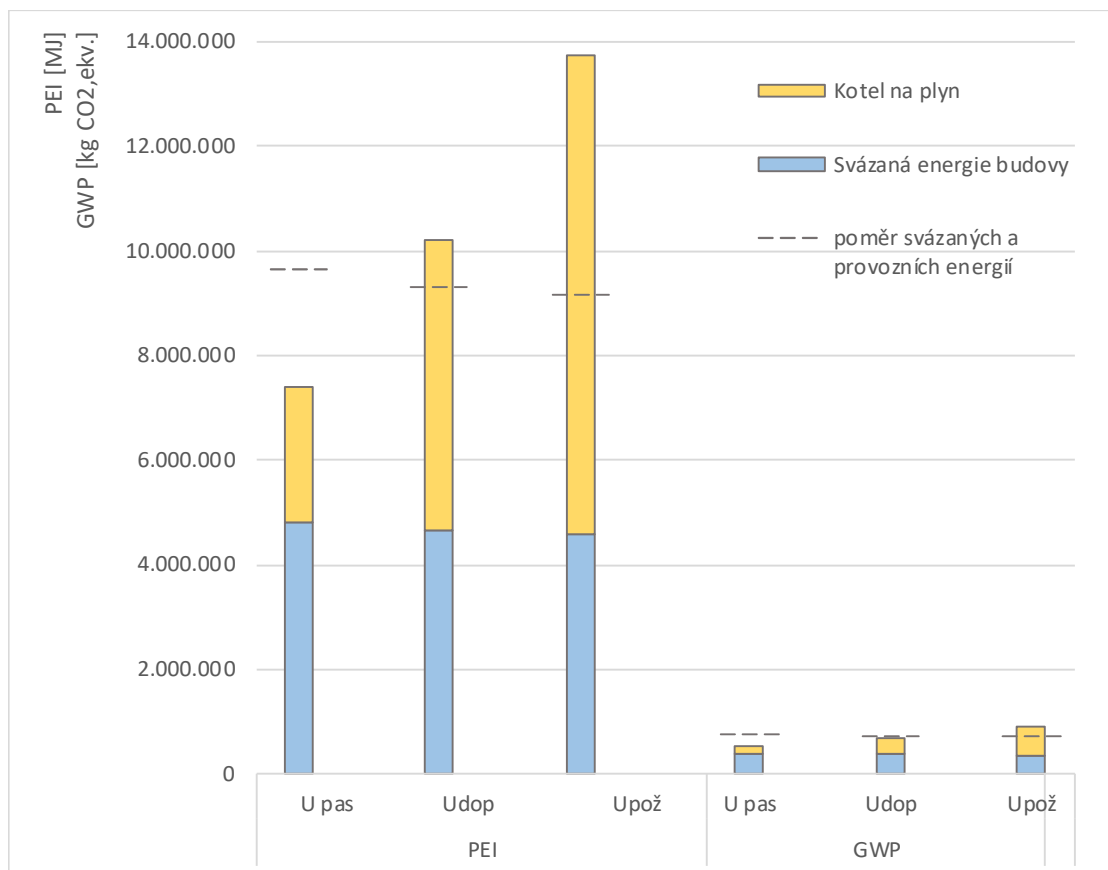
Tabulka 38 – Návrat investice po 20 letech pro PEI a GWP

PEI						PO 20 LETECH
OB4	SVÁZANÉ	UHLÍ	PELETY	ELEKTRIKA	PLYN	
$U_{N,20}$	3.025.116	10.248.231	1.345.080	22.894.984	9.157.994	
$U_{rec,20}$	3.088.251	6.238.065	818.746	13.936.104	5.574.441	
$U_{pas,20}$	3.261.636	2.901.120	380.772	6.481.225	2.592.490	
ROZDÍL	63.135	4.010.166	526.334	8.958.881	3.583.552	
	236.519	7.347.112	964.308	16.413.760	6.565.504	
GWP						PO 20 LETECH
OB4	SVÁZANÉ	UHLÍ	PELETY	ELEKTRIKA	PLYN	
$U_{N,20}$	238.940	775.937	131.818	1.610.281	546.427	
$U_{rec,20}$	243.490	472.311	80.237	980.173	332.608	
$U_{pas,20}$	255.971	219.656	37.316	455.846	154.685	
ROZDÍL	4.550	303.627	51.581	630.108	154.685	
	17.031	556.281	94.502	1.154.434	391.742	



Graf 18 – Potřeba primární energie na vytápění pro různé tepelněizolační kvality obálky

Poměr svázaný a provozních environmentálních dopadů je znázorněn v grafu 19. Pro pasivní kvalitu obálky se hodnota svázaných energií celého domu a provozních energií bude shodovat asi po 40 letech užívání. Kdyby byla však použita obálka v požadované kvalitě součinitele prostupu tepla, svázané energie by byly asi 4,5 milionu MJ. Těto hodnoty by provozní energie dosáhly již za 10 let.



Graf 19 – Poměr svázaných a provozních energií za 20 let pro zvolenou variantu

## 7.2 Aplikace skladby

Pro zvolenou variantu je vypracován půdorys, řez a komplexní řez fasádou. Výkresová dokumentace je uvedena v Přílohách č. 4,5,6.

Z důvodu rozdílného konstrukčního materiálu bylo nutné zasáhnout do podkladních výkresů, např.:

- Úprava stěnových nosných konstrukcí v 4.NP
- Drobné posunutí vnitřních stěn z důvodu rozdílné tloušťky konstrukce
- Úprava schodiště z důvodu rozdílné konstrukční výšky
- Navrzení nosných prvků do lodžii

## 8. Závěr

Z hlediska cíle práce byla environmentálně-energetickou optimalizací zvolena jako nejvhodnější obálka pro zadaný objekt varianta OB4, tedy obálka, kde nosnou funkci plní v jednotlivých konstrukcích I-nosníky na bázi dřeva a hlavní tepelnou izolaci tvoří foukaná celulóza. Jako nejvhodnější energonositel byl zvolen zemní plyn, který vykazoval pro danou potřebu tepla téměř nejnižší environmentální dopady. Ohledně tepelněizolační kvality obálky budovy byla jako nejvhodnější zvolena pasivní varianta.

Z jednotlivých environmentálních hodnocení vycházely lépe skladby, které byly složeny z přírodnějších materiálů a prvků bez potřeby rozsáhlého průmyslového zpracování. Ty jsou ale většinou náchylnější k biotickým degradacím, které se však dají redukovat vhodným návrhem skladby konstrukce a pomocí použití správných dodatečných bezpečnostních opatření např. v podobě pojistných fólií a chemických úprav.

