



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

# VÝPOČTOVÉ HODNOCENÍ KONSTRUKČNÍCH STAVIV NA ENERGETICKOU NÁROČNOST BUDOVY

COMPUTATIONAL ASSESSMENT OF STRUCTURAL BUILDING MATERIALS IN TERMS  
OF ENERGY PERFORMANCE OF THE BUILDING

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Daniel Křenek

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. RNDr. Ing. STANISLAV ŠŤASTNÍK,  
CSc.

BRNO 2018



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	N3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3607T020 Stavebně materiálové inženýrství
<b>Pracoviště</b>	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Bc. Daniel Křenek
<b>Název</b>	Výpočtové hodnocení konstrukčních staviv na energetickou náročnost budovy
<b>Vedoucí práce</b>	prof. RNDr. Ing. Stanislav Šťastník, CSc.
<b>Datum zadání</b>	31. 3. 2017
<b>Datum odevzdání</b>	12. 1. 2018

V Brně dne 31. 3. 2017

---

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Vedoucí ústavu

---

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT

## PODKLADY A LITERATURA

- 1) Halahyja, M., Stavebná tepelná technika, akustika a osvetlenie, Alfa Bratislava 1985
- 2) Kmínová, H., Studium tepelně technických materiálových vlastností staviv z hlediska jejich projevu na vnitřní mikroklima v budovách, disertační práce FAST VUT Brno 2006
- 3) Davies, M. G., Building Heat Transfer, John Wiley & Sons Ltd 2004

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

V současné době se problematika návrhu a posouzení tepelného chování a energetické náročnosti stavebních objektů, postavených s využitím různých materiálových bází lehkých i masivních staviv, posuzuje metodikami založenými spíše na tepelně-izolační schopnosti opláštění budov. Ukazuje se však, že tepelně-akumulační schopnost konstrukcí ovlivňuje celkovou energetickou bilanci, přímo poměry letní tepelné ochrany v budovách. V této souvislosti proveďte:

- 1) přehled fyzikálních vlastností vybraných stavebních materiálů, používaných pro výstavbu objektů pro bydlení, ovlivňujících tepelné chování budov,
- 2) přehled technické legislativy zaměřené na energetickou náročnost staveb v podmínkách ČR a ES,
- 3) popište prvky stavebně-energetické koncepce objektů s nízkou energetickou náročností,
- 4) ověřte energetickou náročnost u vybraného stavebního objektu pro bydlení metodikami podle současně platné legislativy,
- 5) vybraný stavební objekt ověřte metodikou nestacionární numerické simulace,
- 6) posuďte účinnost užití jednotlivých studovaných skupin staviv ve stavbách z hlediska energetické náročnosti.

Obsah diplomové práce by měl zhodnotit účelnost současných staviv použitých ve stavbách určených pro bydlení, které mohou ovlivnit jejich energetickou náročnost budov za klimatických podmínek ČR.

Při vypracování diplomové práce dbejte zásad platných na FAST VUT Brno; požadovaný rozsah diplomové práce 70 - 80 stran včetně tabulek a grafů, experimentální část má zaujímat alespoň 50 % rozsahu práce.

## STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

---

prof. RNDr. Ing. Stanislav Šťastník, CSc.  
Vedoucí diplomové práce

## **ABSTRAKT**

Tématem diplomové práce je výpočtové hodnocení konstrukčních staviv na energetickou náročnost budovy. V práci je popsána historie a typy objektů s nízkou energetickou náročností. Dále jsou uvedeny prvky stavebně-energetické koncepce objektů s nízkou energetickou náročností a přehled stavebních materiálů používaných na jejich výstavbu.

V praktické části je na vybraném stavebním objektu ověřena energetická náročnost dle platné legislativy. Poté jsou porovnávány dvě konstrukčně-materiálové varianty u vybraného rodinného domu pomocí simulačního programu.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Nízkoenergetické stavby, energetická náročnost budov, pasivní dům, tepelně-technické vlastnosti stavebních materiálů, součinitel prostupu tepla, průkaz energetické náročnosti budov (PENB), energetický štítek obálky budovy (EŠOB)

## **ABSTRACT**

Theme of the diploma thesis is computational assessment of structural building materials in terms of energy performance of the building. The history and types of the objects with low energy performance are described. There are listed elements of constructionally energetic concept with low energy performance and overview of building materials used for their construction.

In the practical part a selected building was tested for energy performance by legislation. Then two structural material solutions on selected detached house are compared by using a simulation program.

## **KEYWORDS**

Low-energy building, energy performance of a building, passive house, heta-technical properties of building materials, overall coefficient of heat transfer, Energy Performance Certificate (PENB), European Union Energy Label (EŠOB)

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP**

Bc. Daniel Křenek Výpočtové hodnocení konstrukčních staviv na energetickou náročnost budovy. Brno, 2018. 83 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce prof. RNDr. Ing. Stanislav Šťastník, CSc.

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 8. 1. 2018

---

Bc. Daniel Křenek  
autor práce

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto bych rád poděkoval mé rodině, přítelkyni a přátelům za podporu během mého studia. Dále bych chtěl poděkovat svému vedoucímu diplomové práce, panu prof. RNDr. Ing. Stanislavu Šťastníkoví, CSc. za užitečné rady, ochotu a čas strávený při konzultacích.

# Obsah

1. ÚVOD.....	10
2. Historie nízkoenergetických staveb .....	11
3. Směr výstavby .....	12
3.1 Energetická efektivnost výstavby.....	13
4. Budovy s nízkou energetickou náročností.....	13
4.1 Nízkoenergetické domy.....	14
4.2 Pasivní domy .....	14
4.3 Energeticky nulové domy .....	15
4.4 Energeticky nezávislé budovy .....	16
5. Technická legislativa o energetické náročnosti budov.....	17
5.1 Stav evropské legislativy .....	17
5.2 Česká legislativa .....	18
6. Stavebně-energetická koncepce nízkoenergetických budov .....	21
6.1 Energetická bilance .....	21
6.2 Volba pozemku.....	22
6.3 Dispozice budovy a faktor tvaru.....	23
6.4 Solární využívání energie.....	23
6.4.1 Aktivní systémy .....	23
6.4.2 Pasivní systémy .....	24
6.5 Vysoký izolační standard .....	25
6.6 Průvzdušnost .....	25
6.7 Součinnost uživatele a domu .....	27
7. Konstrukční materiály svislých obvodových konstrukcí.....	28
7.1 Obvodová konstrukce z cihelného zdiva – keramické tvarovky.....	28
7.2 Obvodová konstrukce z pórobetonového zdiva – Ytong .....	29
7.3 Obvodová konstrukce z vápenopískového zdiva- KM Beta.....	29
7.4 Obvodová konstrukce z tvárnic Liapor .....	30
7.5 Obvodové konstrukce montované dřevěné.....	30
8. Izolační materiály .....	32
8.2 Rozdělení tepelně izolačních materiálů .....	32
8.2.1 Tepelné izolace z obnovitelných zdrojů .....	32
8.2.2 Tepelné izolace z neobnovitelných zdrojů .....	33
9. Tepelně technické vlastnosti.....	35
9.1 Tepelně technické vlastnosti stavebních materiálů.....	35



9.2 Tepelně technické vlastnosti konstrukcí .....	37
10. Experimentální část .....	40
10.1 Popis vybraného objektu.....	40
10.1.1 Rodinný dům zděný z keramických tvárnic .....	41
10.1.2 Rodinný dům s dřevěnou konstrukcí.....	42
10.2 Výkresová dokumentace .....	43
10.2.1 Půdorys 1. NP .....	43
10.2.2 Půdorys 2. NP .....	44
10.2.4 Pohled východní a západní.....	45
10.2.4 Pohledy severní a jižní .....	46
10.2.5 Řez objektu A-A' a B-B' .....	47
10.3 Výpočet energetického štítu obálky budovy (EŠOB) .....	48
10.3.1 Postup výpočtu energetického štítu obálky budovy .....	48
10.4 Výpočet průkazu energetické náročnosti budovy (PENB).....	55
10.5 Hodnocení tepelného chování vybraného objektu.....	60
10.6 Hodnocení kvality budovy nástrojem <i>SBToolCZ</i> .....	67
10.6.1 Hodnocení kvality budovy zděné z keramických tvárnic.....	70
10.6.2 Hodnocení kvality budovy z dřevěné konstrukce .....	72
10.7 Vyhodnocení experimentální části.....	74
11. Závěr .....	76
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	77
SEZNAM TABULEK .....	80
SEZNAM OBRÁZKŮ .....	81
SEZNAM PŘÍLOH.....	83

# 1. ÚVOD

Vysoké ceny energie, ubývající neobnovitelné zdroje energie a globální změny klimatu nás nutí změnit naše návyky na její spotřebu. Proto je v posledních letech ve stavebnictví často diskutovaným tématem nízkoenergetická výstavba. S čímž také souvisí pojem trvale udržitelný rozvoj, což je rozvoj, který umožní budoucím generacím uspokojovat jejich základní potřeby, zachovávat přirozené funkce ekosystému a rozmanitost přírody. Z toho důvodu patří energetická náročnost k základním charakteristikám budov.

Na provoz budov se největší podíl energie spotřebovává na vytápění. Jedná se přibližně okolo 70 % z celkového podílu spotřeby energie. Tedy hlavní prioritou je snížení spotřebované energie na vytápění. U nízkoenergetických a pasivních domů je důležitá jejich stavebně-energetická koncepce, kterou lze docílit snížení spotřebované energie. Tohoto lze dosáhnout použitím konstrukčních a izolačních materiálů s dobrými tepelně technickými vlastnostmi, využitím solární energie, orientací a umístěním budovy na pozemku a v poslední řadě je to součinnost uživatele s domem

Česká republika se vstupem do Evropské unie zavázala ke změně v přístupu s nakládáním s přírodními zdroji a energetickému hodnocení budov přijetím evropských legislativních požadavků a principů. Z důvodu přijetí legislativy je kladen požadavek na zpracování průkazu energetické náročnosti budov (PENB) a to jak u nových budov, větších změn již dokončených budov, prodeji budov, tak i při pronájmu celé budovy. Průkaz energetické náročnosti budov počítá se spotřebami energie na vytápění, úpravu vnitřního klimatu, přípravu teplé vody, osvětlení a chlazení.

V současné době se objekty staví s využitím různých materiálových bází jak z lehkých, tak i z masivních staviv. Jejich tepelné chování a energetická náročnost se posuzuje metodikami založenými spíše na tepelněizolační schopnosti opláštění budovy. Proto se v práci budu zabývat posouzením vybraného objektu jak podle současné legislativy, tak i pomocí simulačního programu, který zohledňuje tepelně akumulární vlastnosti materiálů použitých v konstrukci budovy. Pomocí simulačního programu bude posouzen vliv konstrukčně materiálových variant na spotřebu energie na vytápění a také na teplotní stabilitu objektu v zimním i v letním období. Závěrem práce budou také zhodnoceny konstrukčně materiálové varianty vybraného objektu pomocí certifikačního nástroje, který hodnotí budovy vícekritériálním systémem a to převážně z environmentálního hlediska.

## 2. Historie nízkoenergetických staveb

Nízkoenergetické stavby vděčí svému největšímu rozmachu prvním ropným krizím v sedmdesátých letech. Svět si tehdy silně uvědomil svoji životní závislost na ropě a energii. Například Německo bylo v energetické spotřebě padesáti pěti procenty závislé na ropě importované z arabských zemí. Po skončení krizí byla ropa k dostání, ale její cena výrazně stoupla, což donutilo státy sáhnout k řadě opatření. V následujících měsících a letech se proto pozornost obrátila k úvahám, jak závislost na fosilních zdrojích snížit. V USA začali hledat úspory energie ve stavebnictví, které je jedním z největších spotřebitelů energie. Začala experimentální výstavba úsporných domů, zaměřených na využití solární energie. Také vzniklo velké množství staveb, které využívaly sluneční energie pomocí velkých ploch slunečních kolektorů, solárních skleníků a prosklených stěn. Byly použity velké zásobníky, do kterých se akumulovalo teplo z těchto velkých ploch. Tyto domy první generace byly charakteristické tím, že kladly důraz na velký zdroj tepla, izolační schopnosti stavby ale zůstaly podceněny. Jelikož byly stavby z ekonomického hlediska velice náročné, tak se od nich upustilo. Tento vývoj v nízkoenergetickém stavebnictví přinesl velké zlepšení v izolačních vlastnostech běžné výstavby. Ve Spojených státech se ale stále využívá mohutný zdroj tepla, obvykle se jedná o velké tepelné čerpadlo typu vzduch – vzduch, které se současně využívá i na chlazení budovy. V Německu po ropné krizi záhy dostaly úvahy oporu v zákonech, silně se ubíraly směrem technologických řešení, zvyšování efektivity, hledání alternativních zdrojů energie, ale také energetických úspor, v nichž ty v oblasti bydlení hrály jednu z klíčových rolí. Totiž energie spotřebovaná na vytápění domácností je v Německu vyšší než energie spotřebovaná v průmyslové výrobě. Evropské a americké stavebnictví je založeno na jiných principech. V Evropě je kladen větší důraz na tradiční materiály a kvalitní detail, počítá se také s podstatně vyšší životností staveb. Dále se v Evropě trend úsporných staveb postupně vyvinul do nízkoenergetických staveb druhé generace. Domy druhé generace se vyznačovaly zvýšenou tepelnou izolací, kvalitními a těsnými okny. Dále začali architekti využívat nové technologie, které jsou dnes již běžně dostupné – řízené větrání s rekuperací, kterým je dosaženo vnitřní pohody, dále jsou to tepelná čerpadla, solární kolektory pro ohřev teplé vody, teplovzdušné kolektory. Postupující vývoj nízkoenergetického domu vyústil do „teorie pasivního domu“. Jedná se o dům, který si vystačí na vytápění s pasivními zisky (zisky ze slunečního záření a z vnitřního provozu domu). Jeden z prvních pasivních domů byl postaven v roce 1991 v německém Darmstadtu. V ČR v roce 2006 vzniklo občanské sdružení Centrum pasivního domu. S tím vznikla i následně síť center pasivních domů u nás.

### 3. Směr výstavby

Globální oteplování a klimatické změny už pociťuje každý z nás, v létě kvůli nesnesitelným horkům a v zimě pro nepředvídatelné změny počasí. Za těmito změnami stojí člověk a to kvůli spalování fosilních zdrojů energie, odlesňování, vysušování zemského povrchu a intenzivní zemědělské a živočišné produkci. Kvůli těmto aspektům se dostává do atmosféry velké množství plynů a vytváří se skleníkový efekt, který má neblahý vliv na nás a naše životní prostředí. Velkou částí ke zhoršování životního prostředí přispívá stavebnictví, respektive budovy, které v důsledku své kvality a především spotřeby energie na vytápění a přípravu teplé vody produkují téměř 1/3 z celkového objemu CO<sub>2</sub> v emisích. V současnosti i přes tendenci šetřit je většina existujících i nově postavených budov energeticky, materiálově či technologicky a samozřejmě z hlediska ekologie značně náročná. Tím nadále pokračuje zbytečné plýtvání energií a omezenými zdroji. Stavby mohou mít několikanásobně nižší celkovou energetickou spotřebu a mohou racionálně využívat suroviny a zdroje, aniž by bylo životní prostředí nadměrně zatěžováno a snížen komfort pobytu člověka v nich. Některé stavby se mohou dokonce zcela obejít bez konvenčního způsobu vytápění.

Navrhování obytných staveb většinou vychází ze tří základních požadavků: na kvalitu konstrukčního řešení, náklady na realizaci stavby a dobu potřebnou na realizaci stavby. Tento přístup stále preferuje většina investorů. Je však zapomenuto na další velmi důležité aspekty, které ovlivňují jak kvalitu obytného prostoru, tak i stav našeho životního prostředí. Pro zachování trvale udržitelného rozvoje stavebnictví je třeba se zabývat stavbou ze tří hledisek, a to:

- kvality životního prostředí,
- ekonomické efektivity a omezení,
- sociálních a kulturních souvislostí.

Z praktického hlediska to znamená, že se u stavby nemáme zajímat jen o cenu a dobu výstavby, ale měl by být pro nás důležitý vliv objektu na životní prostředí. V podstatě lze říci, že by nové stavby neměly vyčerpávat neobnovitelné zdroje surovin a energie, znečišťovat a zamořovat prostředí škodlivými emisemi a odpadem, spotřebovávat kvalitní vodu a čerpat obnovitelné zdroje rychleji, než je jejich schopnost regenerace (například se jedná o vytápění dřevem). Dále by neměla technologie nové budovy způsobovat hluk, otřesy nebo zbytečný únik tepelné energie.

### **3.1 Energetická efektivnost výstavby**

Cílem, kterým by se tedy mělo stavebnictví ubírat, je zaměřit se na zvyšování energetické efektivnosti a účinnosti staveb. V rámci dlouhodobé životnosti objektu musí výběr a skladba konstrukčních prvků a technologií respektovat požadavky na vysokou funkční kvalitu. Další výstavba by se proto měla řídit těmito postupy a principy:

- využívání obnovitelných zdrojů energie. Jedním ze základních technických kritérií udržitelné výstavby je minimalizace potřeby energie na provoz objektu, a to především na vytápění a přípravu teplé vody,
- využívání obnovitelných surovin (jedná se především o dřevo a materiál na bázi dřeva). Výrobky ze dřeva a dřevo mají v moderním stavebnictví zvláštní postavení. Jelikož regulovaným využíváním dřeva se dá snížit spotřeba neobnovitelných materiálových zdrojů, jako jsou například ocel, kamenivo, cement a podobně. Proto je ve vyspělých západních zemích na rozdíl od nás velká tradice dřevostaveb,
- využívání druhotných recyklovaných surovin, alternativní materiálové a energetické konstrukční řešení. V této oblasti se vyskytují i netradiční konstrukční principy, jako například použití nepálené hlíny, slámy, objekty chráněné zeminou a další,
- dále je třeba upřednostňovat modernizaci a rekonstrukci před demolicí.

Díky těmto postupům a principům lze dosáhnout trvale udržitelné výstavby a lze i zabezpečit lepší a zdravější životní prostředí, ale i velmi kvalitní obytný prostor s jedinečným vnitřním klimatem.

### **4. Budovy s nízkou energetickou náročností**

V zahraničí je nízkoenergetický dům již standartní formou výstavby, protože v sobě spojuje energetickou úspornost, ochranu životního prostředí, kvalitu stavebních konstrukcí a vysoký obytný komfort. Základní kritérium, podle kterého můžeme rozdělit kategorie energeticky úsporných domů do několika skupin, je spotřeba tepla na vytápění dle technické normy [3].