Z hlediska tepelněizolační kvality obálky se určitě vyplatí pasivní kvalita. Provozní environmentální dopady jsou u objektu s pasivní kvalitou tepelně izolační obálky oproti požadované razantně nižší. Rozdíl svázaných environmentálních dopadů pro objekty s požadovanou a pasivní tepelněizolační obálkou budovy je v poměru k „ušetřeným“ provozním environmentálním dopadům pro objekty s těmito obálkami téměř zanedbatelný. Např. pro zemní plyn a 20leté posouzení je hodnota svázaných environmentálních dopadů obálky objektu asi 5 % z „ušetřených“ provozních environmentálních dopadů.

Materiálové řešení by mělo být vždy uvažováno při prvních projektových úvahách. Zvolený bytový dům je sice možné za daných konstrukčních podmínek navrhnout i jako dřevostavbu, jsou zde však detaily nebo konstrukce, které nejsou pro dřevostavbu vhodné. Aby bylo rozpony nebo předsazené konstrukce, které jsou na domu navrženy možné zhotovit, je potřeba volit velkou tloušťku nosníků nebo ocelové podpůrné prvky.

Předpoklady ohledně zanedbaní různých konstrukcí a prvků zvolené na začátku se v průběhu práce ukázaly jako velmi podstatné. Jelikož tyto předpoklady byly v některých ohledech zjednodušeny, je nutné uvést, že výsledně rozhodně nejsou přesné.

Environmentálně-energetická optimalizace je jistě vhodným nástrojem pro volbu ideálních konstrukčních a materiálových řešení. Není zde však zahrnuta finanční stránka, která je u velkého množství projektů posuzována jako nejdůležitější hledisko.

## 9. Zdroje

- [1] *Rozdíl mezi KVH a BSH hranolem* [online] Dostupné z: <http://drevo.jsmutny.cz/kvh-vs-bsh-hranol/>
- [2] Obytný soubor Štěrboholy. Výkresová dokumentace ke stavebnímu povolení. Praha: Architektonický atelier Héta spol. s r. o., Praha 7., Praha 15, 2005 autoři: Ing. arch. F. Ziegler, Ing. arch. P. Frolík, Ing. arch. P. Frolík ml.
- [3] ČKAIT. *České stavebnictví v číslech 2016*. Ve spolupráci s českým statistickým úřadem. Praha: informační centrum ČKAIT, 2017.
- [4] ČSN EN ISO 14040. *Environmentální management – Posuzování životního cyklu – Zásady a osnova*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [5] ENVIMAT. Metodika LCA [online]. Dostupné z: <http://www.envimat.cz/metodika/lca/>
- [3] Isover. *Vegetační střechy* [online] Dostupné z: [http://www.isover.cz/sites/isover.cz/files/assets/documents/vegetacni\\_strechy\\_6-2017.pdf](http://www.isover.cz/sites/isover.cz/files/assets/documents/vegetacni_strechy_6-2017.pdf)
- [4] RŮŽIČKA, Martin. *Moderní dřevostavba*. Praha: Grada, 2014. ISBN 978-80-247-3298-5
- [5] KOLB, Josef. *Dřevostavby: systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště*. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-4071-3
- [6] ENERGETIKA, Deksoft
- [7] ECOINVENT. *The Ecoinvent Databases* [online]. Dostupné z: <http://www.ecoinvent.org/database/database.html>
- [8] TEPLLO 2014 EDU, Svoboda software
- [9] STEICO. *Technická příručka stavební systém STEICO* [online]. Dostupné z: <http://tepore.sk/wp-content/uploads/2014/01/Nosn%C3%A9-stavebn%C3%A9-prvky-STEICO-%E2%80%93-technick%C3%BD-podklad-pre-projektanta-a-statika.pdf>
- [10] ČSN 73 1901 *Navrhování střech – Základní ustanovení*.
- [11] NOVATOP. *Skladby konstrukcí*. [online] Dostupné z <https://www.novatop-system.cz/ke-stazeni/soubory-ke-stazeni/>
- [12] FERMACELL. Akustický katalog konstrukcí FERMACELL [online]. Dostupné z: [https://www.fermacell.cz/cz/docs/akusticky\\_katalog\\_rijen\\_2007.pdf](https://www.fermacell.cz/cz/docs/akusticky_katalog_rijen_2007.pdf)
- [13] ČSN 73 0532. *Akustika – Ochrana proti hluku v budovách a posuzování akustických vlastností stavebních výrobků – Požadavky*. Praha: Český normalizační institut, 2010.
- [14] ČSN EN ISO 13790. *Energetická náročnost budov – Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení*. Praha: Český normalizační institut, 2009.

- [15] Vyhláška č. 78/2013 Sb. *O energetické náročnosti budov*.
- [16] TNI 73 0331. *Energetická náročnost budov – Typické hodnoty pro výpočet*. Praha: Český normalizační institut, 2013.
- [17] Příloha metodiky SBToolCZ, Národní platforma SBToolCZ, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, 2015
- [18] KOČÍ, Vladimír. *Na LCA založené srovnání environmentálních dopadů obnovitelných zdrojů energie* [online]. Praha: LCA Studio, 2012. Dostupné z: <http://www.restep.cz/upload/c60540763e3846bf0746c9991e5a996f/lca-studie.pdf>
- [19] ČSN 73 0833. *Požární bezpečnost staveb – Budovy pro bydlení a ubytování*. Praha: Český normalizační institut, 2010.
- [20] ČSN 73 0540-2. *Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky*. Praha: Český normalizační institut, 2011.
- [21] SRDEČNÝ, Karel. *Šedá energie v pasivních domech* [online]. Dostupné z: <http://ekolist.cz/cz/zelena-domacnost/rady-a-navody/seda-energie-v-pasivnich-domech>



## 10. Seznam obrázků, grafů a tabulek

### Grafy

Graf 1 – Dokončená výstavba bytů v roce 2016 podle konstrukce [3].....	10
Graf 2 – Dokončené dřevěné bytové domy a byty [3].....	11
Graf 3 – Porovnání tepelných izolací pro součinitel prostupu tepla $U = 0,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .	32
Graf 4 – Porovnání obvodových konstrukcí podle PEI a GWP .....	36
Graf 5 – Porovnání střešních konstrukcí podle PEI a GWP .....	39
Graf 6 – Porovnání teras podle PEI a GWP.....	41
Graf 7 – Porovnání stropní konstrukce nad 1.PP podle PEI a GWP .....	42
Graf 8 – Porovnání suterénních stěn podle PEI a GWP .....	44
Graf 9 – Porovnání podlah na zemině podle GWP a PEI.....	45
Graf 10 – Provozní environmentální dopady jednotlivých energonositelů po 20 letech pro 3 tepelněizolační kvality obálky budovy.....	51
Graf 11– Environmentální dopad pro obálku i vnitřní konstrukce všech variant.....	53
Graf 12 – Poměr svázaných a provozních environmentálních dopadů pro obálku OB1 za 20 let .....	54
Graf 13 – Poměr svázaných a provozních environmentálních dopadů pro obálku OB2 za 20 let .....	55
Graf 14 – Poměr svázaných a provozních environmentálních dopadů pro obálku OB3 za 20 let .....	55
Graf 15 – Poměr svázaných a provozních environmentálních dopadů pro obálku OB3 za 20 let .....	56
Graf 16 – Poměr svázaných a provozních energií za 20 let užívání pro spotřebu primární energie PEI.....	57
Graf 17 – Poměr svázaných a provozních energií za 20 let užívání pro produkci CO <sub>2</sub> , ekv. GWP.....	58
Graf 18 – Potřeba primární energie na vytápění pro různé tepelněizolační kvality obálky .....	60
Graf 19 – Poměr svázaných a provozních energií za 20 let pro zvolenou variantu .....	61

### Tabulky

Tabulka 1 – Příklad ručně namodelovaných materiálů .....	30
Tabulka 2 – Porovnání tepelných izolací pro součinitel prostupu tepla $U = 0,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .....	31
Tabulka 3 – Porovnání charakteristických výseků se stejnou tloušťkou tepelné izolace	33
Tabulka 4 – Porovnání charakteristických výseků pro $U = 0,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .....	34

Tabulka 5 – Popis skladby obvodové stěny K1 .....	35
Tabulka 6 – Popis skladby obvodové stěny K2 .....	35
Tabulka 7 – Popis skladby obvodové stěny K3 .....	35
Tabulka 8 – Popis skladby obvodové stěny K4 .....	36
Tabulka 9 – Popis obvodové stěny K5 .....	36
Tabulka 10 – Popis skladby střechy S1 .....	37
Tabulka 11 – Popis skladby střechy S2 .....	38
Tabulka 12 – Popis skladby střechy S3 .....	38
Tabulka 13 – Popis skladby střechy S4 .....	39
Tabulka 14 – Popis skladby terasy T1 .....	40
Tabulka 15 – Popis skladby terasy T2 .....	40
Tabulka 16 – Popis skladby terasy T3 .....	41
Tabulka 17 – Popis skladby stropy 1.PP P1 .....	42
Tabulka 18 – Popis skladby stropy 1.PP P2 .....	42
Tabulka 19 – Popis skladby suterénní stěny SS1 .....	43
Tabulka 20 – Popis skladby suterénní stěny SS2 .....	43
Tabulka 21 – Popis skladby suterénní stěny SS3 .....	44
Tabulka 22 – Popis skladby suterénní stěny SS4 .....	44
Tabulka 23 – Popis skladby podlahy na zemině SP1 .....	45
Tabulka 24 – Popis skladby podlahy na zemině SP2 .....	45
Tabulka 25 – Popis skladby nenosné vnitřní stěny V1 .....	46
Tabulka 26 – Popis skladby nenosné vnitřní stěny V2 .....	46
Tabulka 27 – Popis skladby nosné vnitřní stěny V3 .....	47
Tabulka 28 – Popis skladby nosné vnitřní stěny V4 .....	47
Tabulka 29 – Popis skladby nosné vnitřní stěny V5 .....	47
Tabulka 30 – Popis skladby strop vnitřní VS1 .....	47
Tabulka 31 – Popis skladby strop vnitřní VS2 .....	48
Tabulka 32 – Popis skladby strop vnitřní VS3 .....	48
Tabulka 33 – Vybrané vstupní a výsledné hodnoty spojené s potřebou tepla na vytápění .....	50
Tabulka 34 – Účinnosti a environmentální faktory pro jednotlivé energonositele [16], [17] .....	50
Tabulka 35 – Popis dílčích konstrukcí pro jednotlivé obálky .....	52
Tabulka 36 – Celkový environmentální dopad obálek a domů .....	53

Tabulka 37 – Návrat po 1 roce pro PEI a GWP.....	59
Tabulka 38 – Návrat investice po 20 letech pro PEI a GWP.....	60
<u>Obrázky</u>	
Obrázek 1 – Schéma fází životního cyklu přístupu "Cradle to Grave" [5].....	13
Obrázek 2 – Schéma fází životního cyklu "Cradle to Gate" [5] .....	14
Obrázek 3 – Schéma fází životního cyklu přístupu "Cradle to Site" [5] .....	14
Obrázek 4 – Podkladní výkres půdorysu 1.NP [2] .....	16
Obrázek 5 – Podkladní výkres Řez objektem [2] .....	17
Obrázek 6 – Základní skladba lehkého dřevěného skeletu.....	19
Obrázek 7 – Základní skladby těžkého dřevěného skeletu.....	20
Obrázek 8 – Základní skladby stěny z panelů z lepeného dřeva .....	22
Obrázek 9 – Základní skladby jednoplášťových dřevěných střech .....	24
Obrázek 10 – Základní skladba dvouplášťové střechy s nosnou konstrukcí uvnitř tepelné izolace .....	25
Obrázek 11 – Základní skladby dvouplášťové střechy s nosnou konstrukcí pod tepelnou izolací.....	25
Obrázek 12 – Základní skladba dvouplášťové střechy s nosnou s částečně přiznanou nosnou konstrukcí .....	25
Obrázek 14 – Skladba stropu nad 1.PP.....	27
Obrázek 13 – Skladba stropu nad 1.PP.....	27
Obrázek 15 – Skladba suterénní stěny.....	28
Obrázek 16 – Skladba suterénní podlahy .....	28
Obrázek 17 – Schéma charakteristického výseku pro varianty s KVH hranolem a I-nosníkem.....	33
Obrázek 18 – Schéma nosných prvků – KVH hranol a I-nosník.....	33