Tab. 1: Charakteristika budov s odlišnou potřebou tepla na vytápění [3]

Domy běžné v 70. – 80. letech	Současná novostavba	Nízkoenergetický dům	Pasivní dům	Nulový dům s přebytkem tepla
<b>Charakteristika</b>				
Zastaralá otopná soustava, zdroj tepla je velkým zdrojem emisí; větrá se pouhým otevřením oken, nezateplené, špatně izolující konstrukce, přetápí se	Klasické vytápění pomocí plynového kotle o vysokém výkonu, větrání otevřením okna, konstrukce na úrovni požadavků normy	Otopná soustava o nižším výkonu, využití obnovitelných zdrojů, dobře zateplené konstrukce, řízené větrání	Řízené větrání s rekuperací tepla, vynikající parametry tepelné izolace, velmi těsné konstrukce	Parametry min. na úrovni pasivního domu, velká plocha fotovoltaických panelů
<b>Potřeba tepla na vytápění [kWh/(m<sup>2</sup>·a)]</b>				
Většinou nad 200	80-140	Méně než 50	Méně než 15	Méně než 5

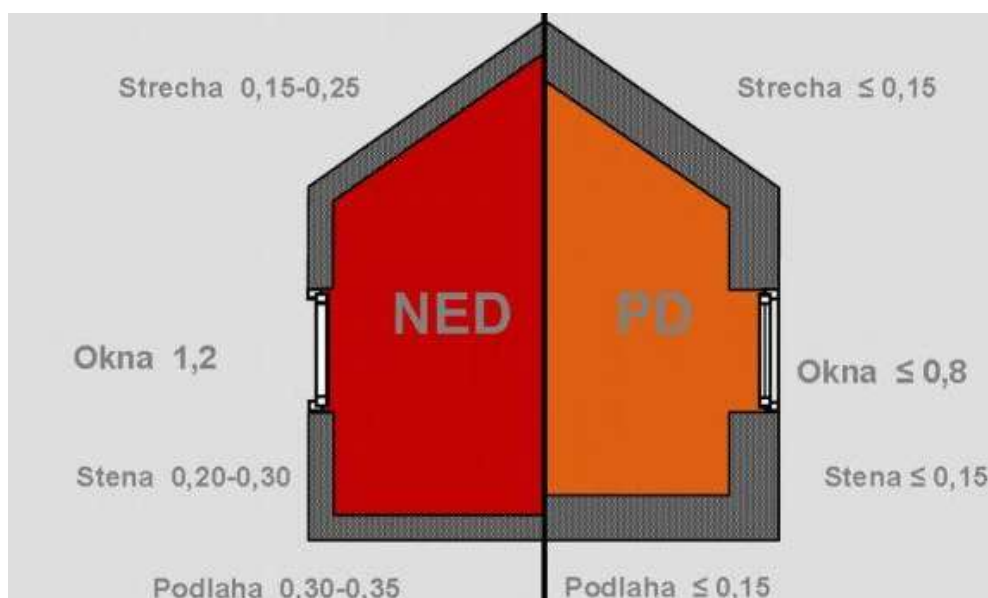
## 4.1 Nízkoenergetické domy

Za nízkoenergetické domy považuje norma [3] budovy s roční měrnou spotřebou tepla na vytápění 15 až 50 kWh/(m<sup>2</sup>·a), pokud využívají velmi účinnou otopnou soustavu. Toto kritérium se používá bez ohledu na tvar budovy. Při výhodném kompaktním tvaru bude pochopitelně snadněji splnitelné než při tvaru členitém. Jiná kritéria jsou pro nízkoenergetické domy rámcově doporučená, nejsou jednoznačně stanovená. Základním východiskem je koncepční přístup. V popředí je vysoký tepelně izolační standart a neprůvzdušnost obvodových konstrukcí, omezení vlivu tepelných mostů, pasivní i aktivní využití sluneční energie, mechanické větrání s přehřevem vzduchu a rekuperaci tepla a účinný nízkoteplotní otopný systém s propojením na solární kolektory. Návrh domu tedy vyžaduje jasně určený nízkoenergetický systémový koncept s maximální optimalizací jednotlivých prvků.

## 4.2 Pasivní domy

Pasivní dům je díky optimalizovanému stavebnímu řešení a dalším opatření charakterizován minimální spotřebou energie na zajištění požadovaného stavu vnitřního prostředí

a minimalizovanou potřebou primární energie z neobnovitelných zdrojů na jejich provoz. Norma [3] považuje za pasivní domy takové budovy, u kterých roční spotřeba energie na vytápění nepřesahuje 15 kWh/(m<sup>2</sup>·a). Tento parametr není ovšem jediným požadavkem, jak to občas bývá nesprávně interpretováno. Přísný požadavek je také kladen na celkovou neprůvzdušnost budov, kde celková intenzita výměny vzduchu  $n_{50}$  při tlakovém rozdílu 50 Pa nesmí překročit hodnotu  $n_{50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$ . Současně nesmí průměrný součinitel prostupu tepla přesáhnout hodnotu 0,25 W/(m<sup>2</sup>·K) u rodinných domů a 0,35 W/(m<sup>2</sup>·K) u bytových domů. Následně je kladen požadavek i na měrnou potřebu primární energie spojenou s provozem budovy (ohřev teplé vody, vytápění a elektrická energie pro spotřebiče), kde nesmí překračovat hodnotu 60 kWh/(m<sup>2</sup>·a) pro rodinné domy a bytové domy a hodnotu 120 kWh/(m<sup>2</sup>·a) pro neobytné domy a ostatní budovy.



Obr. 1: Typické hodnoty součinitele prostupu tepla  $U$  nízkooenergetického a pasivního domu (NED – Nízkooenergetický dům, PD – Pasivní dům) [8]

### 4.3 Energeticky nulové domy

Energeticky nulová budova je konstruovaná dle požadavků jako u pasivních domů. Spotřeba energie je v maximální míře kryta z obnovitelných zdrojů. Nulové domy si v létě vyrobí takový nadbytek elektrické energie, jaký v zimě spotřebují. Zásoby energie jsou uskládány například ve velkoplošných slunečních faktorech nebo jsou využívány fotovoltaické panely, které zásobují veřejnou síť. Roční spotřeba tepelné energie u nulových domů je 0 až 5 kWh/(m<sup>2</sup>·a).

Hodnocení vychází z roční bilance energetických potřeb a energetické produkce v budově a jejím okolí, vyjádřené v hodnotách primární energie. Předpokládá se, že budova je připojena

na obvyklé energetické síti. Jedná se tedy o bilančně nulovou budovu, jak je uvedeno dále. Zpravidla je výhodné, aby stavební řešení a technické zařízení budovy byla navržena tak, aby odpovídala standardu pasivní budovy.

Jsou stanovena dvě základní úrovně hodnocení:

Úroveň A – do energetických potřeb budovy se zahrne potřeba tepla na vytápění, potřeba energie na chlazení, energie na přípravu teplé vody, pomocná elektrická energie na provoz energetických systémů budov, elektrická energie na umělé osvětlení a elektrické spotřebiče.

Úroveň B – jako A, ale bez zahrnutí elektrické energie na elektrické spotřebiče.

Závaznost kritéria →		Požadovaná hodnota	Doporučená hodnota	Požadovaná hodnota podle zvolené úrovně hodnocení	
		Průměrný součinitel prostupu tepla $U_{em}$ [W/(m <sup>2</sup> K)]	Měrná potřeba tepla na vytápění $E_A$ [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	Měrná roční bilance potřeby a produkce energie vyjádřená v hodnotách primární energie z neobnovitelných zdrojů $PE_A$ <sup>1)</sup> [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	
				Úroveň A	Úroveň B
Obytné budovy	Nulový	Rodinné domy ≤ 0,25	Rodinné domy ≤ 20	0	0
	Blízký nulovému	Bytové domy ≤ 0,35	Bytové domy ≤ 15	80	30
Neobytné budovy <sup>2)</sup>	Nulový	≤ 0,35 <sup>1)</sup>	≤ 30	0	0
	Blízký nulovému			120	90
<sup>1)</sup> Uvedená hodnota je doporučena, nejvýše však musí být rovna odpovídající hodnotě doporučené $U_{em,rec}$ podle článku 5.3.2 [2]. <sup>2)</sup> Neobytné budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou 18 °C až 22 °C včetně. Pro jiné budovy není stanoveno.					

Obr. 2: Základní vlastnosti pasivních budov [3]

## 4.4 Energeticky nezávislé budovy

Energeticky nezávislý dům pokrývá jakoukoliv potřebu energie (na vytápění, přípravu teplé vody i pro provoz elektrospotřebičů) jenom z přímého slunečního záření, bez dodávek energie z venku. Objekt není napojený na veřejnou elektrickou síť, proto má předimenzovaný energetický systém a zásobník energie musí dům zabezpečit kdykoliv během roku. V porovnání s domem s nulovou spotřebou energie na vytápění tento dům nevyhnutelně vyžaduje fotovoltaický systém jako zdroj energetické energie. Efektivita domu je založena na maximálním redukování spotřeby tepla v součinnosti s úsporou elektřiny (používají se jenom vysoko úsporné domácí spotřebiče). Tento typ domu má smysl v odlehlých oblastech anebo vysoko v horách, kde nejsou k dispozici běžné energetické sítě.



## 5. Technická legislativa o energetické náročnosti budov

### 5.1 Stav evropské legislativy

Hlavním milníkem v ochraně klimatu hospodařením s energiemi se stal Kjótský protokol sestavený roku 1997 průmyslovými zeměmi světa. Jednotlivé země se v něm zavázaly snížit emise skleníkových plynů během období 2008-2012. Do platnosti vstoupil roku 2004, kdy byl ratifikován 132 zeměmi světa s celkovou produkcí 61,6% emisních skleníkových plynů na světě.

Evropská unie zareagovala na tento závazek vydáním směrnice 2002/91/ES o energetické náročnosti budov (EPBD I). Tento dokument se stal základním evropským předpisem, v jehož důsledku byla do zákona o hospodaření s energiemi č. 406/2000 Sb., ve znění pozdějších změn, zakotvena povinnost vybavit každou budovu průkazem energetické náročnosti, který je dle vyhlášky o dokumentaci staveb nedílnou součástí projektové dokumentace stavby ke stavebnímu povolení.

V roce 2010 byla směrnice EPBD I nahrazena ve znění Směrnice 2010/31/EU (EPBD II). Tato směrnice je v současně době platná a obsahuje požadavky včetně termínů pro její začlenění do národních legislativ členských států Evropské unie.

Nová směrnice vytyčuje čtyři hlavní oblasti a zavazuje členské státy, že zajistí, aby:

- do 31. prosince 2020 všechny nové budovy byly budovami s „téměř nulovou spotřebou energie“, v případě budov užívaných a vlastněných veřejnou mocí se termín zkracuje do roku 2018,
- do roku 2020 sníží členské státy Evropské unie společně produkci skleníkových plynů alespoň o 20 %,
- do roku 2020 zvýší členské státy Evropské unie energetickou účinnost o 20 %,
- do roku 2020 zvýší členské státy Evropské unie společně podíl energie z obnovitelných zdrojů na 20 % celkové spotřeby.

Směrnice ponechává na členských zemích, aby si samy stanovily metody hodnocení a cílové hodnoty energetické náročnosti. Společně závazné je jen to, že do provozní energetické náročnosti se musí započítat energie na vytápění, chlazení, přípravu teplé vody, pomocná elektrická energie na provoz technických systémů budovy a elektrická energie na umělé osvětlení. Provozní energetická náročnost se vyjadřuje v hodnotách primární energie, nejlépe charakterizující společenský efekt spotřeby. Dalšími významnými body směrnice jsou:

- vydávání certifikátů energetické náročnosti,
- inspekce otopných soustav a klimatizačních systémů,
- nezávislé systémy kontroly certifikátů a inspekčních zpráv.

## 5.2 Česká legislativa

Směrnice EPBD se stala v České Republice podkladem pro vytvoření zákona o hospodaření s energiemi č. 406/2000 Sb. Od roku 2013, z důvodu implementace směrnice EPBD II, je u nás v účinnosti změna zákona č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií ve smyslu změnového znění pod č. 318/2012 Sb., tahle novela značně změnila a taktéž upřesnila dosavadní pohled na problematiku hospodaření s energií. Účinností této novely nastává povinnost pro všechny stavebníky, vlastníky budov nebo společenství vlastníků bytových jednotek zpracovat průkaz energetické náročnosti budov a to při:

1. výstavbě nových budov a větších změnách již dokončených budov,
2. prodeji budovy nebo její ucelené části,
3. při pronájmu celé budovy.

Tento zákon se také zabývá řešením zejména pravidel pro tvorbu Státní energetické koncepce, Územní energetické koncepce a Státního programu na podporu úspor energie a využití obnovitelných zdrojů energie. Dále se zákon zabývá požadavky na ekodesign výrobků, které jsou určitým způsobem spojeny se spotřebou energie, požadavky na informování a vzdělání v oblastech úspor energie a využívání obnovitelných a druhotných zdrojů energie.

Je třeba zmínit novelu zákona č. 406/2000 Sb. z roku 2015, ve znění č. 103/2015 Sb., která počítá například s tím, že při prodeji nebo pronájmu staveb postavených před rokem 1947, u nichž nebyla od té doby žádná větší změna, by vlastník po dohodě s druhou stranou nemusel průkaz překládat. Také zpřesňuje povinnosti pro realitní kanceláře, které musí zveřejňovat v inzerátech na nemovitosti energetickou třídu budovy. Pokud realitní kancelář od vlastníka nemovitosti neobdrží průkaz, budou dle novely muset v nabídce uvést nejhorší energetickou třídu G.

K zákonu č. 406/2000 Sb. se vydává soubor vyhlášek, které upřesňují jednotlivé oblasti zákona a řeší způsob jejich provádění:

- Vyhláška č. 309/2016 Sb., kterou se mění vyhláška č. 480/2012 Sb., o energetickém auditu a energetickém posudku, účinná od 11. 10. 2016,

- Vyhláška č. 234/2015 Sb., kterou se mění vyhláška č. 118/2013 Sb., o energetických specialitech, účinná od 29. 09. 2015,
- Nařízení č. 232/2015 Sb. o státní energetické koncepci a o územní energetické koncepci, účinné od 29. 09. 2015,
- Vyhláška č. 230/2015 Sb., kterou se mění vyhláška č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov, účinná od 1. 12. 2015,
- Vyhláška č. 237/2014 Sb., kterou se mění vyhláška č. 194/2007 Sb., kterou se stanoví pravidla pro vytápění a dodávku teplé vody, měrné ukazatele spotřeby tepelné energie pro vytápění a pro přípravu teplé vody a požadavky na vybavení vnitřních tepelných zařízení budov přístroji regulujícími dodávku tepelné energie konečným spotřebitelům. Účinnost této vyhlášky je od 7. 11. 2014,
- Vyhláška č. 194/2013 Sb. o kontrole kotlů a rozvodů teplé energie, účinná od 1. 08. 2013,
- Vyhláška č. 193/2013 Sb. o kontrole klimatizačních systémů, účinná od 1. 08. 2013,
- Vyhláška č. 441/2012 Sb. o stanovení minimální účinnosti užití energie při výrobě elektřiny a tepelné energie, účinná od 1. 01. 2013,
- Vyhláška č. 337/2011 Sb. o energetickém štítkování a ekodesignu výrobků spojených se spotřebou energie, účinnou od 21. 11. 2011,
- Vyhláška č. 193/2007 Sb., kterou se stanoví podrobnosti účinnosti užití energie při rozvodu tepelné energie a vnitřním rozvodu tepelné energie a chladu, účinná od 1. 09. 2007.

Další základní legislativní předpisy:

- Zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (Stavební zákon),
  - Vyhláška č. 268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby, účinná od 26. 08. 2009
- ČSN EN ISO 9972 – Tepelné chování budov – Stanovení průvzdušnosti budov – Tlaková metoda, ÚNMZ Praha 2016,
- ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky, ÚNMZ Praha 2011

V roce 2011 bylo vydáno nové znění základní technické normy pro tepelnou ochranu budov ČSN 73 0540. Základním přístupem autorů novely normy bylo měnit jen skutečně ty části, kdy je změna nezbytná s ohledem na postupující harmonizaci norem, s ohledem na nové poznatky a na nové ambiciózní cíle při snižování provozní energetické náročnosti budov.

Oproti předchozímu znění jsou v normě přehledněji formulovány požadavky na teplotu vnitřního povrchu konstrukcí s využitím teplotního faktoru vnitřního povrchu. Částečně se mění a doplňují hodnoty součinitele prostupu tepla konstrukcí. Bylo upraveno hodnocení prostupu tepla obálkou budovy pomocí průměrného součinitele prostupu tepla s využitím metody referenční budovy. Dále byla upravena kapitola popisující požadavky a větrání místností. Informativní příloha A byla upravena a rozšířena o podrobněji popsané definice nízkoenergetických, pasivních a orientačně i energeticky nulových budov. Informativní příloha B obsahuje příklady hodnocení budovy pomocí průměrného součinitele prostupu tepla. Změněna byla taky příloha C s energetickým štítkem obálky budovy.

- TNI 73 0329 – zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou spotřebou tepla na vytápění – rodinné domy,
- TNI 73 0323 – zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou spotřebou tepla na vytápění – bytové domy.

## 6. Stavebně-energetická koncepce nízkoenergetických budov

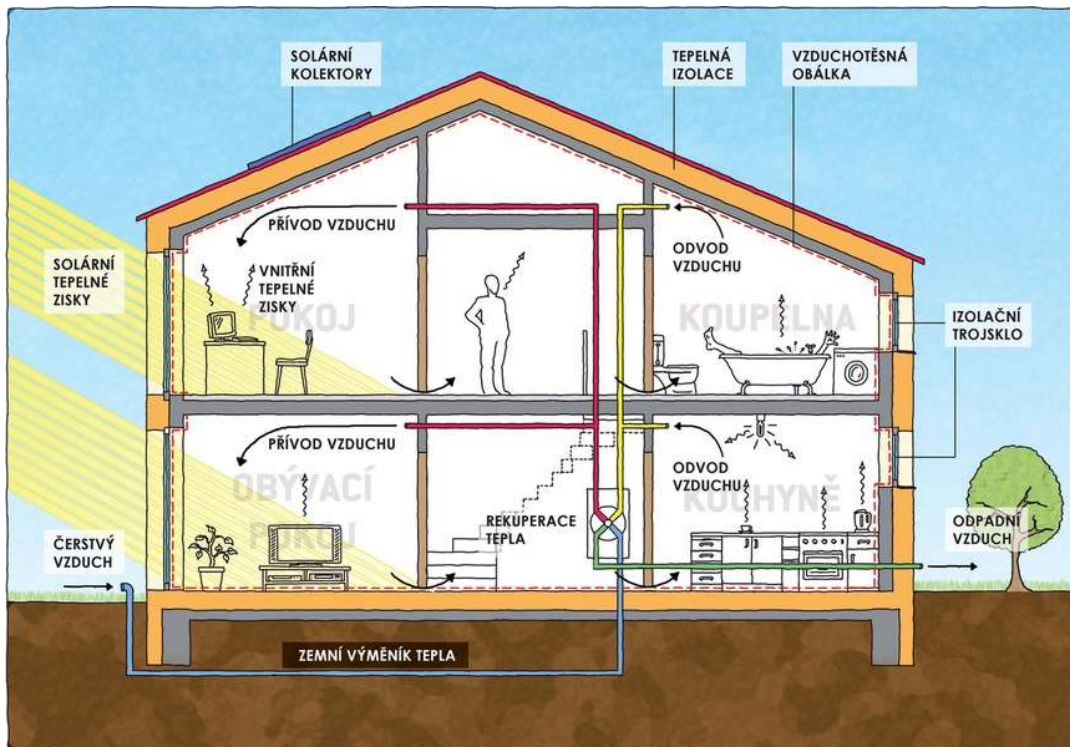
V příloze normy ČSN 73 0540 – 2 Tepelná ochran budov je uvedeno, že pro tyto budovy je velice důležitá vyváženost všech složek, které ovlivňují energetickou bilanci budovy. Této bilance je dosaženo nízkou energetickou spotřebou tepla na vytápění, vhodným stavebním řešením a uplatněním soustav využívajících obnovitelné zdroje energie.

### 6.1 Energetická bilance

Energetická bilance je základním prvkem při plánování nízkoenergetického domu. Pro její stanovení je nezbytné sečíst ztráty (potřeby). Poté je nutné promyslet, zda je možné tyto ztráty snížit a jak to bude náročné z hlediska financí. Dále je třeba určit zisky (zdroje) a procento jejich skutečného využití. Rozdíl mezi zisky a ztrátami je nutné krýt ze zdroje, při jehož volbě musíme zvážit z technického hlediska a další omezení, způsob provozu a požadavky na komfort a spolehlivost. Zdroje se liší provozními a investičními náklady.