# 11. Přílohy

Příloha č. 1: Tepelně technické a environmentální faktory k materiálům

			Tepelně-technické vlastnosti		Environmentální faktory	
			součinitel tepelné vodivosti	objemová hmotnost	spotřeba primární energie	potenciál globální oteplování
			$\lambda$	$\rho$	PEI	GWP
KATEGORIE	MATERIÁL	OBLAST	W/(mK)	kg/m <sup>3</sup>	MJ/kg	kg CO <sub>2,ekv</sub> /kg
VENKOVNÍ VRSTVA	dřevěný obklad	RER	0,22	600	2,38583	0,15870
	omítka	ROW	0,18	1800	8,02272	0,85556
DESKY	cementovláknitá deska	ROW	0,17	1000	2,09640	0,89569
	OSB deska	RER	0,13	630	8,35583	0,41592
	sádrovláknitá deska	ROW	0,32	1250	3,23633	0,29370
	sádrokartonová deska	ROW	0,22	750	4,46458	0,39169
IZOLACE	EPS	RER	0,039	16	89,16603	3,38330
	EPS grey	CH	0,033	16	90,65435	3,45540
	XPS	RER	0,035	35	96,18147	3,84090
	minerální vlna - kamenná	ROW	0,038	40	18,25469	1,40950
	minerální vlna - skelná	ROW	0,034	40	42,93958	2,74340
	celulóza	ROW	0,04	50	7,18371	0,50204
	dřevovláknitá deska měkká	CH	0,038	140	8,36423	0,23885
	dřevovláknitá deska	ROW	0,05	200	11,65162	0,86940
	dřevovláknitá deska tvrdá	RER	0,1	700	17,10810	0,92279
	DHF deska	RER	0,1	700	17,10810	0,92279
pěnové sklo	GLO	0,04	135	25,39690	1,78610	
DŘEVĚNÉ PRVKY	lepené dřevo	RER	0,13	500	7,28276	0,42469
	dřevo rostlé, sušené	RER	0,18	500	2,32095	0,15502
	I-nosník, pásnice	RER	0,13	700	17,10810	0,92279
	I-nosník, stojina	RER	0,18	500	2,32095	0,15502
	dřevěný rošt	RER	0,18	500	2,32095	0,15502
FÓLIE *plošná hmotnost uvedena v g/m <sup>2</sup>	geotextilie	RER	-	300*	82,59057	2,41741
	difúzní fólie	RER	-	150*	82,59057	2,41741
	nopová fólie	RER	-	1000*	84,34908	2,38331
	PE fólie	RER	-	150*	76,39061	1,94890
HYDROIZOLACE	asfaltový pás	RER	0,21	1200	54,04695	2,21300
	PVC fólie	RER	0,35	1300	60,90407	2,06690
	penetrační nátěr	RER	0,2	1220	25,71284	0,36678
BETON	beton prostý	ROW	1,36	2370	0,51103	0,08582
	cementový potěr	ROW	1,4	2200	1,00215	0,19222
	ŽB, 4% ocel	ROW+RER	1,8	2600	1,45721	0,16976
	výztuž - ocel	RER	50	7850	24,16561	2,18430
VÝPLNĚ OTVORŮ, RÁMY	rám, dřevo	RER	-	-	187,32000	2450,95000
	dvojsklo	RER	-	-	36,03500	442,09088
	trosklo	RER	-	-	61,28700	757,29154
OSTATNÍ	lepidlo	ROW	0,7	1200	20,38722	1,30790
	dlaždice	ROW	1,1	2200	9,93053	0,73991
	násyp do stropu	CH	-	900	3,10881	0,62270
	štěrk	CH	-	1600	0,14364	0,01072
	extenzivní zeleň	-	-	-	-	-

Příloha č.2: Provozní environmentální dopady pro energonositele

ENERGONOSITEL		U <sub>N,20</sub>		U <sub>rec,20</sub>		U <sub>pas,20</sub>	
		PEI	GWP	PEI [MJ]	GWP	PEI [MJ]	GWP
		[MJ]	[kg CO <sub>2</sub> ,ekv./m <sup>3</sup> ]	[MJ]	[kg CO <sub>2</sub> ,ekv./m <sup>3</sup> ]	[MJ]	[kg CO <sub>2</sub> ,ekv./m <sup>3</sup> ]
teplárna uhlí							
PO 1 ROKU	teplárna uhlí	512.412	77.228	311.903	47.008	145.056	21.862
PO 10 LETECH	teplárna uhlí	5.124.116	772.277	3.119.033	470.083	1.450.560	218.620
PO 20 LETECH	teplárna uhlí	10.248.231	1.544.555	6.238.065	940.166	2.901.120	437.240
PO 30 LETECH	teplárna uhlí	15.372.347	2.316.832	9.357.098	1.410.248	4.351.679	655.860

ENERGONOSITEL		U <sub>N,20</sub>		U <sub>rec,20</sub>		U <sub>pas,20</sub>	
elektrická energie							
PO 1 ROKU	elektrická energie	1.144.749	1.107	696.805	674	324.061	313
PO 10 LETECH	elektrická energie	11.447.492	11.066	6.968.052	6.736	3.240.612	3.133
PO 20 LETECH	elektrická energie	22.894.984	22.132	13.936.104	13.472	6.481.225	6.265
PO 30 LETECH	elektrická energie	34.342.476	33.198	20.904.155	20.207	9.721.837	9.398

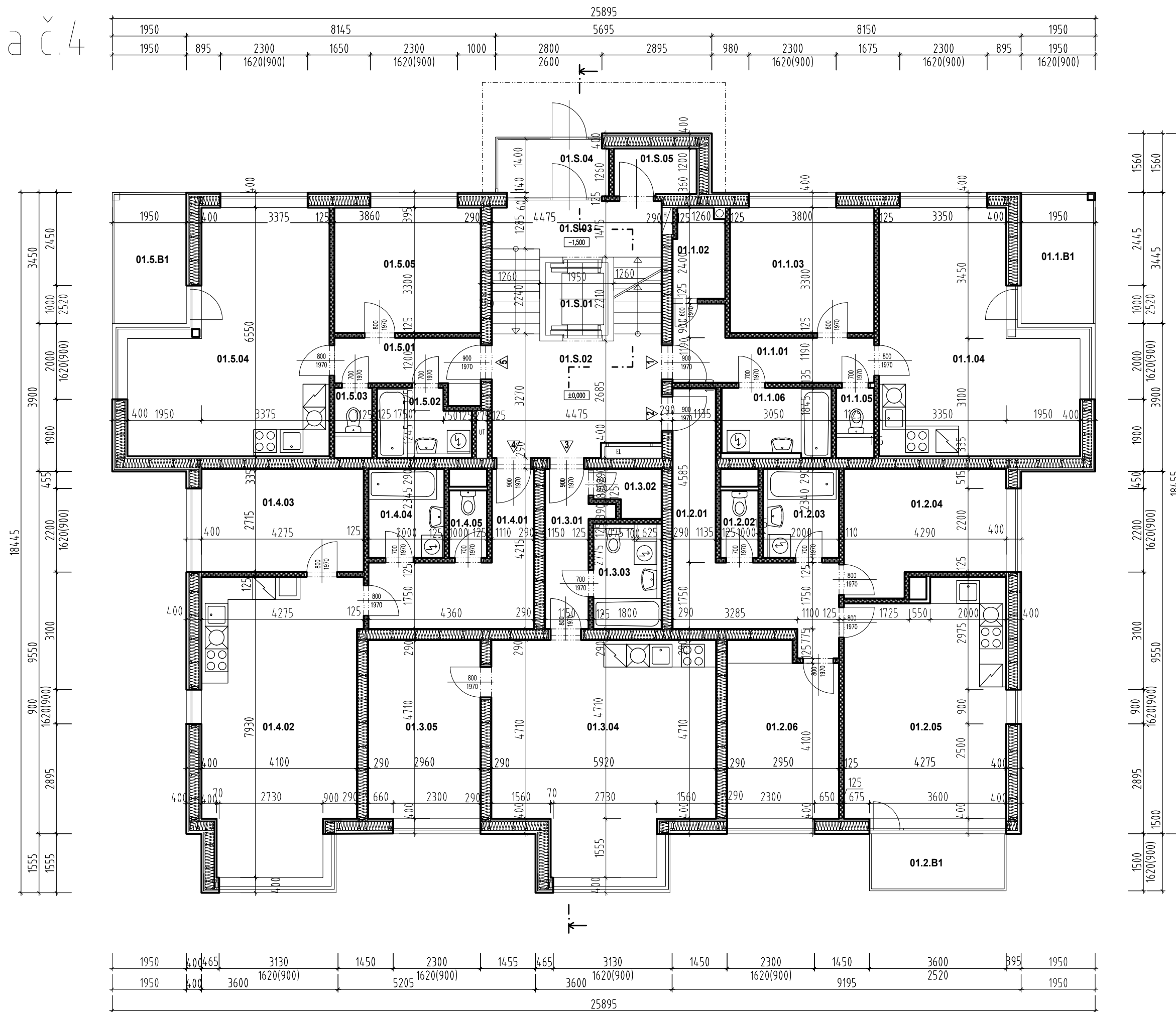
ENERGONOSITEL		U <sub>N,20</sub>		U <sub>rec,20</sub>		U <sub>pas,20</sub>	
dřevěné pelety							
PO 1 ROKU	dřevěné pelety	67.254	6.591	40.937	4.012	19.039	1.866
PO 10 LETECH	dřevěné pelety	672.540	65.909	409.373	40.119	190.386	18.658
PO 20 LETECH	dřevěné pelety	1.345.080	131.818	818.746	80.237	380.772	37.316
PO 30 LETECH	dřevěné pelety	2.017.620	197.727	1.228.119	120.356	571.158	55.973

ENERGONOSITEL	LKEM PROVOZNÍ ENERGIE	U <sub>N,20</sub>		U <sub>rec,20</sub>		U <sub>pas,20</sub>	
zemní plyn							
PO 1 ROKU	zemní plyn	457.900	27.321	278.722	16.630	129.624	7.734
PO 10 LETECH	zemní plyn	4.578.997	273.213	2.787.221	166.304	1.296.245	77.343
PO 20 LETECH	zemní plyn	9.157.994	546.427	5.574.441	332.608	2.592.490	154.685
PO 30 LETECH	zemní plyn	13.736.991	819.640	8.361.662	498.913	3.888.735	232.028