Tab. 2: Přehled položek energetické bilance objektu

Ztráty	Zisky
Ztráty prostupem střechou	Rekuperace tepla z odpadní vody
	Zisky od osob
	Zisky od spotřebičů
Ztráty prostupem stěnami	Rekuperace tepla z odpadního vzduchu
	Dodávka tepla pro vytápění
	Dodávka tepla pro ohřev teplé vody
Ztráty prostupem podlahou	Pasivní solární zisky (okna, prosklení)
	Elektřina z vnějšího zdroje
	Vodní energie
Ztráty okny a prosklením	Větrná energie
	Zisk zemního výměníku tepla
	Elektřina z fotovoltaických panelů
Ztráty větráním	Aktivní solární zisky (kolektor)
	Palivo
Teplu pro ohřev vody	Ztráty ve vlastním zdroji
	Dodávka energie z kogenerace

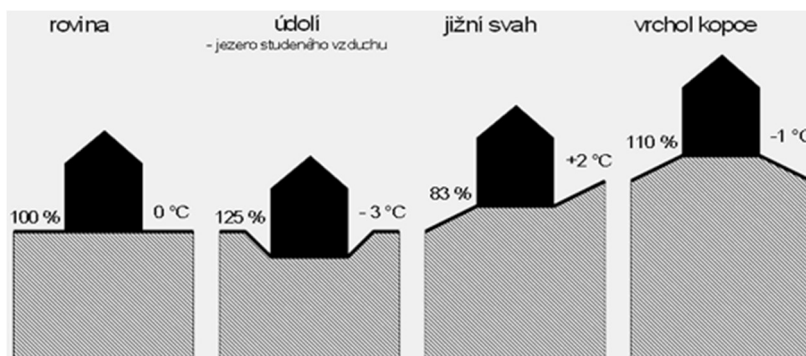


Obr. 3: Schéma pasivního, resp. nízkoenergetického domu s možnými tepelnými zisky [1]

## 6.2 Volba pozemku

Ideální pozemek pro situování pasivního či nízkoenergetického domu má obslužnou komunikaci ze severu, tak aby bylo dostatek prostoru z jihu nejen pro zahradu a zeleň navazující na vnitřní obytné prostory, ale aby měl rovněž ničím nestíněný prostor umožňující solární zisky větších ploch prosklení účelově orientovaných na jih, případně západ. Zohledňujeme tak rovněž atraktivnost výhledového pole z hlavních obytných místností.

Nejnevhodnější pozemek je v údolí a naopak ideální je na mírném jižním svahu s nejdelším denním slunečním svitem a ochranou před studenými větry.



Obr. 4: Grafické znázornění tepelné ztráty budovy (v %) a teplota okolního vzduchu v závislosti na jejím umístění v terénu [9]

## 6.3 Dispozice budovy a faktor tvaru

Ideální tvar budovy je co nejkompaktnější, jednoduchý a ve tvaru koule, ten je ovšem prakticky nerealizovatelný a jemu blízká krychle je z dispozičního hlediska nepoužitelná. Pro pasivní či nízkoenergetické domy se nejčastěji používá tvar kvádrů s delší stranou orientovanou na jih. Budova by měla být zbavena složitých tvarů a detailů, které mohou vytvářet tepelné mosty, kde následně dochází k největším ztrátám. Krom toho mohou tyto složité detaily zbytečně prodražovat stavbu. Důležitý je také tvar střechy, kde nejvhodnější je střecha plochá nebo pultová. Dále je nutno zmínit, že většina nízkoenergetických rodinných domů je řešena bez suterénu, a to z důvodu, že odpadne řada technických a energetických komplikací a stavba se zpravidla levní.

U nízkoenergetických a pasivních domů platí zásada, že se hledá takové dispoziční řešení, abychom co největší vnitřní objem vměstnali do co nejmenšího povrchu obvodového pláště, jímž se mohou realizovat tepelné ztráty. Hovoří se o parametru  $A/V$  ( $m^2/m^3$ ). V ČSN 73 0540:2 Tepelná ochrana budov uvádí tabulku závislosti průměrného součinitele prostupu tepla  $U_{em,N}$  na systémové hranici budovy (kde se obvodový plášť budovy dotýká vnějšího prostředí) a faktoru tvaru budovy  $A/V$ . Čím horší je poměr  $A/V$ , tím musí být součinitel prostupu tepla lepší, v absolutní hodnotě nižší.

V neposlední řadě musí být brán zřetel i na vnitřní dispozici domu. Umístění jednotlivých místností je opět vhodné realizovat s ohledem ke světovým stranám a využití pasivních zisků ze slunce. U nízkoenergetického domu jsou platná obecná pravidla, kdy obytné prostory s největšími prosklenými plochami mají být osluněny z jihu až jihozápadu, ložnice od východu až jihovýchodu, pracovny a kanceláře mají mít okna raději na neosluněnou stranu a WC, koupelna, šatna či sklad jsou orientovány na neosluněnou či severní stranu s malou plochou zasklení.

## 6.4 Solární využívání energie

Velice důležitým prvkem stavebně energetické koncepce je solární nebo sluneční energie. U nízkoenergetických staveb se především světelné záření používá k přeměně na teplo (fototermální přeměna). Tato přeměna může být pasivní (pomocí pasivních solárních prvků budovy – prosklené fasády, zimní zahrady) nebo aktivní (pomocí přídavných technických zařízení – sluneční sběrače – kolektory).

### 6.4.1 Aktivní systémy

Tyto systémy je téměř vždy možné dodatečně instalovat na stávající budovu. Využívají se zejména k celoroční přípravě teplé užitkové vody, ohřevu bazénové vody a k přitápění budov pomocí teplovodního či teplovzdušného vytápění. U aktivního systému dochází k přeměně

slunečního záření pomocí slunečního kolektoru a tepelného zásobníku nebo fotovoltaického systému.

## 6.4.2 Pasivní systémy

Jedná se o energii, která proniká do interiéru budovy prosklenými plochami v obvodovém plášti (okny, jinými transparentními plochami, jako jsou zasklení atrií, prosklené plochy zimních zahrad a dalšími).

Výhodou pasivních systémů je to, že k provozu nepotřebují žádné další zařízení. Využívá se sluneční záření, které dopadne do interiéru okny nebo jiným prosklením. Systém je třeba navrhnout tak, aby byly zisky co nejlépe využity (např. cirkulací vzduchu z osluněných místností do ostatních částí domu). Výhodnější jsou tzv. těžké budovy, které umožňují krátkodobou akumulaci přebytků. Zásadní je i typ a regulace vytápěcího systému.

Velikost pasivních solárních zisků je závislá na:

- množství energie slunečního záření dopadajícího na prosklenou plochu,
- schopnosti prosklených ploch propouštět energii slunečního záření do interiéru,
- velikost skutečně osluněné plochy, která je pochopitelně menší než celková plocha okna a je dále redukována v důsledku proměnlivého stínění okolním terénem, okolní zástavbou nebo částmi vlastní budovy (převislé části, vodorovné markýzy, boční stínicí prvky apod.).

Pro pasivní solární zisky se uplatňují následující hodnoty:

- celková plocha  $A$  [m<sup>2</sup>] zaskleného prvku (například okna včetně rámu),
- celková energetická propustnost slunečního záření  $g$  [-] (udává podíl energie pronikající skrz zasklení do interiéru),
- korekční činitel rámu  $F_F$  [-] (podíl průsvitné plochy a celkové plochy okenní konstrukce),
- korekční činitel stínění  $F_S$  [-] (vyjadřuje vliv okolních budov a dalších vyvýšených objektů a horizontu),
- korekční činitel clonění  $F_C$  [-] (charakterizuje vliv clonících prostředků na oknech, jako jsou závěsy, žaluzie apod.),
- účinná sběrná plocha  $A_S$  [m<sup>2</sup>] okna nebo jiného zaskleného prvku se stanoví dle vztahu,

$$A_S = A * F_S * F_C * F_F * g \quad [\text{m}^2]$$



- Pasivní solární zisky v interiéru budovy se pak pro každý časový úsek stanoví ze vztahu:

$$Q_S = \sum L_{s,j} * \sum A_{sn,j},$$

kde je:

$Q_S$ ... solární zisk [J],

$L_{s,j}$ ... celkové množství energie globálního slunečního záření dopadající na jednotku povrchu  $j$  s orientací ke světovým stranám  $s$  za jednotku času [ $J/m^2$ ],

$A_{sn,j}$ ... solární účinná plocha povrchu  $j$  [ $m^2$ ].

## 6.5 Vysoký izolační standard

Jedním ze základních prvků nízkoenergetického domu jsou důkladné tepelné izolace, v tloušťce až 500 mm. Izolovány musí být nejen venkovní stěny, ale i vnitřní konstrukce mezi vytápěným a nevytápěným prostorem. Rovněž i podlahy a stěny přilehlé k terénu musí mít důkladnou izolaci, a to zejména z důvodu, že v hloubce cca 3 m pod terénem je teplota celoročně cca 4 až 10 °C, takže dům by se musel vytápět nejen v zimě, ale i v době, kdy otopná sezóna skončila.

## 6.6 Průvzdušnost

Netěsnosti ve stavební konstrukci výrazně ovlivňují tepelné ztráty, povrchové teploty, vlhkostní režim konstrukce a vzduchovou neprůvzdušnost. V případě tepelných ztrát jde o nadměrnou filtraci studeného, respektive teplého vzduchu zvenku, který je třeba tepelně upravit – v zimě ohřát, v létě ochladit.

Z hlediska tepelného chování budovy jako celku je podstatná průvzdušnost všech dílů a jejich spojů – takzvaná celková průvzdušnost obálky budovy. Nejčastěji používanou veličinou při hodnocení celkové průvzdušnosti je intenzita výměny vzduchu při tlakové rozdílu 50 Pa. Předpisy požadují pro certifikaci pasivních domů hodnotu  $n_{50}$  nižší než 0,6/h, pro nízkoenergetické domy se doporučuje hodnota asi 1,0/h. Průzkum vzduchotěsnosti realizovaných pasivních domů dokazuje, že zmíněný požadavek na průvzdušnost se dá zabezpečit vhodnými stavebnětechnickými a projekčními opatřeními:

- systematické zohledňování problematiky průvzdušnosti ve všech fázích projekčních přípravy a výstavby,
- v projekční fázi navržení způsobu zajištění vzduchotěsnosti všech obvodových konstrukcí, jejich spojů a dalších kritických detailů (volba takzvaných vzduchotěsných

vrstev a vzduchotěsnících opatření) – navržená řešení musí být v projektové dokumentaci podrobně popsána,

- důsledná realizace všech navržených vzduchotěsnících opatření během výstavby budovy,
- použití kvalitních výrobků (lepicích pásek, tmelů atd.) na spojování a utěšňování vzduchotěsnících vrstev,
- průběžná kontrola vzduchotěsnících opatření.

Dále je nutno zmínit, že průvzdušnost budovy ovlivňuje už volba tvarového řešení budovy na úrovni architektonické studie nebo volba konstrukčního systému v úvodních fázích projektování. I detailní návrh v pokročilejších fázích projekční přípravy je velice důležitý – jednotlivé praktické zkušenosti ukazují, že chyby v návrhu se v průběhu výstavby téměř nedají opravit. Kvalitu realizace je tedy potřeba průběžně kontrolovat měřením celkové průvzdušnosti budovy. Důležitá je především kontrola před finálním zakrytím vzduchotěsnící vrstvy, aby byly odhaleny a opraveny případné netěsnosti.

V praxi se používá několik metod měření netěsností. V České republice je nejrozšířenější metoda tlakového spádu tzv. Blower-Door test, dle ČSN EN ISO 9972. Rozlišujeme mezi testem „B“, který se provádí zpravidla ve fázi rozestavěné stavby a umožňuje relativně snadnou identifikaci vad, včetně vizuální kontroly, a jejich opravy. Test „A“ je častěji užívaný již po úplném dokončení stavby k ověření parametrů a porovnání s testem „B“. Nejčastěji se provádí jako součást přejímkového řízení stavby, před kolaudací.

Blower-Door test je takzvaná metoda tlakového spádu. Princip této metody spočívá ve stanovení závislosti objemového toku vzduchu netěsnostmi v obálce budovy na tlakových rozdílech (čím větší je tlakový rozdíl mezi vnitřním a vnějším prostředím, tím větší je tok vzduchu netěsnostmi). Hodnocená budova je vystavěna sérii uměle vytvořených odstupňovaných tlakových rozdílů, přičemž na každém tlakovém rozdílu se měří objemový tok vzduchu netěsnostmi v obálce budovy. Z naměřených hodnot se pak statistickými metodami nebo graficky odvodí spojitá funkce, z níž lze odečíst hledanou hodnotu objemového toku vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa. Tuto hodnotu je potom třeba dosadit do rovnice pro výpočet  $n_{50}$ .

$$n_{50} = \frac{V_{50}}{V} ,$$

kde je:

$n_{50}$ ... intenzita výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa [ $\text{h}^{-1}$ ],

$V_{50}$ ... objemový tok vzduchu při tlakové rozdílu 50 Pa [ $\text{m}^3/\text{s}$ ],

$V$ ... objem vnitřního vzduchu měřené budovy [ $\text{m}^3$ ].

Tab. 3: Doporučené hodnoty celkové intenzity výměny vzduchu [6]

<b>Větrání v budově</b>	<b><math>n_{50}</math> (<math>\text{h}^{-1}</math>)</b>
Přirozené, nebo kombinované	4,5
Nucené	1,5
Nucené se zpětným získáváním tepla – nízkoenergetické domy	1,0
Nucené se zpětným získáváním tepla v budovách se zvláště nízkou potřebou tepla na vytápění – pasivní domy	0,6

## 6.7 Součinnost uživatele a domu

Nízkoenergetický či pasivní dům má smysl pro ty, kteří vědí, co od něho mohou očekávat a hlavně jak ho užívat. Proto je nutné, aby uživatelé byli řádně proškoleni. Kvalifikovaní uživatelé dokáží správně obsluhovat technická zařízení, spolupracovat s nimi, respektují roční období a střídání dne a noci. Pokud je někdo zvyklý na přetopené prostory bytu a pobyt doma v lehkém oblečení, bude mu chvíli trvat, než si zvykne na zdravějších 20 – 22 °C v nízkoenergetickém domě. Dále je nutno přehodnotit i zvyk spát s otevřeným oknem, protože řízeným větráním se dá udržovat v místnosti příjemných 20 °C s čerstvým vzduchem. Dále je důležité vědět, že při udržování vnitřní teploty na úrovni 20 °C je potřeba vytápěcího tepla nejnižší. Při zvýšení teploty o 1 °C dojde ke zvýšení vytápěcího tepla o cca 6 %. V neposlední řadě není dobré zapomínat na efektivní využívání elektrické energie, a to v podobě úsporných zařízení, domácích spotřebičů, osvětlení a podobně.

## 7. Konstrukční materiály svislých obvodových konstrukcí

Nosné obvodové konstrukce vytváří ochrannou vrstvu mezi interiérem a exteriérem. Konstrukce obvodového pláště musí splňovat jak statické požadavky, tak i tepelně izolační a zvukově izolační požadavky. Obvodové stěny mohou být tvořeny z jednoho materiálu, nebo často bývají složeny z více materiálů a jedná se tak o tzv. sendvičovou konstrukci.

Ve stavebnictví se rozlišuje lehká montovaná a těžká výstavba. U lehké výstavby převažují dřevěné rámové konstrukce v mnoha variantách, masivní výstavba je zpravidla zděná, méně často betonová. Ve všech případech je možno dosáhnout, s použitím vhodného tepelného izolantu, nízkých hodnot součinitele prostupu tepla. Maximální hodnota součinitele prostupu tepla pro lehké konstrukce nízkoenergetických domů je  $0,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^1)$ . Pro těžké konstrukce, kde obvykle hraje pozitivní roli vyšší hmotnost a tím i faktor akumulace tepla, je požadavek dosáhnout max.  $0,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^1)$ .

Lehké konstrukce jsou tzv. konstrukce s nízkou tepelnou setrvačností a jsou to všechny konstrukce, které mají plošnou hmotnost vrstev (od vnitřního líce k rozhodující tepelně izolační vrstvě) nižší než  $100 \text{ kg}/\text{m}^2$ . Ostatní konstrukce jsou považovány za těžké tj. za konstrukce s vysokou tepelnou setrvačností.

### 7.1 Obvodová konstrukce z cihelného zdiva – keramické tvarovky

Pro jednovrstvé cihelné zdivo lze u nízkoenergetických i u pasivních domů použít dle výrobce keramické tvarovky Porotherm 50 T Profi a HELUZ FAMILY 50 2in1.

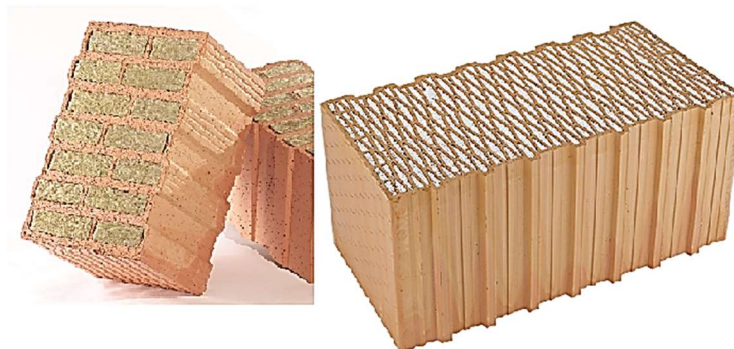
Porotherm 50 T Profi o tloušťce 500 mm má součinitel prostupu tepla uváděný výrobcem  $U = 0,11 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  a součinitel tepelné vodivosti  $\lambda = 0,058 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ . V keramické tvárnici jsou svislé dutiny vyplněny hydrofobizovanou minerální vatou.

Tvarovka HELUZ FAMILY 50 2in1 o tloušťce 500 mm má součinitel tepelné vodivosti  $\lambda = 0,058 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$  a součinitel prostupu tepla  $U = 0,11 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Tvarovka má dutiny vyplněny pěnovým polystyrénem.

Je třeba zmínit, že žádný z těchto uvedených materiálů nemusí v reálné praxi vyhovovat tepelně technickým požadavkům kladeným na nízkoenergetické či pasivní domy. Pomineme-li povětšinou nereálné očekávání výrobců o dodržování technologické kázně a doporučených postupů při zabudování jejich výrobků, tedy nezbytné předpoklady pro to, aby byly na stavbě dodrženy parametry a výrobci uváděné hodnoty jednotlivých materiálů, je obvyklým výsledkem na stavbě stěna vyzděná z technologických vyspělých prvků vadným způsobem s celou řadou

tepelných mostů. Z tohoto důsledku je tedy vhodnější volba vícevrstvé konstrukce, kde vnitřní zděné nám zajišťuje složku statickou a vnější vrstva složku tepelně-izolační.

Pro více vrstvé obvodové pláště se používají spíše keramické tvarovky s menší tloušťkou, která se většinou pohybuje okolo 300 mm, a jsou na vnější straně doplněny nejčastěji kontaktním zateplovacím systémem, který zaručí potřebné tepelně-izolační vlastnosti.



Obr. 5 Vzhled keramické tvarovky Porotherm a Heluz [10,11]

## 7.2 Obvodová konstrukce z pórobetonového zdiva – Ytong

Pórobetonové tvárnice Ytong se používají pro obvodové konstrukce jednovrstvé a vícevrstvé sendvičové zdivo. Pro jednovrstvé zdivo, vhodné k výstavbě nízkoenergetických domů, Ytong nabízí tvarovku Ytong lambda YQ tl. 375 – 550 mm s hodnotou součinitele prostupu tepla  $U = 0,213 - 0,147 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .

Společnost XELLA vyrábí také pro jednovrstvé zdění, třívrstvou tvarovku pod názvem Ytong energy<sup>+</sup>. Ta se skládá z první vrstvy pórobetonu Ytong, z prostřední izolační vrstvy multipor a třetí vrstvy z pórobetonu Ytong. Tvárnice Ytong energy<sup>+</sup> o tl. 500 mm má hodnotu součinitele prostupu tepla  $U = 0,11 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .

Pro sendvičové obvodové zdivo se používají tvarovky Ytong Standart o tl. 375 mm se součinitelem prostupu tepla  $U = 0,267 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Tyto tvarovky se nejčastěji používají s kontaktním zateplovacím systémem ETICS se skladbou EPS-F nebo minerální izolací.

## 7.3 Obvodová konstrukce z vápenopískového zdiva- KM Beta

Vápenopískové tvarovky se díky svým dobrým vlastnostem jako jsou pevnost v tlaku, vysoká akumulace tepla a velmi dobré akustické vlastnosti používají v sendvičových stěnách. KM Beta nabízí systém KMB SENDWIX ve třech variantách. Varianta SENDWIX P se skládá z vápenopískového zdiva s dodatečným zateplením polystyrénem a varianta SENDWIX M je provedena s dodatečnou minerální tepelnou izolací. Poslední varianta SENDWIX L se skládá

z vápenopískového nosného zdiva s dodatečnou minerálnou izoláciou s prízdívkou. Pre sendvičovú konštrukciu sa používa najčastejšie tvárnice s označením SENDWIX tl. od 175 do 300 mm ( $2000 \text{ kg/m}^3$ ). Hodnota tepelnej vodivosti  $\lambda = 0,82 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$  a tepelná kapacita činí  $c = 1000 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$ .

## 7.4 Obvodová konštrukcia z tvárnic Liapor

Tvarovky sú vyrobené z ľahkého Liaporbetónu. Pre jednovrstvú zdiu tepelne izolačnú zdiu sa používajú tvárnice Liapor KSL tl. 365 mm,  $\rho = 500 \text{ kg/m}^3$ , súčiniteľ prostupu tepla  $U = 0,21 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ , s vnútornými otvormi vyplnenými izolačnou hmotou na minerálnu bázu. Ďalej to sú tepelne izolačné tvárnice bez minerálnej výplne Liatherm 425, tl. 425 mm, súčiniteľ prostupu tepla  $U = 0,24 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ .

U sendvičového zdíciho systému sa používajú tvárnice tl. od 200 mm do 365 mm s rôznymi objemovými hmotnosťami od  $650 \text{ kg/m}^3$  do  $1752 \text{ kg/m}^3$ . Jejich označenie je KM a používajú sa najčastejšie s kontaktným zateplovacím systémom ETICS.

## 7.5 Obvodová konštrukcia montovaná drevená

Drevený materiál je pre stavby ako nízkoenergetických, tak pasívnych domov vhodný z tepelne technického i environmentálneho hľadiska. Montovaná drevená konštrukcia môže byť rozdelená na ľahké, ťažké konštrukcie a drevené konštrukcie stavované systémom skeletu.

U ľahkých drevených konštrukcií je výhodou umiestnenie tepelnej izolácie priamo do konštrukcie. Najčastejšie sa ako nosné prvky používajú príhradové nosníky a drevené vazníky tvaru I. Ďalšia technológia pochádza z USA a jedná sa o fošinkovú konštrukciu (two-by-four), kde sa pri výstavbe používajú hranoly  $50 \times 100 \text{ mm}$ . Fošinkové konštrukcie sa dajú prefabrikovať na celé panely. Nevýhodou týchto konštrukcií je veľmi malá akumulácia tepla, preto sa do interiéru navrhujú masívne konštrukcie ako steny či podlahy.

Ťažké drevené konštrukcie môžu byť rozdelené na roubené, srubové a konštrukcie z CLT panelov. CLT panely sa vyrábajú s křížom vrstveného lepeného dreva. Sú spojované na zámek, jistené lepením a vysokopevnosťnými vrutami. Dle spôsobu zatížením sa vyrábajú v rozmedzí tl.  $80 - 500 \text{ mm}$ . Pre technológiu z CLT panelov je charakteristická priznaná textúra dreva v interiéru miestností. Kontaktná tepelná izolácia obvodového plášťa sa aplikuje zásadne z vonjšej strany nosnej konštrukcie a je chránená obkladom fasády s odvetrávanou mezerou, alebo kontaktným systémom skladbou omítky. Táto technológia je oproti prvkom ľahkých drevených stavieb dvojnásobne cenovo náročnejšia. U roubenej konštrukcie je typický profil kruhového prierezu alebo opracovaného do tvaru trámu. Jednoduché jednovrstvé drevené profily sú však z hľadiska tepelného odporu na hranici požadovaných normových hodnôt. V miestach ložných

spár vyplněných ucpávkou potom obvykle nevyhovují, a proto nejsou pro trvalé bydlení vhodné, tím spíše ne pro energetické úsporné domy. Vzhledem těmto nevýhodám byl ze severských zemí převzat velmi racionální model skladby stěny. Jedná se o dvojité, relativně tenké roubené stěny z masivních nebo lepených profilů vyplněných kontaktně tepelnou izolací.

Při použití dřevostaveb se preferuje bezpečnější, difuzně otevřená konstrukce, což znamená, že odpor jednotlivých vrstev vůči průchodu vodních par směrem k exteriéru klesá.

## 8. Izolační materiály

V případě nízkoenergetických a pasivních domů tvoří rozhodující podíl co do objemu zabudovaných materiálů obvykle tepelné izolace. Pro běžný pasivní rodinný dům je pro představu potřeba cca 150-200 m<sup>3</sup> tepelných izolací. Izolační materiál dle normy je materiál, který výrazně omezuje šíření tepla a vykazuje charakteristickou hodnotu součinitele tepelné vodivosti max. 0,1 W/(m·K) při referenčních teplotách, vlhkostních podmínkách a daném stáří.

Umístění tepelně izolačních materiálů v obvodovém plášti souvisí s materiálovým a konstrukčním řešením objektu. Bývají zakomponovány do většiny konstrukcí od základové až po střešní konstrukci. U obvodového pláště, a to u jednovrstvých zděných, či betonových konstrukcí je možné izolaci umístit buď na vnější, nebo na vnitřní stranu konstrukce. U vícevrstvých, tedy sendvičových konstrukcí se vzduchovou mezerou, je možné tepelnou izolaci umístit ve vnitřní části konstrukce.

### 8.2 Rozdělení tepelně izolačních materiálů

Tepelně izolační materiály se rozdělují podle jejich složení, druhu použitých materiálů, dle použití výrobní technologie a dle struktury výrobku. Nicméně s postupujícím časem a z důvodu, že nejčastěji používané izolační materiály nejsou z environmentálního hlediska a environmentálního hodnocení dle LCA vhodné pro životní prostředí, lze izolační materiály rozdělit na vyráběné z obnovitelných zdrojů a z neobnovitelných zdrojů.

#### 8.2.1 Tepelné izolace z obnovitelných zdrojů

Tepelné izolace z obnovitelných zdrojů jsou přírodní materiály s minimálním dopadem na životní prostředí. Do této skupiny lze zařadit konopí, celulózu, dřevo, korek, ovčí vlnu a také slámu. Nevýhoda těchto materiálů spočívá ve vyšší ceně. Pro příklad bylo vybráno několik typů těchto přírodních izolantů s jejich fyzikálními vlastnostmi:

- dřevovláknité izolace: Jedná se o tepelně izolační nebo měkké desky, které se vyrábějí rozvlákněním smrkového nebo borového dřeva. Desky jsou vyráběny v tloušťkách 6 - 100 mm. Určeny jsou zejména pro tepelné izolace, ale i pro zvukové izolace, difuzně otevřené dřevovláknité desky a větrové zábrany. Spojují se na tupý sráz, na pero a drážku. Kotvení se provádí sponkami, kotvami i lepením. Tento izolační materiál je srovnatelný s tepelně izolačními vlastnostmi tradičních izolačních materiálů, avšak navíc disponuje např. 3x vyšší tepelnou akumulací.,
- konopná izolace: Tato izolace se vyrábí z technického konopí, které se běžně u nás pěstuje ve velkém na polích bez chemických postřiků a pesticidů. Roste mnohem rychleji než dřevo a vyžaduje jen minimální péči. Při výrobě dochází na lince



k rozvláknění, vytřásání, třídění, rovnání a sešívání do konečné podoby. Finálním produktem jsou tepelně izolační rohože a desky. Do výrobku nejsou přidávány insekticidy ani zpomalovače hoření, jedná se o 100 % přírodní výrobek bez zdravotní závadnosti, ale s vyšší cenou. V České republice se vyrábí v Kácově a v Hodoníně,

- izolace z ovčí vlny: Výroba této izolace začíná u stříhání ovcí. Dále dochází k praní ovčí vlny z důvodu zbavení nečistot. Dále dochází k ošetření vlny proti molům. Poté je vlna vyčesána a vrstvená na sebe. Izolace z ovčí vlny jsou tvarově stálé, mají nízkou objemovou hmotnost, dobrou prodyšnost a akustické vlastnosti. Výhodou je její schopnost vázat vzdušnou vlhkost až do úrovně 33 % vlastní hmotnosti a přitom neztrácí nic ze svých izolačních schopností. Tímto se postará o příjemné vnitřní klima. Další výhodou ovčí vlny je skutečnost, že je díky vysokému obsahu CO<sub>2</sub> a vlhkosti těžko hořlavá.,
- celulóza: Základní surovinou pro výrobu celulózy je recyklovaný novinový papír nebo dřevní hmota. Papírové vločky jsou impregnovány minerálními solemi, aby byly odolné proti plísním, hnilobě a škůdcům. Protipožární odolnost je zaručena příměsí boridu, který je ekologicky snadno odbouratelný. Izolace se provádí foukáním do připravovaného bednění nebo také nástřikem, kde je potřeba sypký materiál smísit s pojivem. K výhodám této izolace patří velký fázový posun při prostupu tepla. Například u podkrovního prostoru u izolací z celulózy dochází k průniku tepla během letních horkých polední až po necelých pěti hodinách.

Tab. 4: Přehled vybraných vlastností tepelně izolačních materiálů z obnovitelných zdrojů

Materiál	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	$c$ [J/kgK]	Sorpční hmotnostní vlhkost [%]	$\mu$ [-]
Dřevovláknité izolace	50 - 300	0,039 - 0,045	2100	15 -20	1 -2
Konopná izolace	30 -42	0,04	1600	20	1 -2
Izolace z ovčí vlny	14 - 23	0,0392- 0,042	1760	35	1 - 2
Celulóza	30 -60	0,037 - 0,042	2000	30	1,1 - 3

### 8.2.2 Tepelné izolace z neobnovitelných zdrojů

Extrudovaný nebo pěnový polystyrén, PUR pěna či minerální a skelná vlna - to jsou běžně používané izolační materiály, které se vyrábějí z různých umělých surovin schopných zaujmout velký objem při minimální hmotnosti na základě množství drobných vzduchových dutin. Pěnový polystyrén (EPS) nabízí kromě dobré tepelné izolace i cenovou dostupnost. Bohužel jeho výroba ve srovnání s přírodními materiály zatěžuje životní prostředí. Extrudovaný polystyren (XPS) se vyrábí podobně jako EPS. Výchozí materiál je pomocí nadouvadla

extrudován. K výhodám XPS patří nepatrná nasákavost. Nevýhodou je výroba pomocí nadouvadla CFC, které narušuje ozonovou vrstvu země mnohem drastičtěji než CO<sub>2</sub>. Polyuretanová izolace (PUR) má uzavřenou pórovitou strukturu, která zabezpečuje lepší tepelně izolační schopnosti. Nevýhodou je výchozí surovina, která je z ropného produktu.

Minerální a skelná vlákna jsou velmi podobné výrobky (rozdíl je ve složení), které se vyrábějí z roztavených hornin. Oba materiály mají velmi dobré tepelně izolační vlastnosti, jsou difuzně propustné, stabilní a odolné proti stárnutí. I když se objevují zmínky, že zatímco dřívě malým hlodavcům v minerální vlně nelíbilo, jejich zmutování potomci se v současnosti ve vrstvách izolace rádi zabydlují. Konstrukci je proto nezbytné ochránit mřížkami se spárami jištěnými nejlépe podélným zajišťováním. U minerálních či skelných izolací výrazně snižuje tepelně izolační účinek i vlhkost.

Ostatní druhy tepelných izolací jsou vypsány v tabulce č. 5 i s jejich fyzikálními vlastnostmi.

Tab. 5: Druhy tepelných izolací a jejich fyzikální vlastnosti

Skupina materiálů	Materiál	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/(m·K)]	$c$ [J/(kg·K)]	$\mu$ [-]	Třída reakce na oheň [-]
Pěnové materiály	Expandovaný polystyren	15-40	0,03-0,040	1270	20-100	E
	Expandovaný polystyren šedý	18-20	0,031-0,032	1270	30-70	E
	Extrudovaný polystyren	30-150	0,029-0,038	2060	150	E
	Pěnový polyuretan	30-100	0,024-0,028	1500	180-200	C-E
	Pěnové sklo	135-145	0,040-0,060	850	9900	A1
Minerální vláknité minerály	Skleněná vata	15-35	0,030-0,042	940	1-3	A1
	Kamenná vlna	30-100	0,035-0,045	840	1-2	A1
	Čedičová vlna	150	0,035-0,040	800	1-2	A1
Ostatní materiály	Aerogel	120-150	0,013-0,020	1,46	5-8	C
	Vakuová izolace	160	0,004-0,019		10000	

## 9. Tepelně technické vlastnosti

Pro dosažení požadovaných tepelně technických vlastností daného objektu je nutné provést správnou volbu jak konstrukce, tak i materiálu z hlediska jejich tepelně technických vlastností. Proto se následující kapitola zabývá důležitými vlastnostmi stavebních materiálů i konstrukcí, a to zejména z tepelně technického hlediska.

### 9.1 Tepelně technické vlastnosti stavebních materiálů

Objemová hmotnost

Objemová hmotnost  $\rho$  je hmotnost materiálu v definovaném stavu, např. stlačení, vlhkosti o objemu  $1 \text{ m}^3$  a je definovaná vztahem:

$$\rho = \frac{m}{V}; \quad [kg/m^3] \quad ,$$

kde je:

$m$ ... je hmotnost materiálu v definovaném stavu [kg],

$V$ ... objem materiálu [ $\text{m}^3$ ].

#### Měrná tepelná kapacita

Měrná tepelná kapacita  $c$  je množství tepelné energie, kterou je třeba dodat při stálém tlaku, vzorku materiálu o definované vlhkosti a hmotnosti 1 kg, aby se jeho teplota zvýšila o 1 K, dle normy je definována vztahem:

$$c = \frac{E}{m \cdot \Delta t}; \quad [J/kg \cdot K] \quad ,$$

kde je:

$E$ ... je tepelná energie (hodnota množství přivedeného tepla) [J],

$m$ ... hmotnost materiálu [kg],

$\Delta t$ ... přírůstek teploty [K].

#### Součinitel tepelné vodivosti

Součinitel tepelné vodivosti vyjadřuje schopnost homogenní vrstvy materiálu vést teplo. Hodnota součinitele tepelné vodivosti udává množství tepla proudící homogenní vrstvou materiálu o tloušťce 1 m, je-li rozdíl povrchových teplot vrstev materiálu 1 K. Je základní

tepelnou hodnotou, vlastností stavebních materiálů a výrobků. Hodnota součinitele tepelné vodivosti závisí na vlhkosti, objemové hmotnosti a teplotě materiálu. Je dán vztahem:

$$\lambda = \frac{\vec{q}}{-\text{grad } t} \quad [W/m \cdot K] ,$$

kde je:

$\vec{q}$ ... je vektor hustoty ustáleného tepelného toku sdíleného vedením, proudícího stejnorodým izotropním materiálem  $[W/m^2]$ ,

grad  $t$ ... gradient teploty  $[K/m]$ .

### Součinitel teplotní vodivosti

Součinitel teplotní vodivosti  $a$  je schopnost stejnorodého materiálu o definované vlhkosti vyrovnávat rozdílné teploty při neustálém vedení tepla. Charakterizuje rychlost změny teploty v určitém místě způsobené změnou povrchové teploty. To znamená, že čím je hodnota menší, tím menší je rychlost změny teploty a materiál vykazuje větší stabilitu. Součinitel teplotní vodivosti je dán vztahem:

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho}; \quad [-] ,$$

kde je:

$\lambda$ ... je součinitel tepelné vodivosti  $[W/(m \cdot K)]$ ,

$c$ ... je měrná tepelná kapacita  $[J/(kg \cdot K)]$ ,

$\rho$ ... je objemová hmotnost ve stavu definované vlhkosti  $[kg/m^3]$ .

### Množství tepla

Tepelnou energii lze uchovávat v kapalných, plynných i pevných látkách. Množství tepla  $Q$  přijatého látkou je přímo úměrné jeho hmotnosti  $m$ , měrné tepelné kapacitě  $c$  a rozdílu počáteční a koncové teploty  $\Delta t$ . Lze tedy vyjádřit vztahem:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t \quad [J],$$

kde je:

$m$ ... hmotnost  $[kg]$ ,

c... měrná tepelná kapacita [J/(kg·K)],

$\Delta t$ ... rozdíl počáteční a koncové teploty [K].

## 9.2 Tepelně technické vlastnosti konstrukcí

### Tepelný odpor konstrukce

Tepelný odpor  $R$  udává míru odporu proti pronikání tepla. Čím větší je tepelný odpor materiálu či konstrukce, tím pomaleji teplo prochází, a proto je cílem, aby byl tepelný odpor obálky budovy co nejvyšší. Tepelný odpor tedy vyjadřuje, jakou plochou konstrukce a při jakém rozdílu teplot na jejich površích dojde k přenosu 1 Wattu, čili k přenosu energie o velikosti 1 J za sekundu. Tepelný odpor závisí na tloušťkách jednotlivých materiálových vrstev dané konstrukce a jejich součiniteli tepelné vodivosti  $\lambda$ . Lze ho vyjádřit vztahem:

$$R = \sum \frac{d_j}{\lambda_j}; \quad [(m^2 \cdot K)/W] ,$$

kde je:

$d_j$ ... tloušťka vrstvy  $j$ -té konstrukce [m],

$\lambda_j$ ... součinitel tepelné vodivosti  $j$ -té konstrukce [W/(m·K)].

### Součinitel prostupu tepla

Jednou z hlavních veličin pro hodnocení tepelně technických parametrů obálky budovy je součinitel prostupu tepla  $U$ . Součinitel prostupu tepla hodnotí vliv celé konstrukce a k ní přilehlých vzduchových vrstev na šíření tepla prostupem. Je odvozen z tepelného odporu konstrukce  $R$ . Vyjadřuje tedy, kolik tepla unikne konstrukcí o ploše 1 m<sup>2</sup> při rozdílu teplot povrchů 1 K. Lze ho vyjádřit vztahem:

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}}; \quad [W/(m^2 \cdot K)],$$

kde je:

$R_{si}$ ... odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce [(m<sup>2</sup>·K)/W],

$R_{se}$ ... odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce [(m<sup>2</sup>·K)/W],

$R_T$ ... odpor konstrukce při prostupu tepla z prostředí do prostředí [(m<sup>2</sup>·K)/W].

### Tepelný most

Tepelný most je místo, kde dochází ke zvýšenému tepelnému toku. Uniká jím více tepelné energie a má v interiéru studenější povrch a naopak v exteriéru teplejší povrch než okolní

konstrukce. Tepelné mosty dokumentuje např. termogram. Vliv tepelného mostu se zohledňuje při výpočtu tepelného odporu konstrukce  $R$  a součinitele prostupu tepla  $U$ .

### **Tepelní útlum konstrukce**

Tepelnou setrvačnost jednotlivých stavebních konstrukcí je možné vyjádřit bezrozměrnou veličinou tepelního útlumu  $v$ . Tepelní útlum je poměrem amplitudy kolísání teploty venkovního vzduchu a amplitudy teploty na vnitřním povrchu. Významně se projevuje v letním období, kdy stavební konstrukce utlumuje účinek tepelní amplitudy z vnějšího prostředí, který proniká do interiéru. Tepelní útlum lze vyjádřit:

$$v = \frac{A_e}{A_{ip}}; \quad [-],$$

kde je:

$A_e$ ... amplituda kolísání venkovního vzduchu [-],

$A_{ip}$ ... amplituda teploty na vnitřním povrchu [-].