Příloha č. 3: Rozpis obálek a vnitřních konstrukcí

OB1 + vnitřní konstrukce			U <sub>N,20</sub>		U <sub>rec,20</sub>		U <sub>pas,20</sub>	
typ konstrukce	plocha (m <sup>2</sup> )	varianta	PEI <sub>fre</sub>	GWP	PEI <sub>fre</sub>	GWP	PEI <sub>fre</sub>	GWP
			[MJ]	[kg CO <sub>2,ekv.</sub> ]	[MJ]	[kg CO <sub>2,ekv.</sub> ]	[MJ]	[kg CO <sub>2,ekv.</sub> ]
STŘECHA	250	S2 - CLT PANEL + KAMENNÁ VLNA	504041	25896	519474	27085	534973	28277
TERASA	130	T1 - CLT PANEL + EPS + XPS	302438	16486	322401	17262	337435	17832
OBVODOVÁ KONSTRUKCE	717	K2 - CLT PANEL + EPS	486849	29823	553619	32356	620082	34878
STROP NAD 1.PP	387	S1 - ŽB + EPS	410863	43191	428867	43874	461450	45110
SUTERÉNNÍ STĚNA	274	SS1 - ŽB + ASFALT. PÁS + XPS	361715	26287	361715	26287	361715	26287
PODLAHA NA ZEMINĚ	387	SP1 - ŽB + ASFALTOVÝ PÁS	550724	51101	550724	51101	550724	51101
OKNO STĚNA	283	OKNO STĚNA	819020	63232	819020	63232	908253	70381
OKNO SUTERÉN	6	OKNO SUTERÉN	15912	1228	15912	1228	15912	1228
DVEŘE VSTUPNÍ	3	DVEŘE VSTUPNÍ, DŘEVO-HLINÍK	3209	316	3209	316	3209	316
GARAŽOVÁ VRATA	10	GARAŽOVÁ VRATA	12301	1210	12301	1210	12301	1210
STĚNA VNITŘNÍ NENOSNÁ	690	NENOSNÁ, PANEL	350774	24984	350774	24984	350774	24984
STĚNA VNITŘNÍ NOSNÁ	497	NOSNÁ, PANEL	324874	22205	324874	22205	324874	22205
STROP	1141	CLT PANEL	1336324	122642	1336324	122642	1336324	122642
DVEŘE VNITŘNÍ	153	INTERIÉROVÉ DVEŘE	145111	10032	145111	10032	145111	10032
		CELKEM SVÁZANÉ ENERGIE OBÁLKY	3467072	258769	3587241	263950	3806054	276620
		CELKEM SVÁZANÉ ENERGIE DOMU	5624154	438631	5744324	443812	5963136	456482
		CELKEM SVÁZANÉ ENERGIE OBÁLKY	3813779	284646	3945965	290345	4186659	304282
		CELKEM SVÁZANÉ ENERGIE DOMU	6186569	482494	6318756	488193	6559450	502130
		Přenásobeno koeficientem 1,1						
OB2 + vnitřní konstrukce			U <sub>N,20</sub>		U <sub>rec,20</sub>		U <sub>pas,20</sub>	
typ konstrukce	plocha (m <sup>2</sup> )	varianta	PEI <sub>fre</sub>	GWP	PEI <sub>fre</sub>	GWP	PEI <sub>fre</sub>	GWP
			[MJ]	[kg CO <sub>2,ekv.</sub> ]	[MJ]	[kg CO <sub>2,ekv.</sub> ]	[MJ]	[kg CO <sub>2,ekv.</sub> ]
STŘECHA	250	S4 - PŘÍZNANÉ NOS. + KAM.VLNA	412463	25530	433118	27094	453194	28614
TERASA	130	T3 - PŘÍZNANÝ NOSNÍK + EPS + XPS	264800	14105	284696	14878	304591	15650
OBVODOVÁ KONSTRUKCE	717	K3 - KVH HRANOL + DŘEVOVLÁKNO	255612	14143	330822	16454	402099	18749
STROP NAD 1.PP	387	S2 - ŽB + KAMENNÁ VLNA	420866	46022	430080	46734	446473	47997
SUTERÉNNÍ STĚNA	274	SS4 - ŽB + PVC FÓLIE + NOPOVÁ FÓLIE	235726	20658	235726	20658	235726	20658
PODLAHA NA ZEMINĚ	387	SP2 - ŽB + PVC FÓLIE	333125	29193	333125	29193	333125	29193
OKNO STĚNA	283	OKNO STĚNA	819020	63232	819020	63232	908253	70381
OKNO SUTERÉN	6	OKNO SUTERÉN	15912	1228	15912	1228	15912	1228
DVEŘE VSTUPNÍ	3	DVEŘE VSTUPNÍ, DŘEVO-HLINÍK	3209	316	3209	316	3209	316
GARAŽOVÁ VRATA	10	GARAŽOVÁ VRATA	12301	1210	12301	1210	12301	1210
STĚNA VNITŘNÍ NENOSNÁ	690	NENOSNÁ, KVH	123070	10368	123070	10368	123070	10368
STĚNA VNITŘNÍ NOSNÁ	497	NENOSNÁ MEZIBYTOVÁ, KVH	151310	12967	151310	12967	151310	12967
STROP	1141	PLNÉ NOSNÍKY	937021	83128	937021	83128	937021	83128
DVEŘE VNITŘNÍ	153	INTERIÉROVÉ DVEŘE	145111	10032	145111	10032	145111	10032
		CELKEM SVÁZANÉ ENERGIE OBÁLKY	2630536	207774	2685436	211730	2835921	222559
		CELKEM SVÁZANÉ ENERGIE DOMU	3959938	312742	4014838	316699	4165324	327527
		CELKEM SVÁZANÉ ENERGIE OBÁLKY	3025116	238940	3088251	243490	3261310	255942
		CELKEM SVÁZANÉ ENERGIE DOMU	4553929	359654	4617064	364204	4790122	376656
		Přenásobeno koeficientem 1,15						
OB3 + vnitřní konstrukce			U <sub>N,20</sub>		U <sub>rec,20</sub>		U <sub>pas,20</sub>	
typ konstrukce	plocha (m <sup>2</sup> )	varianta	PEI <sub>fre</sub>	GWP	PEI <sub>fre</sub>	GWP	PEI <sub>fre</sub>	GWP
			[MJ]	[kg CO <sub>2,ekv.</sub> ]	[MJ]	[kg CO <sub>2,ekv.</sub> ]	[MJ]	[kg CO <sub>2,ekv.</sub> ]
STŘECHA	250	S1 - CLT PANEL + EPS	329517	14991	358431	16088	386989	17172
TERASA	130	T1 - CLT PANEL + EPS + XPS	302438	16486	322401	17262	337435	17832
OBVODOVÁ KONSTRUKCE	717	K4 - CLT PANEL + CELULÓZA	436694	26661	462350	28361	485665	29900
STROP NAD 1.PP	387	S2 - ŽB + KAMENNÁ VLNA	420866	46022	430080	46734	446473	47997
SUTERÉNNÍ STĚNA	274	SS4 - ŽB + PVC FÓLIE + NOPOVÁ FÓLIE	235726	20658	235726	20658	235726	20658
PODLAHA NA ZEMINĚ	387	SP2 - ŽB + PVC FÓLIE	333125	29193	333125	29193	333125	29193
OKNO STĚNA	283	OKNO STĚNA	819020	63232	819020	63232	908253	70381
OKNO SUTERÉN	6	OKNO SUTERÉN	15912	1228	15912	1228	15912	1228
DVEŘE VSTUPNÍ	3	DVEŘE VSTUPNÍ, DŘEVO-HLINÍK	3209	316	3209	316	3209	316
GARAŽOVÁ VRATA	10	GARAŽOVÁ VRATA	12301	1210	12301	1210	12301	1210
STĚNA VNITŘNÍ NENOSNÁ	690	NENOSNÁ, PANEL	350774	24984	350774	24984	350774	24984
STĚNA VNITŘNÍ NOSNÁ	497	NOSNÁ, PANEL	324874	22205	324874	22205	324874	22205
STROP	1141	CLT PANEL	1336324	122642	1336324	122642	1336324	122642
DVEŘE VNITŘNÍ	153	INTERIÉROVÉ DVEŘE	145111	10032	145111	10032	145111	10032
		CELKEM SVÁZANÉ ENERGIE OBÁLKY	2908808	219996	2992555	224281	3165088	235886
		CELKEM SVÁZANÉ ENERGIE DOMU	5065890	399858	5149638	404144	5322171	415748
		CELKEM SVÁZANÉ ENERGIE OBÁLKY	3199689	241996	3291811	246710	3481597	259475
		CELKEM SVÁZANÉ ENERGIE DOMU	5572479	439844	5664602	444558	5854388	457323
		Přenásobeno koeficientem 1,1						
OB4 + vnitřní konstrukce			U <sub>N,20</sub>		U <sub>rec,20</sub>		U <sub>pas,20</sub>	
typ konstrukce	plocha (m <sup>2</sup> )	varianta	PEI <sub>fre</sub>	GWP	PEI <sub>fre</sub>	GWP	PEI <sub>fre</sub>	GWP
			[MJ]	[kg CO <sub>2,ekv.</sub> ]	[MJ]	[kg CO <sub>2,ekv.</sub> ]	[MJ]	[kg CO <sub>2,ekv.</sub> ]
STŘECHA	250	S3 - I-NOSNÍK + CELULÓZA	338037	17233	346147	17800	363199	18363
TERASA	130	T2 - I-NOSNÍK + CELULÓZA, VĚTRANÁ	249548	15017	253720	15308	257969	15604
OBVODOVÁ KONSTRUKCE	717	K5 - I-NOSNÍK + CELULÓZA	202792	13665	236196	16052	259754	17610
STROP NAD 1.PP	387	S2 - ŽB + KAMENNÁ VLNA	420866	46022	430080	46734	446473	47997
SUTERÉNNÍ STĚNA	274	SS4 - ŽB + PVC FÓLIE + NOPOVÁ FÓLIE	235726	20658	235726	20658	235726	20658
PODLAHA NA ZEMINĚ	387	SP2 - ŽB + PVC FÓLIE	333125	29193	333125	29193	333125	29193
OKNO STĚNA	283	OKNO STĚNA	819020	63232	819020	63232	908253	70381
OKNO SUTERÉN	6	OKNO SUTERÉN	15912	1228	15912	1228	15912	1228
DVEŘE VSTUPNÍ	3	DVEŘE VSTUPNÍ, DŘEVO-HLINÍK	3209	316	3209	316	3209	316
GARAŽOVÁ VRATA	10	GARAŽOVÁ VRATA	12301	1210	12301	1210	12301	1210
STĚNA VNITŘNÍ NENOSNÁ	690	NENOSNÁ, KVH	123070	10368	123070	10368	123070	10368
STĚNA VNITŘNÍ NOSNÁ	497	NOSNÁ, I-NOSNÍK	191244	15456	191244	15456	191244	15456
STROP	1141	I-NOSNÍK	869977	69113	869977	69113	869977	69113
DVEŘE VNITŘNÍ	153	INTERIÉROVÉ DVEŘE	145111	10032	145111	10032	145111	10032
		CELKEM SVÁZANÉ ENERGIE OBÁLKY	2630536	207774	2685436	211730	2835921	222559
		CELKEM SVÁZANÉ ENERGIE DOMU	3959938	312742	4014838	316699	4165324	327527
		CELKEM SVÁZANÉ ENERGIE OBÁLKY	3025116	238940	3088251	243490	3261310	255942
		CELKEM SVÁZANÉ ENERGIE DOMU	4553929	359654	4617064	364204	4790122	376656
		Přenásobeno koeficientem 1,15						