### **Fázový posun**

Fázový posun  $\Delta T_f$  [hod] neboli fázové posunutí teplotních kmitů říká, s jakým zpožděním se projeví maximální teplota venkovního vzduchu na vnitřním povrchu konstrukce. Za okrajové podmínky se uvažuje harmonicky proměnná teplota vzduchu v exteriéru dle funkce sinus a konstantní teplota vzduchu v interiéru. Tato veličina je důležitá z pohledu využití pasivní techniky pro vhodné udržení vnitřního mikroklimatu v budově. Kladná amplituda denních teplot by mohla vlivem zpoždění při průchodu konstrukcí ohřívat vnitřní vzduch během nočních hodin, a naopak ochlazovat jej během poledních teplot.

### **Faktor difuzního odporu $\mu$**

Charakterizuje schopnost stavebního materiálu propouštět vodní páru. Lze vypočítat jako poměr difuzní vodivosti vzduchu a difuzní vodivosti daného materiálu. Výsledná hodnota udává, kolikrát je daný stavební materiál méně propustný pro vodní páru než vzduch.

$$\mu = \frac{\delta_A}{\delta}; \quad [-],$$

kde je:

$\delta_A$ ... součinitel difuzní vodivosti vzduchu [kg/(m·s·Pa)],

$\delta$ ... součinitel difuzní vodivosti materiálu [kg/(m·s·Pa)].

### **Vnitřní povrchová teplota $\theta_{si,cr}$**

Vnitřní povrchová teplota konstrukce  $\theta_{si}$  vyjadřuje, jakou teplotu má povrch konstrukce za určitých okrajových podmínek. Teplota na povrchu konstrukce má výrazný vliv na vznik kondenzace, případně růst plísní na jejím povrchu. Protože se povrchová teplota konstrukce mění vzhledem k posuzovanému místu, je důležité, aby při návrhu obvodových konstrukcí bylo posouzeno nejkritičtější místo objektu. Jedná se zejména o kouty styku více konstrukcí, jejich významné napojení nebo nestandardně řešené detaily.

Kritická vnitřní teplota  $\theta_{si,cr}$  závisí na teplotě vnitřního vzduchu  $\theta_{ai}$  a jeho relativní vlhkosti  $\Phi_i$ . jedná se o takovou teplotu, při které za daných podmínek nabývá vzduch v těsné blízkosti povrchu kritické hodnoty relativní vlhkosti  $\Phi_{i,cr} = 80 \%$  u všech konstrukcí kromě výplně stavebních otvorů, kde je hodnota 80%.

## 10. Experimentální část

Cílem experimentální části práce je zhodnotit vliv a účelnost staviv použitých ve stavbách určených pro bydlení, které mohou ovlivnit jejich energetickou náročnost za klimatických podmínek v ČR.

Byl vybrán konkrétní stavební objekt. Jedná se o rodinný dům, který se nachází v obci Prostřední Bečva a byl realizován v roce 2015. Tento dům byl hodnocen ve dvou konstrukčně materiálových variantách.

U vybraného objektu byla ověřena energetická náročnost dle současné platné legislativy. Byl proveden energetický štítek obálky budovy (EŠOB) a také průkaz energetické náročnosti budovy (PENB). Pro porovnání energetické náročnosti objektu s metodikami používanými dle legislativy bylo provedeno výpočtové hodnocení, kde bylo užito numerického nestacionárního principu uspořádání tepelného systému objektu. Výpočet byl proveden pomocí programu *Stabilita*.

Nakonec bylo provedeno pomocí metodiky *SBTool/CZ* hodnocení komplexní kvality budovy z hlediska širokého spektra kritérií udržitelnosti.

### 10.1 Popis vybraného objektu

Objekt je postaven v obci Prostřední Bečva v nadmořské výšce 493,0 m. n. m v klimatické oblasti II. Jedná se o nepodsklepený objekt o dvou nadzemních podlažích. Vnitřní teplota v zimním období je  $\theta_i = 20$  °C.

- Plocha:
  - 1. NP: 82,7 m<sup>2</sup>,
  - 2. NP: 83,4 m<sup>2</sup>,
- Objem budovy  $V$ : 525,0 m<sup>3</sup>,
- Celková plocha obálky budov  $A$ : 417,7 m<sup>2</sup>,
- Energeticky vztažná plocha  $A_c$ : 199,0 m<sup>2</sup>.

Vstup do rodinného domu je řešen z východní strany objektu od stávající přílehlé místní komunikace. Obytné a pobytové místnosti jsou především orientovány na východní, jižní a západní stranu. Na severní straně jsou umístěny technické a hygienické místnosti a skladovací prostory. Na západní straně navazuje na obytnou místnost s jídelnou a kuchyní



venkovní terasa. V prvním podlaží jsou soustředěny společenské prostory, dále obslužné prostory domu a jedna ložnice. Nachází se zde otevřené prostory sloužící jako kuchyně s jídelnou a obývacím pokojem. Dále jsou situovány v 1.NP koupelny s WC, technická místnost, spíž a ložnice. Druhé podlaží slouží jako klidová část domu, kde je umístěna pracovna, 2 pokoje pro děti, ložnice s šatnou a koupelna s WC. Provozně jsou tyto dvě zóny spojeny vnitřním železobetonovým schodištěm.

### **10.1.1 Rodinný dům zděný z keramických tvárnic**

Jako první konstrukčně-materiálová varianta rodinného domu byla zvolena tzv. těžká konstrukce z keramických tvárnic Porotherm. Tato varianta byla vybrána převážně z důvodu, že se jedná o jeden z nejčastěji používaných systémů pro rodinné domy, a dále z důvodu, že jde o konstrukční materiály, které jsou vyráběny převážně z neobnovitelných energetických zdrojů. Popis konstrukčního systému:

- Svislé nosné obvodové konstrukce (stěny) jsou provedeny z keramických tvárnic Porotherm 30 Profi o tl. 300 mm s kontaktním zateplovacím systémem ETICS s EPS o tloušťce 150 mm. Jedná se o broušené tvarovky, které jsou zděny na tenkovrstvou maltu,
- svislé nosné vnitřní konstrukce (stěny) jsou provedeny z keramických tvárnic Porotherm 24 Profi o tl. 250 mm. Zde se jedná také o broušené tvarovky, které jsou zděné na tenkovrstvou maltu,
- svislé nenosné vnitřní konstrukce (příčky) jsou provedeny z keramických tvarovek tl. 115 a 80 mm,
- podlaha na terénu je tvořena podkladním betonem o tloušťce 150 mm, jako další vrstva je tepelná izolace zastoupena podlahovým polystyrénem o tloušťce 140 mm. Na podlahovém polystyrénu je betonová mazanina s podlahovým topením o tl. 50 mm a následuje podlahová krytina (keramická dlažba nebo laminátová podlaha),
- stropní konstrukci nad 1. NP tvoří keramicko-betonová konstrukce z nosníků POROTHERM a vložek MIAKO o celkové tloušťce 210 mm včetně spolupůsobící nadbetonávky. Nad stropní konstrukcí je umístěna zvuková izolace o tl. 30 mm a následně se nad izolací nachází betonová mazanina s podlahovým topením a podlahovou krytinou (keramická dlažba nebo laminátová podlaha),
- vodorovná stropní konstrukce nad 2. NP je tvořena sádkartonovým podhledem s tepelnou izolací o tl. 210 mm umístěnou mezi kleštinami,

- střecha je řešena jako dřevěná sedlová s hambálkovým krovem s vrcholovou a střední vaznicí doplněnou kleštinami. Sklon střešní roviny je  $40^\circ$ . Střecha je tvořena plechovou střešní krytinou s mezikrokevní minerální vláknitou izolací o tloušťce 280 mm,
- okna jsou z plastových profilů se zasklením tepelně-izolačním dvojsklem se součinitelem prostupu tepla pro celé okno  $U_w = 0,89 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ,
- ve střešním plášti je umístěno 7 střešních oken zasklených izolačním dvojsklem se součinitelem prostupu tepla pro celé okno  $U_w = 1,10 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ,
- venkovní dveře jsou plastové se zasklením tepelně-izolačním dvojsklem o součiniteli prostupu tepla  $U_D = 1,10 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ .

### 10.1.2 Rodinný dům s dřevěnou konstrukcí

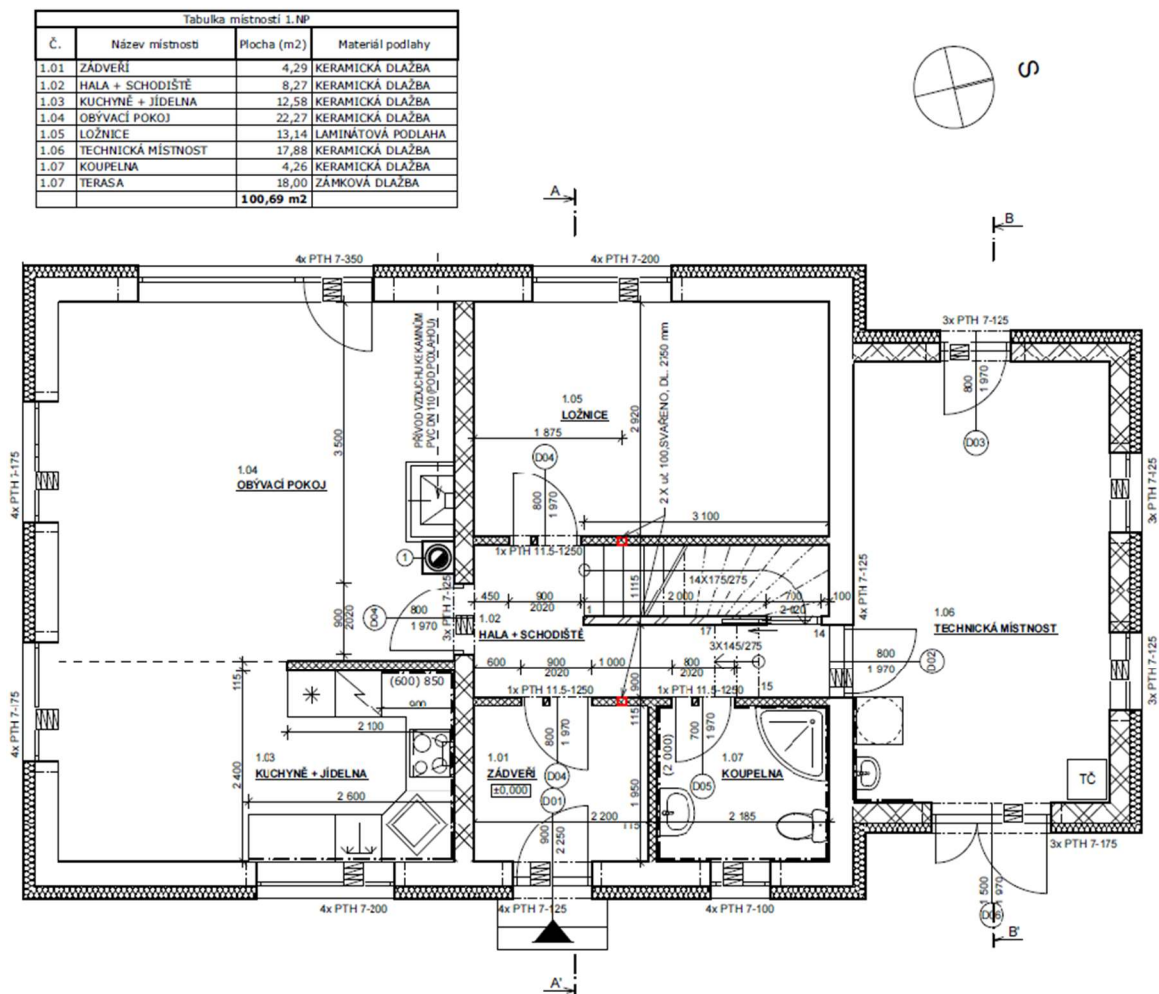
Jako druhá konstrukčně materiálová varianta rodinného domu byla zvolena tzv. lehká konstrukce dřevěná ze Steico nosníků. Tato varianta byla zvolena z důvodu, že konstrukce oproti předešlé těžké konstrukci postrádá akumulaci schopnost. Dalším důvodem pro zvolení lehké konstrukce bylo, že se skládá převážně z materiálů, které jsou z obnovitelných energetických zdrojů, jako je dřevo, a tím je i stavba šetrnější k životnímu prostředí. Nicméně v dnešní době se tyto stavby začínají čím dál více u nás vyskytovat. Popis konstrukčního systému:

- svislé nosné obvodové konstrukce (stěny) jsou provedeny ze Steico nosníků s minerální tepelnou izolací mezi nosíky o tl. 360 mm a s dřevovláknitou izolací Steico Universal o tl. 35 mm,
- svislé nosné vnitřní konstrukce (stěny) jsou Steico nosníků s minerální zvukovou izolací o tl. 200 mm,
- svislé nenosné vnitřní konstrukce (příčky) jsou provedeny jako lehké sádkartonové o tl. 90 a 100 mm,
- podlaha na terénu je tvořena podkladním betonem o tloušťce 150 mm, jako další vrstva je tepelná izolace zastoupena podlahovým polystyrénem o tloušťce 140 mm. Na podlahovém polystyrénu je betonová mazanina s podlahovým topením o tl. 50 mm a následuje podlahová krytina (keramická dlažba nebo laminátová podlaha),
- stropní konstrukci nad 1. NP tvoří nosíky Seico Joinst se zvukovou minerální izolací,
- vodorovná stropní konstrukce nad 2. NP je tvořena sádkartonovým podhledem s tepelnou izolací o tl. 210 mm umístěnou mezi kleštinami,

- střeška je řešena jako dřevěná sedlová s hambálkovým krovem s vrcholovou a střední vaznicí doplněnou kleštinami. Sklon střešní roviny je  $40^\circ$ . Střeška je tvořena plechovou střešní krytinou s mezikrokevní minerální vláknitou izolací o tloušťce 280 mm,
- ve střešním plášti je umístěno 7 střešních oken zasklených izolačním dvojsklem se součinitelem prostupu tepla pro celé okno  $U_w = 1,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Stejně jako u předešlé varianty,
- venkovní dveře jsou plastové se zasklením tepelně izolačním dvojsklem o součiniteli prostupu tepla  $U_D = 1,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Stejně jako u předešlé varianty.

## 10.2 Výkresová dokumentace

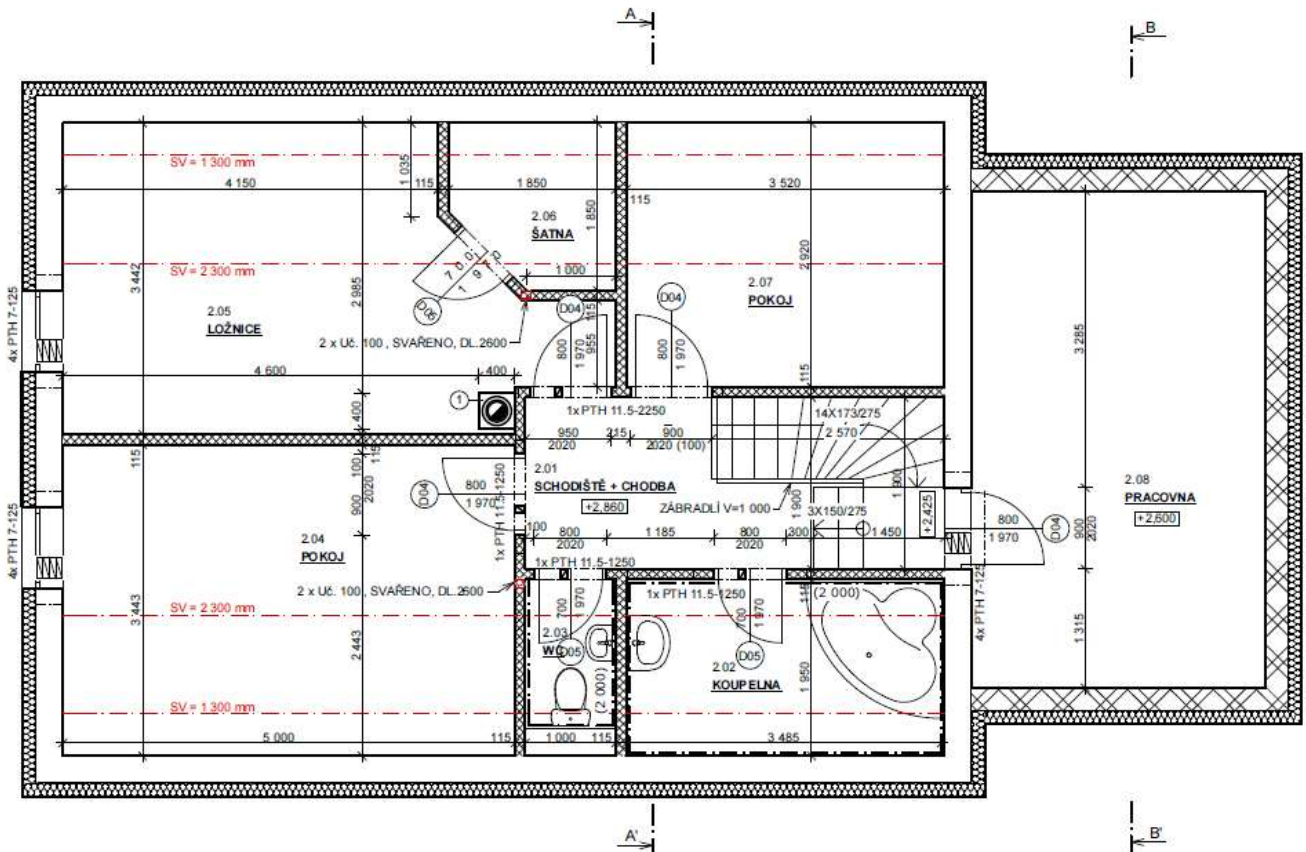
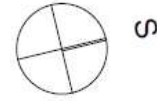
### 10.2.1 Půdorys 1. NP



Obr. 6: Půdorys 1. NP rodinného domu

## 10.2.2 Půdorys 2. NP

Tabulka místnosti 2.NP			
Č.	Název místnosti	Plocha (m2)	Materiál podlahy
2.01	SCHODIŠTĚ + CHODBA	8,81	KERAMICKÁ DLAŽBA
2.02	KOUPELNA	6,86	KERAMICKÁ DLAŽBA
2.03	WC	1,95	KERAMICKÁ DLAŽBA
2.04	POKOJ	17,73	LAMINÁTOVÁ PODLAHA
2.05	LOŽNICE	16,88	LAMINÁTOVÁ PODLAHA
2.06	ŠATNA	2,99	LAMINÁTOVÁ PODLAHA
2.07	POKOJ	10,28	LAMINÁTOVÁ PODLAHA
2.08	PRACOVNA	17,88	LAMINÁTOVÁ PODLAHA
		<b>83,38 m2</b>	