# Příloha č.4



## LEGENDA MÍSTNOSTÍ:

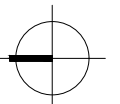
Byt	Číslo m.	Místnost	Plocha [m <sup>2</sup> ]
Byt 1	01.1.01	Předsín	7,75
	01.1.02	Komora	3,21
	01.1.03	Ložnice	12,54
	01.1.04	Obývací pokoj + KK	27,99
	01.1.05	WC	1,20
Byt 2	01.2.01	Předsín	14,21
	01.2.02	WC	1,78
	01.2.03	Koupelna	4,68
	01.2.04	Ložnice	12,74
	01.2.05	Obývací pokoj + KK	25,66
	01.2.06	Ložnice	13,15
	01.2.07	Balkon	5,40
Byt 3	01.3.01	Předsín	5,13
	01.3.02	Komora	2,00
	01.3.03	Koupelna	4,75
	01.3.04	Obývací pokoj + KK	32,69
	01.3.05	Ložnice	13,94
Byt 4	01.4.01	Předsín	10,54
	01.4.02	Obývací pokoj + KK	30,43
	01.4.03	Ložnice	11,62
	01.4.04	Koupelna	4,69
	01.4.05	WC	1,78
Byt 5	01.5.01	Předsín	5,35
	01.5.02	Koupelna	4,24
	01.5.03	Záchod	1,26
	01.5.04	Obývací pokoj + KK	28,15
	01.5.05	Ložnice	12,74
	01.5.06	Balkon	6,73

## LEGENDA KONSTRUKCÍ:

- Nosná obvodová stěna (I-nosník + foukaná celulóza)
- Nenosná vnitřní stěna (KVH profil + minerální izolace)
- Nosná vnitřní stěna (I-nosník + minerální izolace)

## POZNÁMKY:

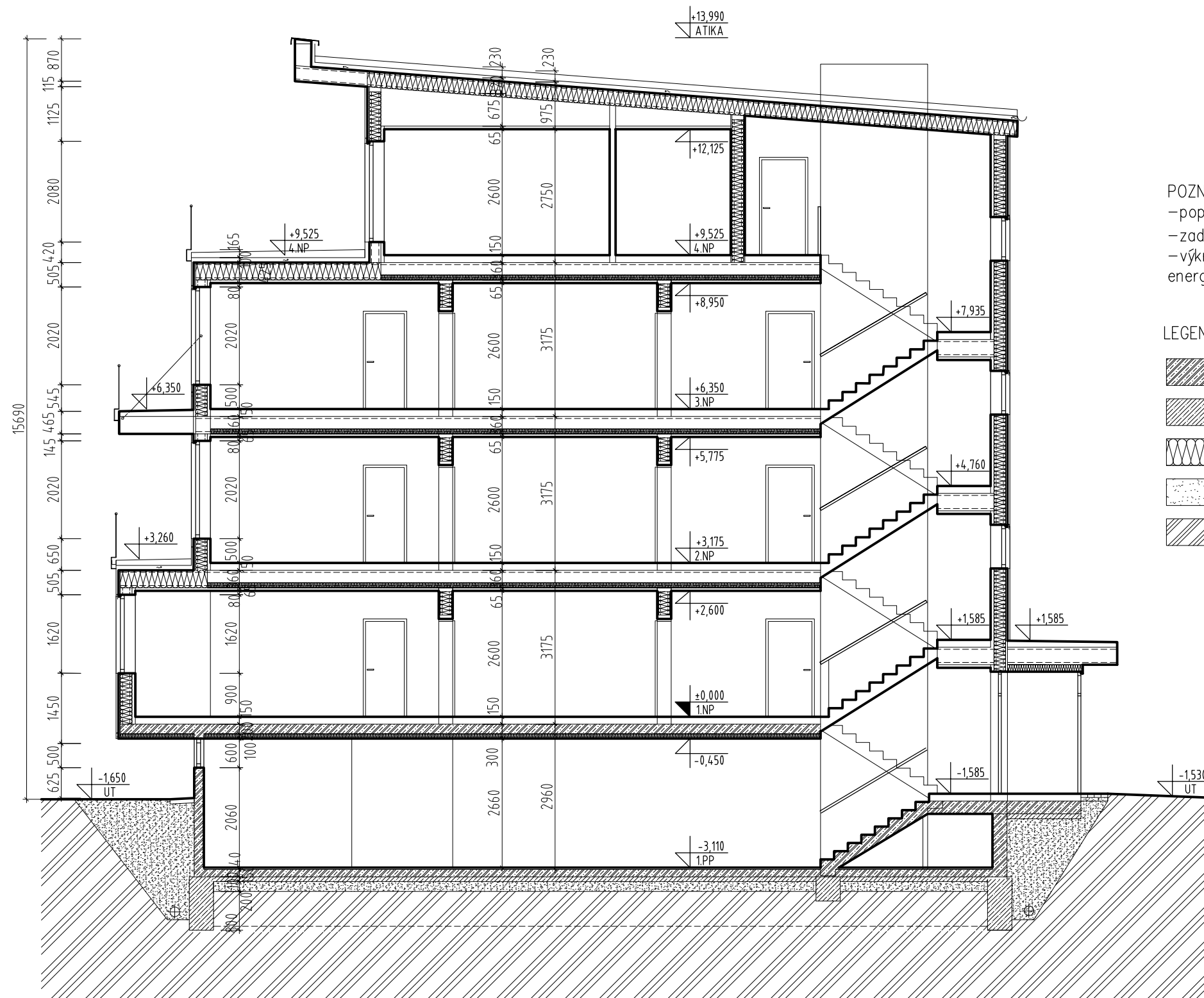
- popis skladeb konstrukcí je uveden ve výkresu č.3 Komplexní řez fasádou
- zadání vychází z výkresové dokumentace obytného souboru Štěrboholy [2]
- výkres zobrazuje výslednou variantu konstrukcí na základě energeticko-environmentální optimalizace



± 0,000 = 246,00 m n. m. Bpv

Zpracovala Bc. Heda Brůhová	
Vedoucí práce Ing. Kateřina Sojková, Ph.D.	
Předmět 124DPM - Diplomová práce	Datum 12/2017
Úloha Výsledná varianta	Formát 3xA4
Výkres Půdorys 1.NP	Měřítko 1:100
	Číslo výkresu 1

# Příloha č.5




## POZNÁMKY:

- popis skladeb konstrukcí je uveden ve výkresu č.3 Komplexní řez fasádou
- zadání vychází z výkresové dokumentace obytného souboru Štěrboholy [2]
- výkres zobrazuje výslednou variantu konstrukcí na základě energeticko-environmentální optimalizace

## LEGENDA MATERIÁLŮ:

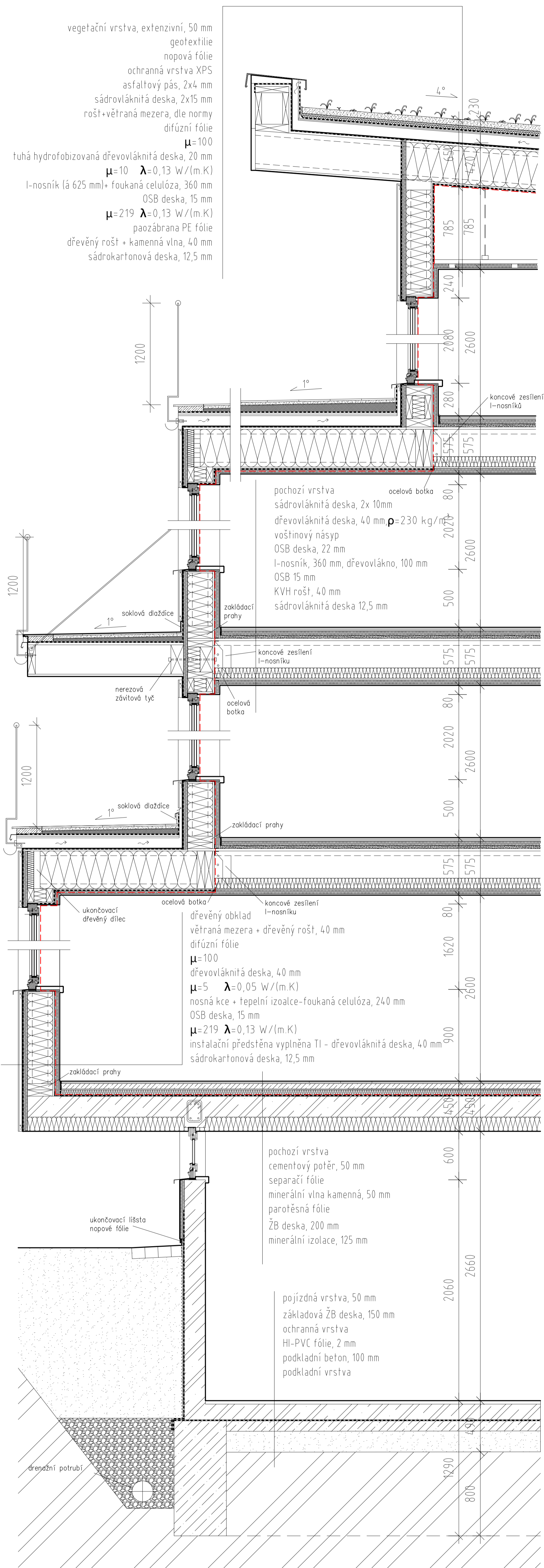
-  Železobeton
-  Prostý beton
-  Tepelná izolace
-  Zhuťněný násyp
-  Původní zemina

± 0,000 = 246,00 m n. m. Bpv

Zpracovala Bc. Heda Brůňová	 ČVUT Fakulta Stavební
Vedoucí práce Ing. Kateřina Sojková, Ph.D.	
Předmět 124DPM - Diplomová práce	Datum 12/2017
Úloha Výsledná varianta	Formát 2xA4
Výkres Řez	Měřítko 1:100
	Číslo výkresu 2



# Příloha č.6



- POZNÁMKY:**
- spoje OSB desek, které tvoří vzduchotěsnou obálku budovy jsou přelepeny těsnící páskou
  - zábradlí je ošetřeno protikorozní úpravou
  - provětrávané mezery jsou opatřeny větrací mřížkou na obou stranách
  - drenážní potrubí je chráněno geotextilií
  - ukončovací betonové dílce u terasy a balkonu jsou uloženy na distančních podložkách
  - zadání vychází z výkresové dokumentace obytného souboru Štěrboholy [2]
  - výkres zobrazuje výslednou variantu konstrukcí na základě energeticko-environmentální optimalizace

± 0,000 = 246,00 m n. m. BpV

Zpracovala Bc. Heda Brůhová	 <b>CVUT</b> Fakulta Stavební
Vedoucí práce Ing. Kateřina Sojková, Ph.D.	
Přednět 124DPM - Diplomová práce	Datum 12/2017
Úloha Výsledná varianta	Formát 5xA4
Výkres Komplexní řez fasádou	Měřítko 1:20
	Číslo výkresu 3