Obr. 7: Půdorys 2. NP rodinného domu

## 10.2.4 Pohled východní a západní

### POHLED VÝCHODNÍ



### POHLED ZÁPADNÍ

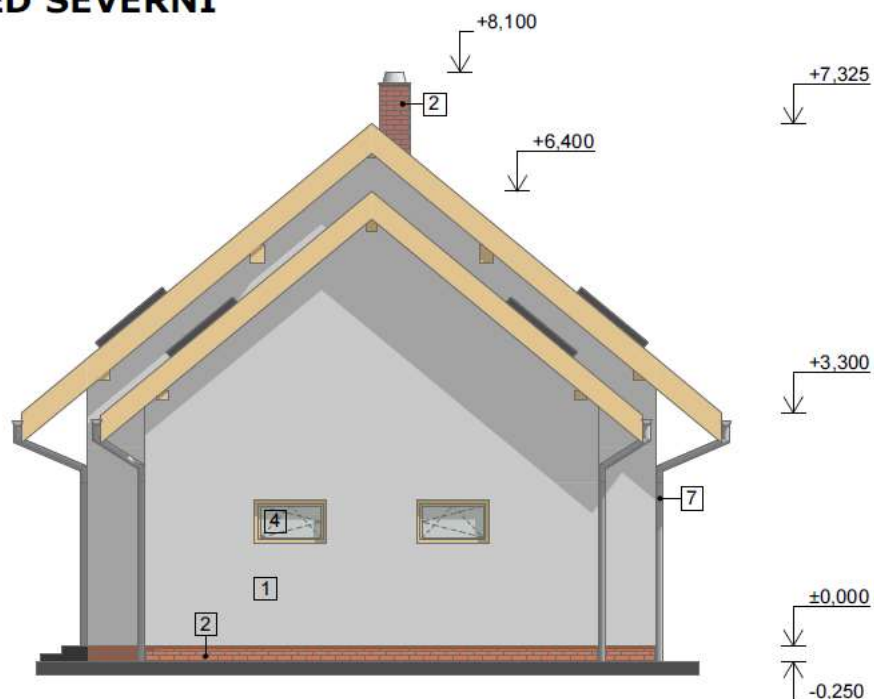


0,000 = 493,00 m n.m. BPV

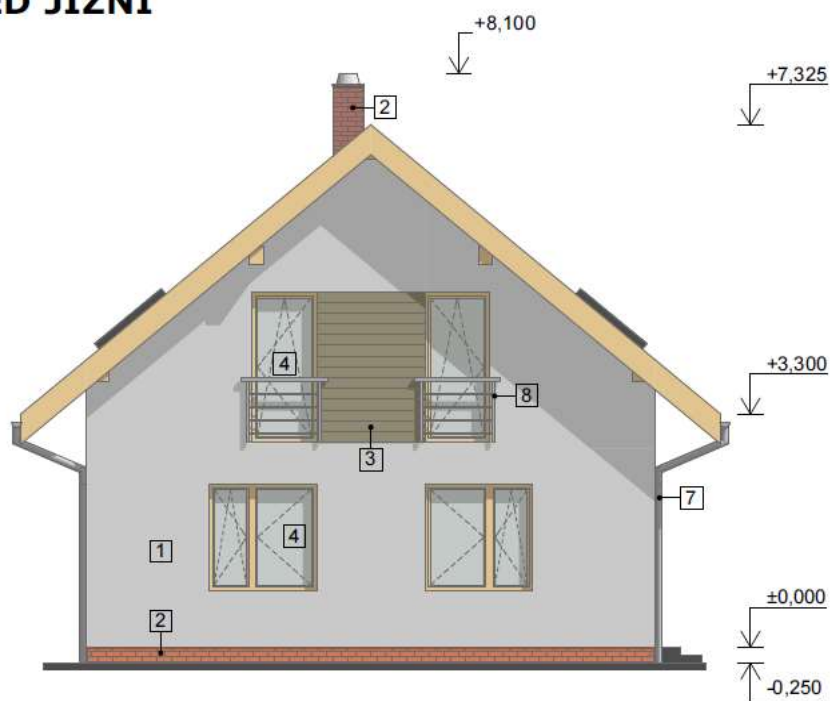
Obr. 8: Pohledy východní a západní

## 10.2.4 Pohledy severní a jižní

### POHLED SEVERNÍ



### POHLED JIŽNÍ

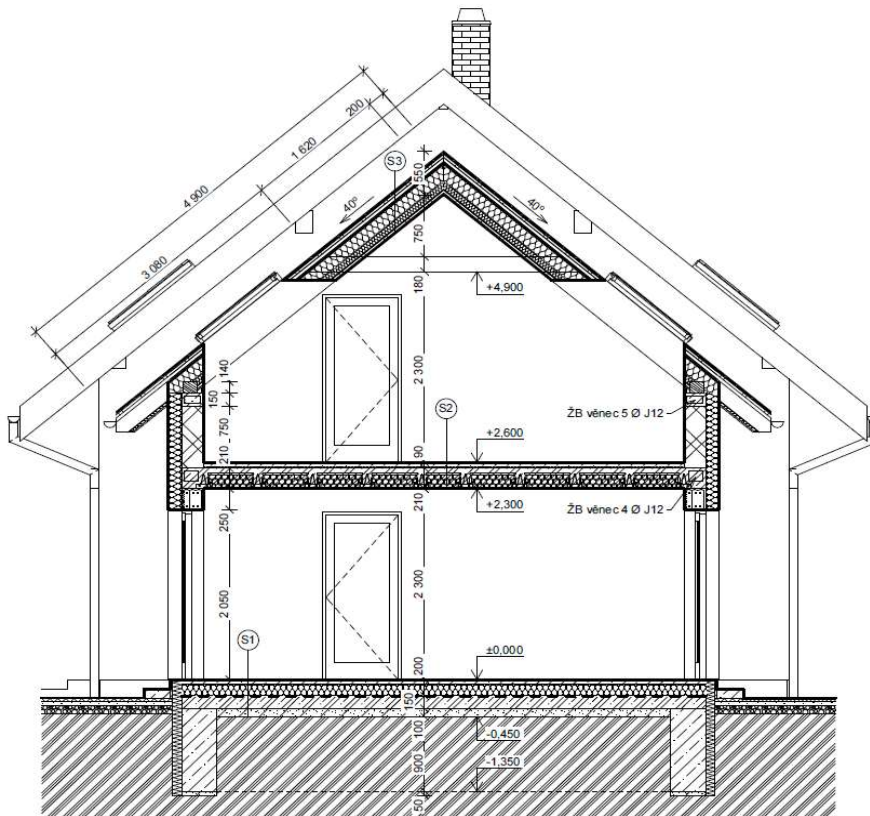
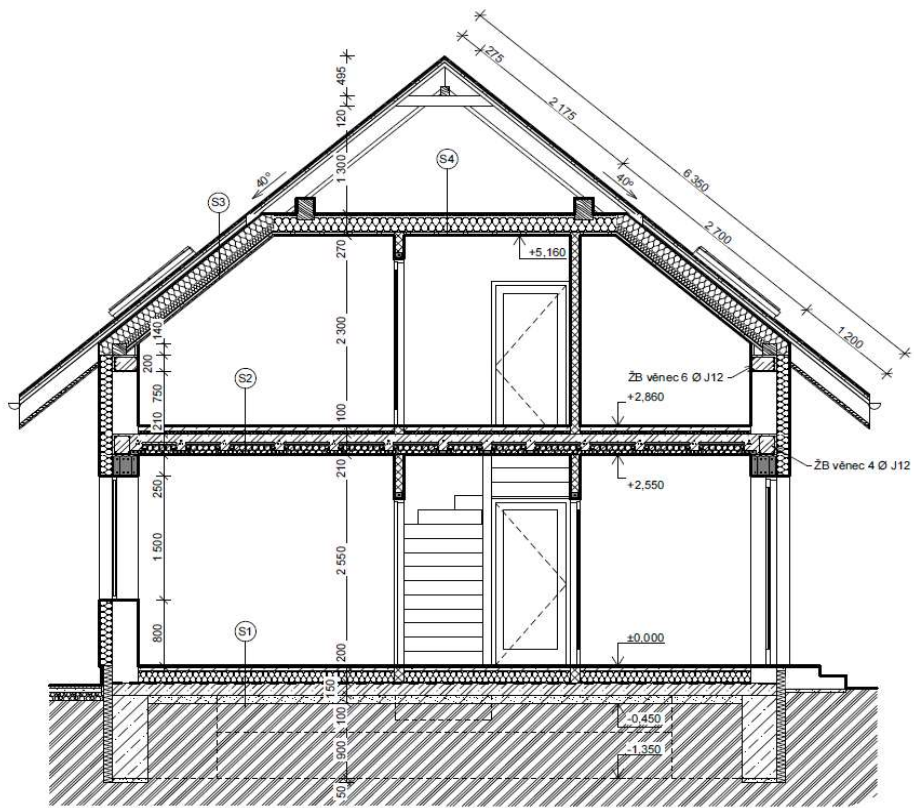


0,000 = 493,00 m n.m. BPV

Obr. 9: Pohledy severní a jižní



## 10.2.5 Řez objektu A-A' a B-B'



Obr. 10: Řez objektu A-A' a B-B'

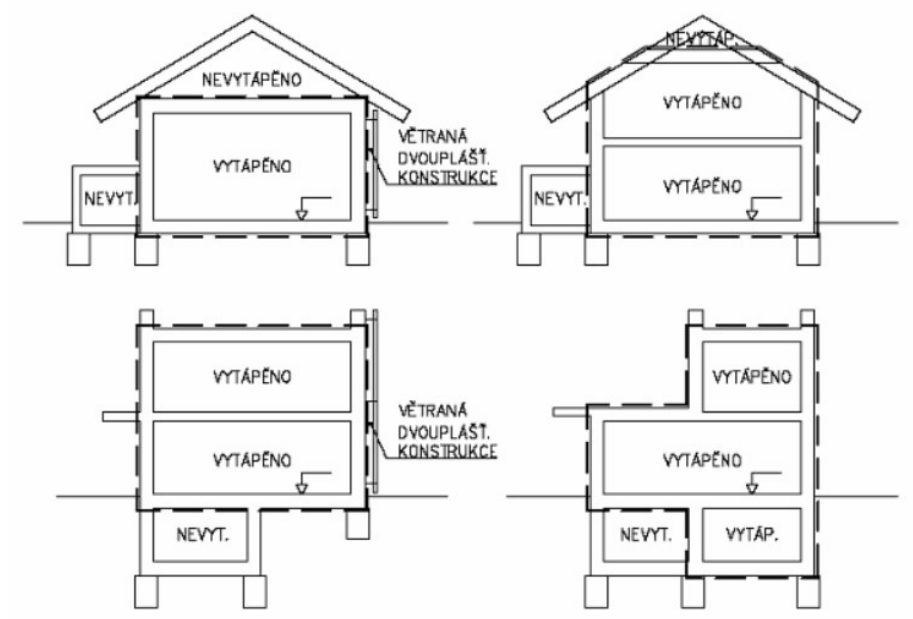
## 10.3 Výpočet energetického štítku obálky budovy (EŠOB)

Energetický štítek obálky budovy (EŠOB) je definován normou ČSN 73 0540-2:2011 – Tepelná ochrana budov [3]. U energetického štítku obálky budovy se jedná o grafické vyjádření stavebně energetických vlastností konstrukcí domu a posuzují se tepelně izolační schopnosti obálky budovy. Výstupem EŠOB je průměrný součinitel prostupu tepla, který budovu zařazuje do 7 tříd. EŠOB se zpravidla převážně zpracovává v rámci Energetického auditu, který je zákonně povinný u budov s větší roční spotřebou energie. Protokol k energetickému štítku obálky budovy a energetický štítek obálky budovy se mohou zpracovávat rovněž jako příloha průkazu energetické náročnosti budov. Výpočet energetického štítku obálky budovy (EŠOB) byl prováděn v programu *Energetika*.

### 10.3.1 Postup výpočtu energetického štítku obálky budovy

#### Započtení ploch a objemů

Nejdříve je důležité u zkoumaného objektu stanovit plochy obvodových konstrukcí, objem budovy a hranici mezi nevytápěným a vytápěným prostorem. U dvouplášťových větraných konstrukcí se za vnější hranu konstrukce považuje vnější povrch vnitřního pláště. Objem budovy  $V$  se stanovuje z vnějších rozměrů. Liší se od obestavěného objemu budovy podle jiných předpisů. Nezahrnují se sem části a prvky vně systémové hranice, jako jsou přečnívající konstrukce, balkóny, atiky, přiléhající nevytápěné části budovy, apod. Teplosměnná plocha obálky budovy  $A$  je tedy vnější povrch objemu budovy  $V$  na systémové hranici. Jak stanovit hranici mezi vytápěným a nevytápěným prostorem najdeme v normě ČSN EN ISO 13790.



Obr. 11: Schéma umístění systémové hranice budovy [12]



Dále je nutno určit objemový faktor tvaru budovy  $A/V$ , který se stanovuje v souladu s ČSN 73 0540-2. V neposlední řadě se určí celková energetická vztažná plocha budovy  $A_c$ . Geometrické charakteristiky pro náš objekt lze vidět v tab. č. 6

Tab. 6: Geometrické charakteristiky posuzované budovy

Geometrické charakteristiky budovy		
Parametr	jednotky	hodnota
Objem budovy $V$	[m <sup>3</sup> ]	525,0
Celková plocha obálky budovy $A$	[m <sup>2</sup> ]	417,9
Objemový faktor tvaru budovy $A/V$	[m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ]	0,80
Celková energetická vztažná plocha $A_c$	[m <sup>2</sup> ]	199,3

### Stanovení venkovní a vnitřní návrhové teploty

Následujícím krokem je stanovení vnitřní návrhové teploty v budově v otopném období  $\theta_{im}$  a vnější návrhové teploty v zimním období  $\theta_e$ . Pro náš objekt se uvažuje vnitřní teplota  $\theta_{im} = 20$  °C. Vnější návrhová teplota se zjišťuje z tabulek, jelikož její hodnota závisí na klimatických podmínkách lokality, kde se objekt nachází. Pro náš objekt je venkovní návrhová teplota  $\theta_e = -15$  °C. Vnější návrhové teploty se uvádějí pro okresní města ČR nebo dle nadmořské výšky daného objektu.

Tab. 7: Návrhové teploty

Návrhové teploty		
Parametr	jednotky	hodnota
Venkovní návrhová teplota v zimním období $\theta_e$	[°C]	-15
Vnitřní návrhová teplota v budově v otopném období $\theta_{im}$	[°C]	20

### Stanovení součinitele prostupu tepla, měrné tepelné ztráty a redukčního činitele

Nejprve se stanoví součinitel prostupu tepla  $U_j$  jednotlivých konstrukcí, které tvoří obálku budovy, dle vzorce:

$$U_j = \frac{1}{R_j} \quad [W/(m^2 \cdot K)],$$

kde je:

$U_j$ ... součinitel prostupu tepla  $j$ -té konstrukce [W/(m<sup>2</sup>·K)],

$R_j$ ... tepelný odpor  $j$ -té konstrukce [(m<sup>2</sup>·K)/W].

Vypočtené součinitelé prostupu tepla  $j$ -tých konstrukcí musí splňovat podmínku:

$$U_j \leq U_{em,N} \quad ,$$

kde je:

$U_j$ ... součinitel prostupu tepla j-té konstrukce [W/(m<sup>2</sup>·K)],

$U_{em,N}$ ... požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla dle [3] [W/(m<sup>2</sup>·K)].

Tab. 8 Normové hodnoty součinitele prostupu tepla  $U_N$  podle [3]

Budova – běžná s převažující návrhovou teplotou $\theta_{im}$ = 18°C až 22°C	Normová hodnota součinitele prostupu tepla $U_N$ [W/(m <sup>2</sup> ·K)]		
	Požadovaný $U_{N,20}$ [W/(m <sup>2</sup> ·K)]	Doporučené $U_{N,20}$ [W/(m <sup>2</sup> ·K)]	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy $U_{N,20}$ [W/(m <sup>2</sup> ·K)]
Typ konstrukce			
Střecha plochá a šikmá do 45° včetně Strop nad venkovním prostorem, s podlahou	0,24	0,16	0,15 – 0,10
Strop nad nevytápěnou půdou (se střechou bez tepelné izolace)	0,30	0,20	0,15 – 0,10
Vnější stěna lehká (těžká) – vnější vrstvy od vytáp. Střecha strmá se sklonem 45° lehká (těžká) Stěna k nevytápěné půdě	0,30	0,20 (0,25)	0,18 – 0,12
Podlaha a stěna vytápěného prostoru k zemině (bez vlivu zeminy)	0,45	0,30	0,22 – 0,15
Strop a stěna vnitřní z vytápěného prostoru k nevytápěnému prostoru	0,60	0,40	0,30 – 0,20
Strop a stěna vnitřní z vytápěného prostoru k temperovanému prostoru Strop a stěna vnější z temperovaného prostoru k vnějšímu prostoru	0,75	0,50	0,38 – 0,25
Podlaha a stěna temperovaného prostoru přilehlá k zemině	0,85	0,55	0,45 – 0,30
Stěna mezi sousedními budovami Strop mezi prostory s rozdílem teplot do 10°C v č.	1,05	0,70	0,50
Stěna mezi prostory s rozdílem teplot do 10°C v č.	1,30	45	-
Strop mezi prostory s rozdílem teplot do 5°C v č.	2,2	1,50	-
Stěna mezi prostory s rozdílem teplot do 10°C v č.	2,7	1,80	-
Výplň otvoru ve vnější straně a strmé střeše, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí, kromě dveří	1,50	1,20	0,80 – 0,60
Šikmá výplň otvoru se sklonem do 45°C, z vytápěného prostor do venkovního prostředí	1,40	1,10	0,90
Dveřní výplň otvoru z vytápěného prostoru do venkovního prostředí (včetně rámu)	1,7	1,2	0,90
Výplň otvoru vedoucí z vytápěného do temperovaného prostoru Výplň otvoru vedoucí z temperovaného prostoru do venkovního prostředí	3,5	2,3	1,70
Šikmá výplň otvoru se sklonem do 45° vedoucí z temperovaného prostoru do venkovního prostředí	2,6	1,70	1,40
Kovový rám výplně otvoru	-	1,8	1,0
Nekovový rám výplně otvoru	-	1,3	0,9 – 0,7
Rám lehkého obvodového pláště	-	1,8	1,2
Lehký obvodový plášť, hodnocený jako smontovaná sestava včetně nosných prvků, s poměrnou plochou průsvitné výplně otvoru $f_w = A_w/A$ ; Jejich rámy s $U_r \leq U_w$	$f_w \leq 0,05$	0,3 + 1,4· $f_w$	0,15 + 0,85· $f_w$
	$f_w > 0,05$	0,7 + 0,6· $f_w$	

Výpočet měrné ztráty prostupem tepla  $H_{Tj}$  se stanoví dle vzorce:

$$H_{Tj} = A_j \cdot U_j \cdot b_j \quad [W/K],$$

kde je:

$A_j$ ... plocha [ $m^2$ ],

$U_j$ ... součinitel prostupu tepla  $j$ -té konstrukce [ $W/(m^2 \cdot K)$ ],

$b_j$ ... redukční teplotní součinitel [-].

$$b_j = \frac{\theta_{im} - \theta_u}{\theta_{im} - \theta_e} \quad [W/(m^2 \cdot K)],$$

kde je:

$\theta_{im}$ ... návrhová teplota interiéru [ $^{\circ}C$ ],

$\theta_u$ ... návrhová teplota nevytápěného prostoru [ $^{\circ}C$ ],

$\theta_e$ ... návrhová teplota exteriéru [ $^{\circ}C$ ].

Dále bude proveden výpočet sumy všech jednotlivých měrných ztrát prostupem tepla s přičtením přírážky na vazby a tepelné mosty. Hodnota přírážky je uvedena v normě ČSN 73 0540-2:2011 [3]. Výpočet celkové měrné ztráty prostupem tepla:

$$H_T = \Sigma H_{Tj} + A \cdot \Delta U \quad [W/K],$$

kde je:

$A_j$ ... celková plocha obálky budovy [ $m^2$ ],

$H_{Tj}$ ... měrná ztráta  $j$ -té konstrukce [ $W/K$ ],

$\Delta U$ ... přírážka k součiniteli prostupu tepla  $U$  [-].

Následně se stanoví průměrný součinitel prostupu tepla  $U_{em}$  a je porovnán s požadovaným součinitelem prostupu tepla  $U_{em,N}$ , který je závislý na prostorovém uspořádání budovy, konkrétně na objemovém faktoru tvaru budovy  $A/V$ .

$$U_{em} = \frac{H_T}{A} \quad [W/(m^2 \cdot K)],$$

kde je:

$A$ ... celková plocha obálky budovy [ $m^2$ ],

$H_T$ ... celková měrná ztráta obálky budovy [ $W/K$ ].

Tab. 9: Hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla  $U_{em,N}$  [3]

Objemový faktor tvaru budovy $A/V$ [m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ]	Průměrný součinitel prostupu tepla $U_{em,N}$	
	Požadované hodnoty	Doporučené hodnoty
0,2	1,05	0,79
0,3	0,8	0,6
0,4	0,68	0,51
0,5	0,6	0,45
0,6	0,55	0,41
0,7	0,55	0,39
0,8	0,51	0,37
0,9	0,49	0,35
1	0,47	0,34

V dalším kroku následuje zařazení do klasifikačních tříd dle klasifikačního ukazatele  $CI$ . Tento ukazatel je dán poměrem hodnot průměrného součinitele prostupu tepla  $U_{em}$  a požadované hodnoty součinitele prostupu tepla pro referenční budovu:

$$CI = \frac{U_{em}}{U_{em,N}} \quad [-],$$

kde je:

$U_{em}$ ... průměrný součinitel prostupu tepla [W/(m<sup>2</sup>·K)],

$U_{em,N}$ ... požadovaný součinitel prostupu referenční budovy [W/(m<sup>2</sup>·K)],

$b_j$ ... je redukční teplotní součinitel [-].

Dle vypočtené hodnoty klasifikačního součinitele je následně budova zařazena do klasifikačních tříd dle normy ČSN 73 0540-2:2011.

Tab. 10: Klasifikační třídy prostupu tepla obálkou budovy dle [3]

Klasifikační třídy	Průměrný součinitel prostupu tepla $U_{em}$ [W/(m <sup>2</sup> ·K)]	Slovní vyjádření třídy	Klasifikační ukazatel $CI$
A	$U_{em} \leq 0,5 \cdot U_{em,N}$	Velmi úsporná	< 0,5
B	$0,5 \cdot U_{em,N} < U_{em} \leq 0,75 \cdot U_{em,N}$	Úsporná	< 0,75
C	$0,75 \cdot U_{em,N} < U_{em} \leq U_{em,N}$	Vyhovující	< 1,0
D	$U_{em,N} < U_{em} \leq 1,5 \cdot U_{em,N}$	Nevyhovující	< 1,5
E	$1,5 \cdot U_{em,N} < U_{em} \leq 2,0 \cdot U_{em,N}$	Nehospodárná	< 2,0
F	$2,0 \cdot U_{em,N} < U_{em} \leq 2,5 \cdot U_{em,N}$	Velmi nehospodárná	< 2,5
G	$U_{em} > 2,5 \cdot U_{em,N}$	Mimořádně nehospodárná	> 2,5

## Vypočtené hodnoty pro hodnocenou budovu a referenční:

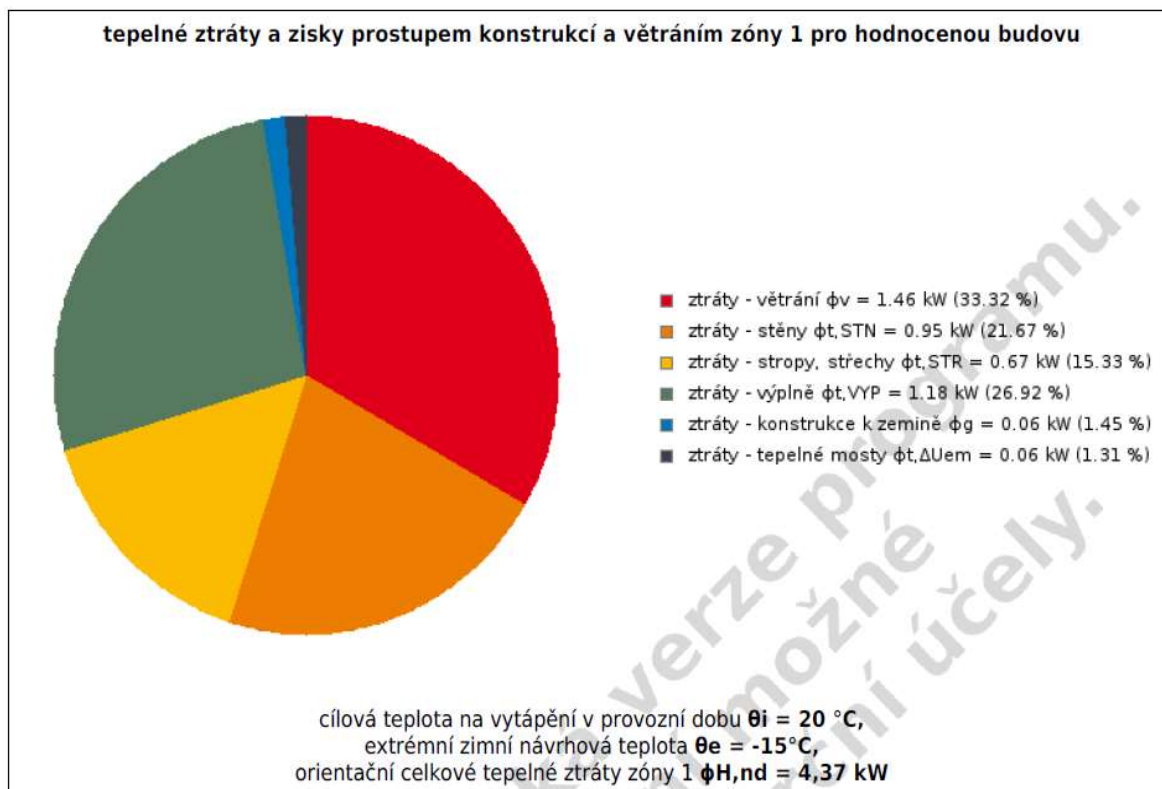
Tab. 11: Stanovení hodnot energetického štítku obálky budovy

Konstrukce obálky budovy ( $\theta_r=20^\circ$ )	Referenční budova				Hodnocená budova			
	Plocha A [m <sup>2</sup> ]	Součinitel prostupu tepla $U_{N,20}$ [W/(m <sup>2</sup> K)]	Redukční čítel $b$ [-]	Měrná ztráta prostupem tepla $H_T$ [W/K]	Plocha A [m <sup>2</sup> ]	Součinitel prostupu tepla $U_{N,20}$ [W/(m <sup>2</sup> K)]	Redukční čítel $b$ [-]	Měrná ztráta prostupem tepla $H_T$ [W/K]
Okna - východ	2,8	1,50	1,00	4,20	2,8	0,89	1,00	2,49
Okna – jih	8,3	1,50	1,00	12,45	8,3	0,89	1,00	7,39
Okna - západ	9,5	1,50	1,00	14,25	9,5	0,89	1,00	8,46
Okna - sever	1,2	1,50	1,00	1,80	1,2	0,89	1,00	1,07
Střešní okno - východ	3,7	1,40	1,00	5,18	3,7	1,10	1,00	4,07
Střešní okno - západ	2,8	1,40	1,00	3,92	2,8	1,10	1,00	3,08
Vstupní dveře - východ	2,0	1,50	1,00	3,00	2,0	1,10	1,00	2,20
Dveře tech. Místnost -	2,8	1,50	1,00	4,20	2,8	1,10	1,00	1,76
Obvodové zdivo	50,4	0,30	1,00	15,12	50,4	0,18	1,00	9,07
Obvodové zdivo	112,3	0,30	1,00	33,69	1120 3	0,16	1,00	17,97
Střecha	70,3	0,24	1,00	16,87	70,3	0,15	1,00	10,55
Strop podkroví	50,5	0,60	1,00	30,30	50,5	0,17	1,00	8,59
Přirážky na tepelné vazby	$\Delta U_{em} = 0,02$ [W/(m <sup>2</sup> ·K)] $\Delta U_{em} = 0,02 * 318,2$		1,00	6,36	$\Delta U_{em} = 0,02$ [W/(m <sup>2</sup> ·K)] $\Delta U_{em} = 0,02 * 79,76$		-	1,60
Podlaha na	99,7	0,45	-0,03	-3,61	99,7	0,25	0,07	1,81
Přirážky na tepelné vazby	$\Delta U_{em} = 0,02$ [W/(m <sup>2</sup> ·K)] $\Delta U_{em} = 0,02 * 99,7$			1,99	$\Delta U_{em} = 0,02$ [W/(m <sup>2</sup> ·K)] $\Delta U_{em} = 0,02 * 1,81$			0,04
<b>Celkem bez vlivu <math>\Delta U_{em}</math></b>	<b>417,9</b>	-	-	<b>143,77</b>	<b>417,9</b>	-	-	<b>81,57</b>
Tepelné vazby	$\Sigma \Delta U_{em}$			8,36	$\Sigma \Delta U_{em}$			1,63
<b>Celková měrná ztráta prostupem</b>	-	-	-	<b>152,13</b>	-	-	-	<b>83,20</b>
Průměrný součinitel prostupu tepla $U_{em}$ dle ČSN 73 0540-2	$U_{em,N,20} = \Sigma(U_{N,20,j} * A_j * b_j + \Delta U_{em,j} * A_j) / \Sigma A_j$			Požadovaná hodnota 0,36 Doporučená hodnota 0,27	$U_{em} = \Sigma(U_j * A_j * b_j * (1 + \Delta U_{em,j} / 100)) / \Sigma A_j$			Vypočtená hodnota 0,20 -
Klasifikační třída obálky budovy dle ČSN 73 0540-2	0,20/0,36 = 0,55				<b>Třída B - úsporná</b>			

## Grafické znázornění energetického štítku obálky budovy

ENERGETICKÝ ŠTÍTEK OBÁLKY BUDOVY						
Typ budovy:		Rodinný dům			Hodnocení obálky budovy	
Adresa budovy (místo, ulice, popisné číslo, PSČ):		Bacov 481 75656, Prostřední Bečva				
Katastrální území:		733750				
Parcelní číslo:		1888/3				
Celková podlahová plocha $A_e = 199,3$ [m <sup>2</sup> ]					stávající	doporučení
<p>CI velmi úsporná</p> <p>0,50</p> <p>0,75</p> <p>1,00</p> <p>1,50</p> <p>2,00</p> <p>2,50</p> <p>mimořádně ne hospodárná</p>						
KLASIFIKACE					B	-
Průměrný součinitel prostupu tepla obálky budovy $U_{em}$ [W/(m <sup>2</sup> K)] $U_{em} = H_e/A_e$					0,20	-
Požadovaná hodnota průměrného součinitele prostupu tepla obálky budovy podle ČSN 73 0540-2 $U_{em,n}$ [W/(m <sup>2</sup> K)]					0,36	-
Klasifikační ukazatele CI a jim odpovídající hodnoty $U_{em}$						
CI	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00	2,50
$U_{em}$	0,18	0,27	0,36	0,55	0,73	0,91
Platnost štítku do (datum):				28.10.2027 (nebo do změny obálky budovy)		
Jméno a příjmení:				Bc. Daniel Křenek -		

Obr. 12 Grafické znázornění energetického štítku obálky posuzované budovy s podporou programu *Energetika*



Obr. 13: Grafické znázornění tepelných ztrát budovy pomocí programu *Energetika*

## 10.4 Výpočet průkazu energetické náročnosti budovy (PENB)

Průkaz energetické náročnosti budovy (PENB) je definován vyhláškou 230/2015 Sb. ze zákona č. 406/2000 Sb.. Průkaz energetické náročnosti budovy obsahuje informace o energetické náročnosti budovy vypočtené podle metody stanovené prováděcím právním předpisem. Energetická náročnost budovy se stanovuje výpočtem celkové roční dodané energie v GJ potřebné na vytápění, větrání, chlazení, klimatizaci, přípravu teplé vody a osvětlení při jejím standardizovaném užívání bilančním hodnocením.

### Popis vybraného objektu z hlediska technického zařízení budovy

V rámci RD není řešeno chlazení. V domě je použito vzduchotechnické zařízení pro zpětné získávání tepla při větrání objektu. Jako zdroj tepla v rodinném domu byl instalováno tepelné čerpadlo VZDUCH-VODA s jednotkou o výkonu do 15 kW umístěnou v 1. NP. V objektu je podlahový otopný systém. Přívodní teplota vody v tomto systému je 45 °C. Topná voda vstupující do podlahy je regulována regulační soupravou, která omezuje teplotu vstupující vody na požadovaných 45 °C. V místnosti koupelna je instalováno trubkové otopné těleso vybavené na straně přívodu topné vody termostatickým ventilem. Teplá voda je připravována ve 150 litrovém vestavěném zásobníku. Zásobník je napojen na rozvod teplé vody ze systému

vnitřní jednotky tepelného čerpadla. V celém objektu jsou instalována úsporná osvětlení z LED technologie.

Výpočet průkazu energetické náročnosti budovy byl prováděn v programu *Energetika* a následující tabulky jsou vygenerovány ze zmiňovaného programu.

## PENB pro rodinný dům z keramických tvárnic

Tab. 12: Technické systémy pro vytápění

Hodnocená budova/zóna	Typ zdroje	Energonositel	Pokrytí dílčí potřeby energie na vytápění	Jmenovitý tepelný výkon	Účinnost výroby energie zdrojem tepla $\eta_{H,gen}/COP_{H,gen}$	Účinnost distribuce energie na vytápění $\eta_{H,dis}$	Účinnost sdílení energie na vytápění $\eta_{H,em}$
	(-)	(-)	[%]	[kW]	[%] / [-]	[%]	[%]
Referenční budova	x	x	x	x	80/-	85	80
Hodnocený objekt	Tepel. čerpadlo	Elektrická energie	100	11,2	- /2,79	100	100
		Slunce, energie prostředí					

Tab. 13: Technické systémy pro větrání

Hodnocená budova /zóna	Typ větracího systému	Energonositel	Tepelný výkon	Chladicí výkon	Pokrytí dílčí potřeby energie na větrání	Jmenovitý elektrický příkon systému větrání	Jmenovitý objemový průtok větracího vzduchu	Měrný příkon ventilátoru systému nuceného větrání $SFP_{ahu}$
	(-)	(-)	[kW]	[%]	[kW]	[%] / [-]	[m <sup>3</sup> /h]	[Ws/m <sup>3</sup> ]
Referenční budova	x	x		x	x	x	x	1750
Hodnocený objekt	VZT 1 – přívodně odvodní	elektřina	neznámý		100	2,00	100	72 000



Tab. 14: Technické systémy pro osvětlení

Hodnocená budova/zóna	Typ osvětlovací soustavy	Pokrytí dílčí potřeby energie na osvětlení	Celkový elektrický příkon osvětlení budovy	Průměrný měrný příkon pro osvětlení vztahený k osvětlování zóny $\rho_{L,ix}$
	(-)	[%]	[kW]	[W/(m <sup>2</sup> ·lx)]
Referenční budova	x	x	x	0,05
Hodnocený objekt	LED	100	$P_n = 0,270$	0,05

Tab. 15: Technické systémy pro přípravu teplé vody

Hodnocená budova/zóna	Systém přípravy TV v budově	Energositel	Pokrytí dílčí potřeby energie na přípravu TV	Jmenovitý příkon pro ohřev TV	Objem zásobníku TV	Účinnost zdroje tepla pro přípravu TV $\eta_{H,gen}/COP_{H,gen}$	Měrná tepelná ztráta zásobníku teplé vody vztahená k objemu zásobníku v litrech $Q_{w,st}$	Měrná tepelná ztráta rozvodů teplé vody vztahená k délce rozvodů teplé vody $Q_{w,dls}$
	(-)	(-)	[%]	[kW]	[litry]	[%] / [-]	[kWh/(l·den)]	[kWh/(m·den)]
Referenční	x	x	x	x	x	85 / -	0,0070 (0,0050)	0,1500
Hodnocený objekt	TV <sub>sys1</sub>	elektrická energie Slunce, energie prostředí	60	TČ-1 (11,2)	150	TČ-1 [-/2,31]	0,0016	0,1224

Tab. 16: Rozdělení dílčích dodaných energií, celkové primární energie a neobnovitelné primární energie podle energositelů

Energositele	Dílčí vypočtená spotřeba energie / Pomocná	Faktor celkové primární energie	Faktor neobnovitelné primární energie	Celková primární energie	Neobnovitelná primární energie
	[kWh/rok]	[-]	[-]	[kWh/rok]	[kWh/rok]
Elektrická energie	7 364,26	3,2	3,0	23 565,63	22 092,78
Slunce, energie prostředí	9 930,37	1,0	0,0	9 930,37	0,00
<b>Celkem</b>	<b>17 294,63</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>33 496,00</b>	<b>22 092,78</b>

Tab. 17: Požadavky na celkovou dodanou energii

(6)	<b>Referenční budova</b>	[kWh/rok]	34 494,68	Splněno (ANO/NE)	Ano
(7)	<b>Hodnocená budova</b>		17 294,63		
(8)	<b>Referenční budova</b>	[kWh/(m <sup>2</sup> ·rok)]	173,08		
(9)	<b>Hodnocená budova</b>		18,78		

Tab. 18: Požadavky na neobnovitelnou primární energii

(10)	<b>Referenční budova</b>	[kWh/rok]	36 459,26	Splněno (ANO/NE)	Ano
(11)	<b>Hodnocená budova</b>		22 092,78		
(12)	<b>Referenční budova (ř.10 / m<sup>2</sup>)</b>	[kWh/(m <sup>2</sup> ·rok)]	182,94		
(13)	<b>Hodnocená budova (ř.11 / m<sup>2</sup>)</b>		110,85		

Tab. 19: Primární energie hodnocené budovy

(14)	<b>Celková primární energie</b>	[kWh/rok]	33 496,00
(15)	<b>Obnovitelná primární energie (ř.14-ř.11)</b>	[kWh/rok]	11 403,22
(16)	<b>Využití obnovitelných zdrojů energie z hlediska primární energie (ř.15 / ř.14 x 100)</b>	[%]	34,04

## PRŮKAZ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY

vydány podle zákona č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, a vyhlášky č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov

Ulice, číslo: **Bacov 481 , k.ú. 733750,**  
**p.č. 1888/3**  
 PSČ, místo: **75656, Prostřední Bečva**  
 Typ budovy: **Rodinný dům**  
 Plocha obálky budovy: **417.9** m<sup>2</sup>  
 Objemový faktor tvaru A/V: **0.80** m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>  
 Celková energeticky vztázná plocha: **199.3** m<sup>2</sup>

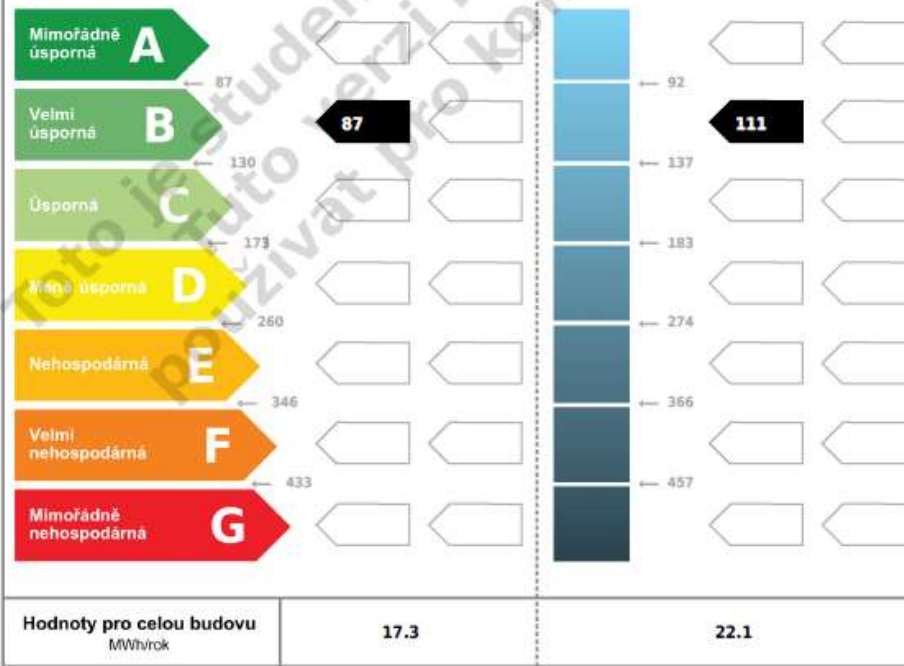


## ENERGETICKÁ NÁROČNOST BUDOVY

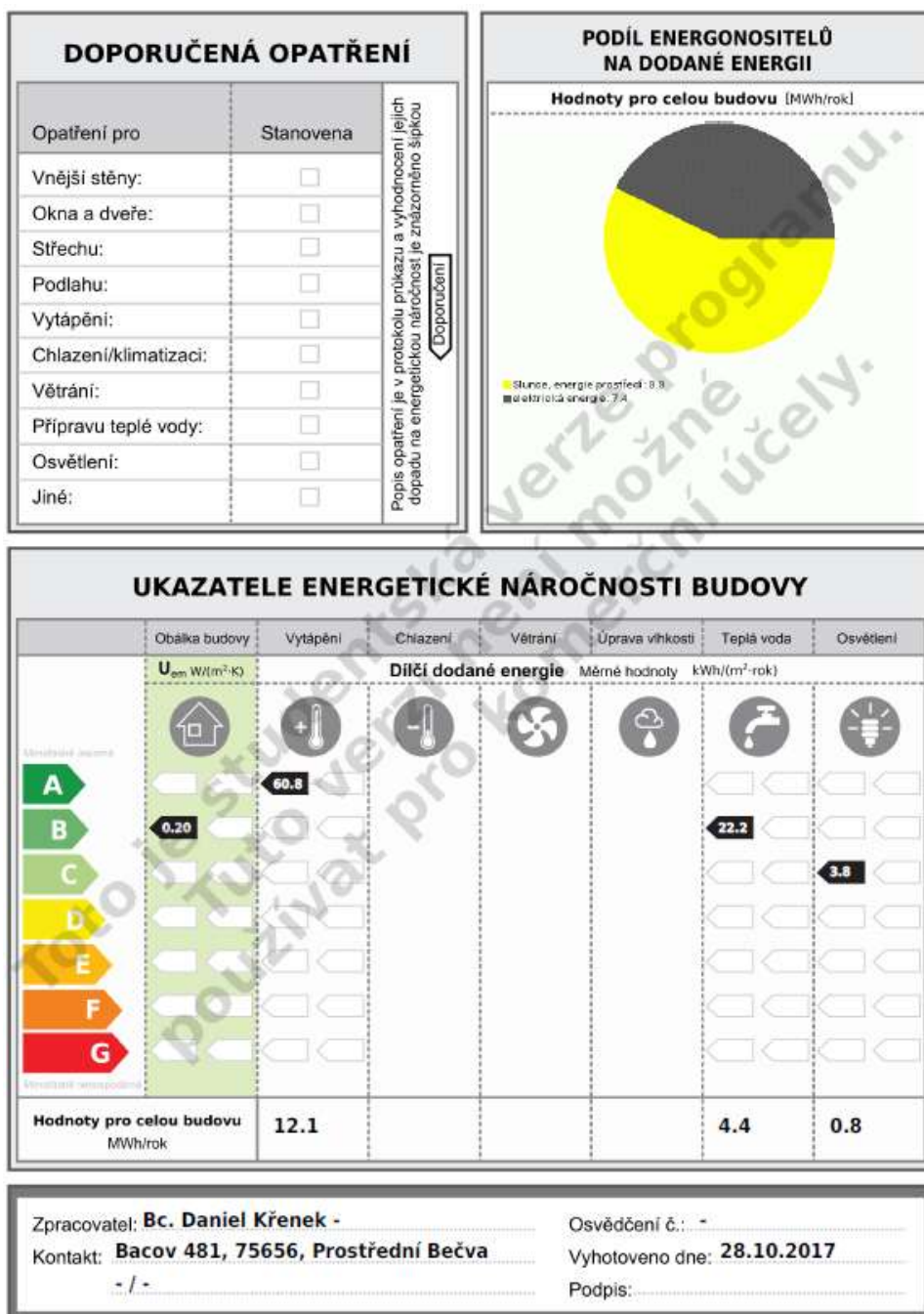
**Celková dodaná energie**  
 (Energie na vstupu do budovy)

**Neobnovitelná primární energie**  
 (Vliv provozu budovy na životní prostředí)

Měrné hodnoty kWh/(m<sup>2</sup> rok)



Obr. 14: Grafické znázornění průkaz energetické náročnosti posuzované budovy pomocí programu *Energetika* první část



Obr. 15: Grafické znázornění průkaz energetické náročnosti budovy pomocí programu *Energetika* druhá část

## 10.5 Hodnocení tepelného chování vybraného objektu

Pro hodnocení tepelného chování vybraného objektu bylo užito obecného numerického nestacionárního principu uspořádání tepelného systému objektu. V uvedeném systému lze nastavit požadované klimatické údaje, které odpovídají reálným okrajovým podmínkám.

Výsledky výpočtového modelování by měly těsně korespondovat s reálnými měřenými hodnotami spotřeby energie.

Pro simulaci nestacionárního modelování tepelného šíření v budově byl použit výpočtový program *Stabilita*, jehož základy položil S. Štastník. Program je napsán v jazyce *Pascal* pro vývojové prostředí *Delphi*.

Vstupní datový soubor je zadáván v textovém formátu. Tento soubor obsahuje formulaci modelu budovy, který je určen jednotlivými místnostmi, tepelnými vazbami mezi nimi, materiálovými skladbami stěn, stropů, podlah, střech a jejich materiálovými vlastnostmi. Dále se doplňují soubory s konkrétními meteorologickými daty, zejména průběh venkovních teploty, intenzita slunečního záření a relativní vlhkost venkovního vzduchu.

Hlavními výstupními daty jsou průběhy teplot v jednotlivých místnostech, okamžitá spotřeba tepla na vytápění a dále také celková spotřeba tepla za sledované období.

### **Princip výpočtu dle programu *Stabilita***

Jako první krok, aby bylo možno provést simulaci nestacionárního vedení tepla budovou, je nutno sestavit model sledovaného objektu. Model se skládá z libovolného množství zón, které jsou ohraničeny libovolným počtem povrchů. Model má nejméně jednu tepelnou vazbu do okolí, a to obvykle s venkovním prostředím.

V každé místnosti vybraného objektu je vzduch zastoupen jako uzel, pro který se v daném čase počítá jeho teplota. Jednotlivé uzly jsou propojeny tepelnými vazbami, které zastupují příslušné stavební konstrukce. Tyto konstrukce jsou tvořeny jednotlivými skladebnými vrstvami definovaných materiálů. Předpokládá se homogenita materiálu a rovinnost vrstev.

Jako nestacionární šíření tepla je popsán přenos tepla v rámci jedné konstrukce. Je započítávána tepelná kapacita každé jednotlivé vrstvy stěny. Materiálové vrstvy jsou dále rozděleny na jednotlivé parciální vrstvy pro zvýšení přesnosti. Časové kroky výpočtu se pohybují v jednotkách sekund, aby byla zjištěná numerická konvergence celého systému.

Dle programu *stabilita* jsou brány v úvahu následující vlivy na tepelný stav:

- tepelné toky výplněmi otvorů,
- tepelné toky z přiléhajících konstrukcí,
- tepelné toky zapříčiněné výměnou vzduchu,
- energie slunečního záření okny, případně dveřmi,
- tepelné zisky z vytápění.

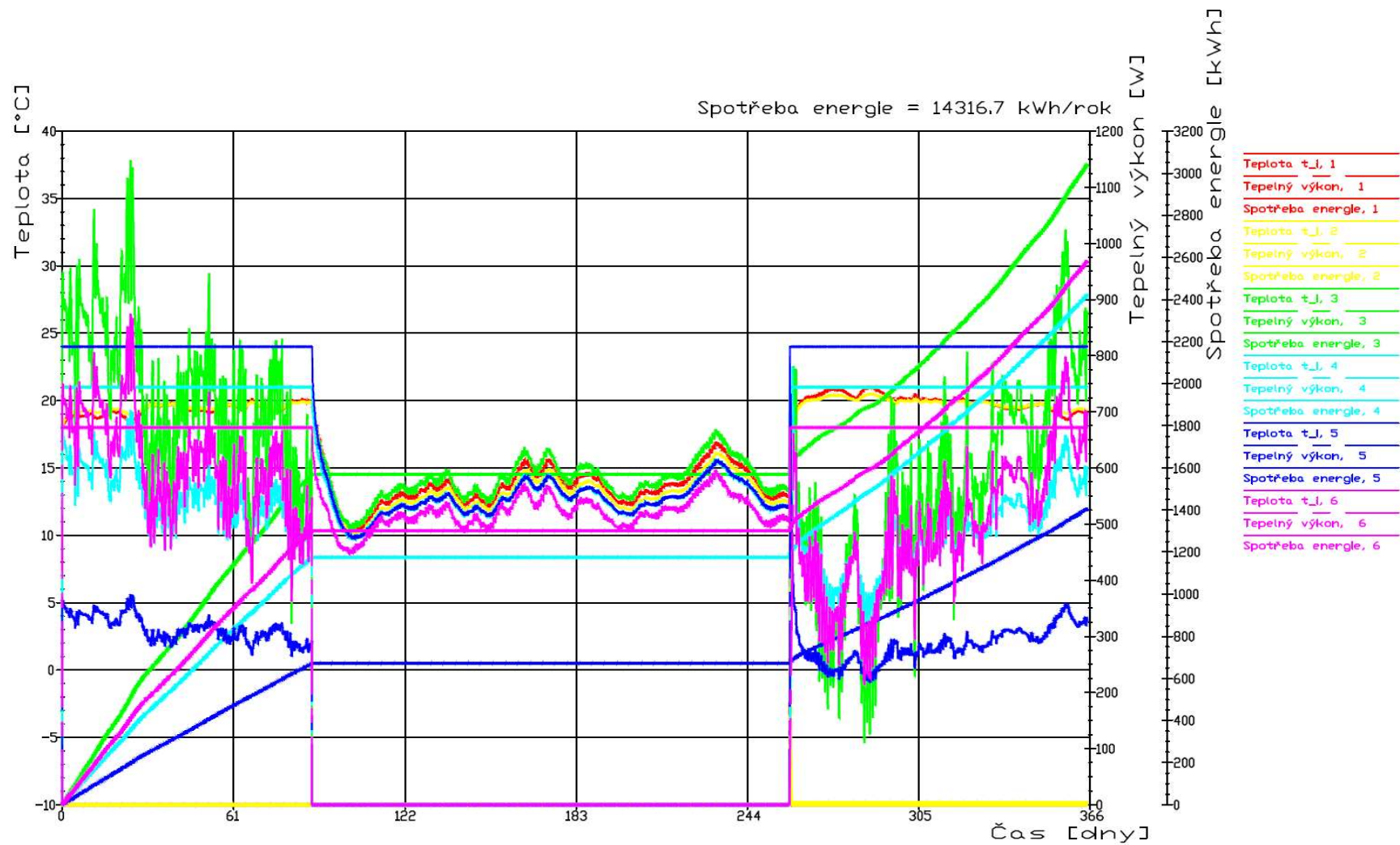
Celková tepelná rovnováha zóny je součet všech výše uvedených tepelných vlivů roven nule. U výpočtu spotřeby tepla se navrhuje pro každou zónu teplota vzduchu a neznámou proměnou jsou tepelné zisky z vytápění. Vytápění se uvažuje jako řízeně přerušované a v každém časovém kroku je dodáváno právě takové množství energie, které je potřebné pro udržení návrhové teploty. Celková spotřeba tepelné energie je pak součtem energií ze všech časových intervalů.

### **Sledovaná výstupní data**

Simulace byla prováděna u dvou konstrukčně-materiálových variant rodinného domu. Hlavními sledovanými údaji u obou variant byla spotřeba tepla na vytápění v zimním období. Byl sledován časový úsek, který vycházel z délky otopného období. Otopné období bylo stanoveno na 197 dní. Konkrétně otopná sezóna pro náš sledovaný objekt začíná 15. září do 1. dubna referenčního roku. Byl zaznamenáván průběh spotřeby vytápěcího tepla v jednotlivých místnostech, tak i celková spotřeba tepelné energie za sledované období. Z důvodu porovnávání varianty z keramických tvárnic „Těžká konstrukce“ a s variantou rodinného domu z dřevěné konstrukce „Lehká konstrukce“ byly porovnávány i teploty místností v letním období, a to z důvodu jejich přehřívání.

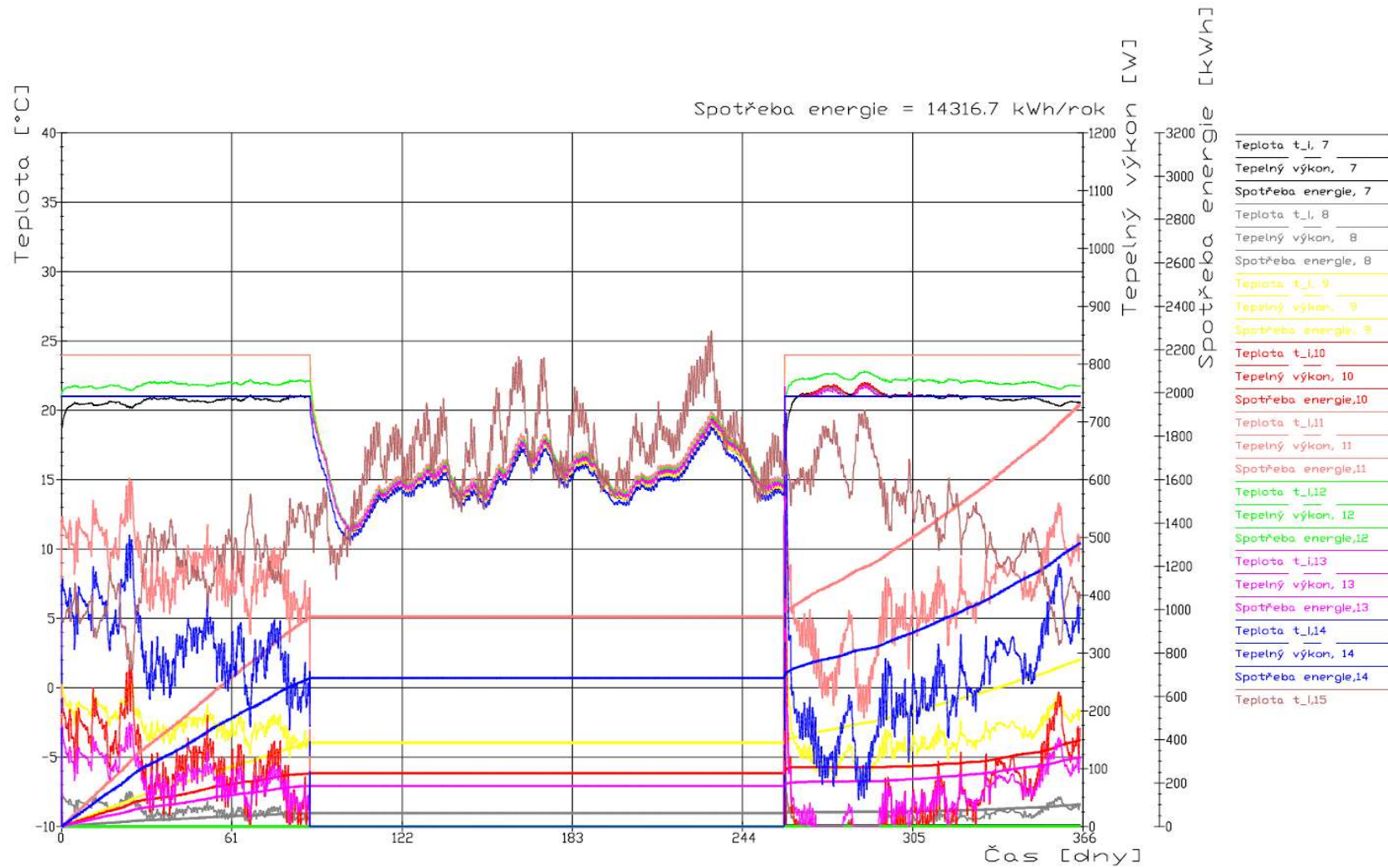
### **Grafické vyhodnocení jednotlivých variant**

Z důvodu přehlednosti bude každá konstrukčně materiálová varianta rodinného domu rozdělena dle nadzemního podlaží.



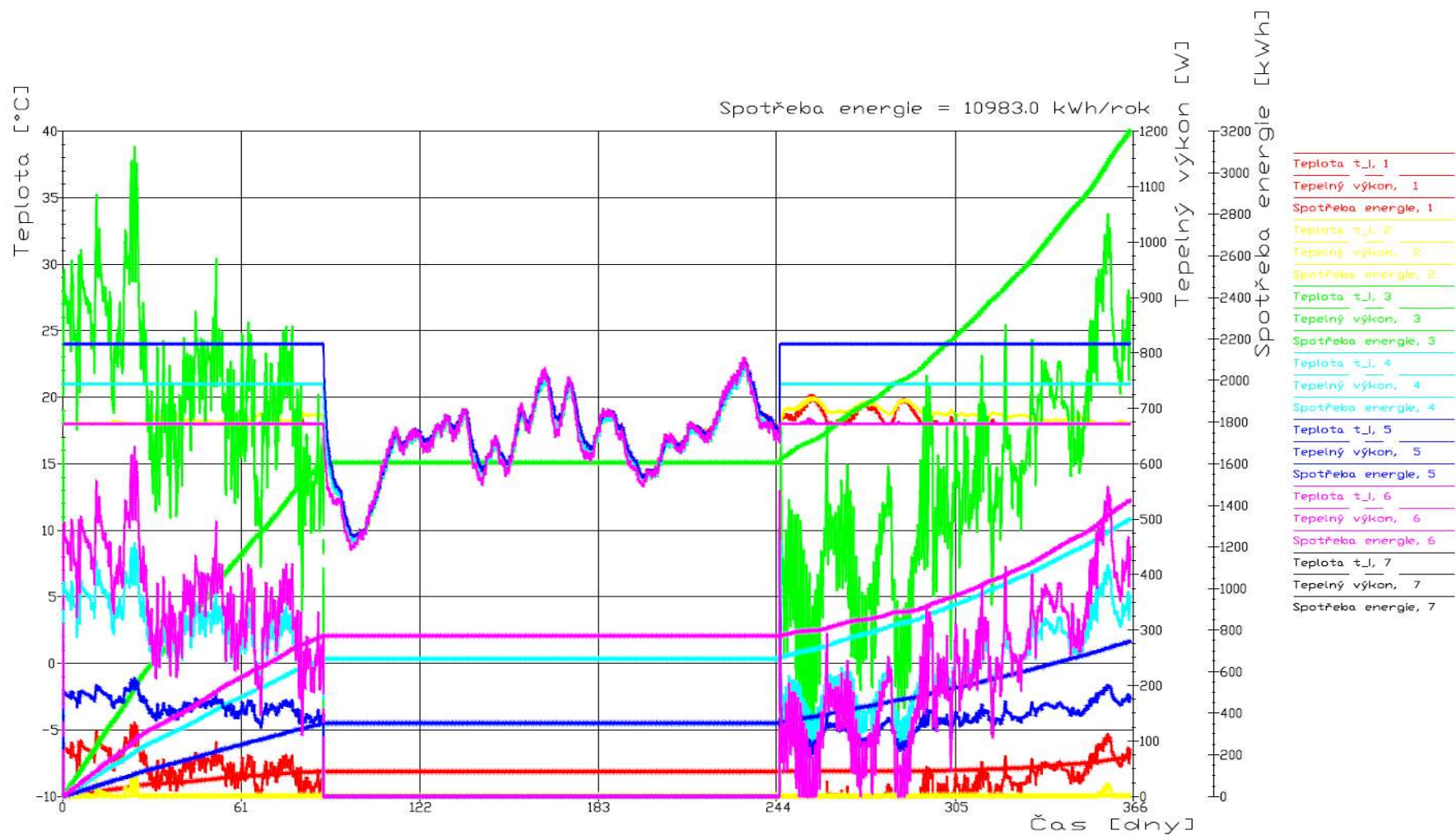
Obr. 16: Grafický výstup průběhu vnitřních teplot, spotřeby energie a průběh součtové spotřeby energie 1. NP domu zděného z keramických tvárnic



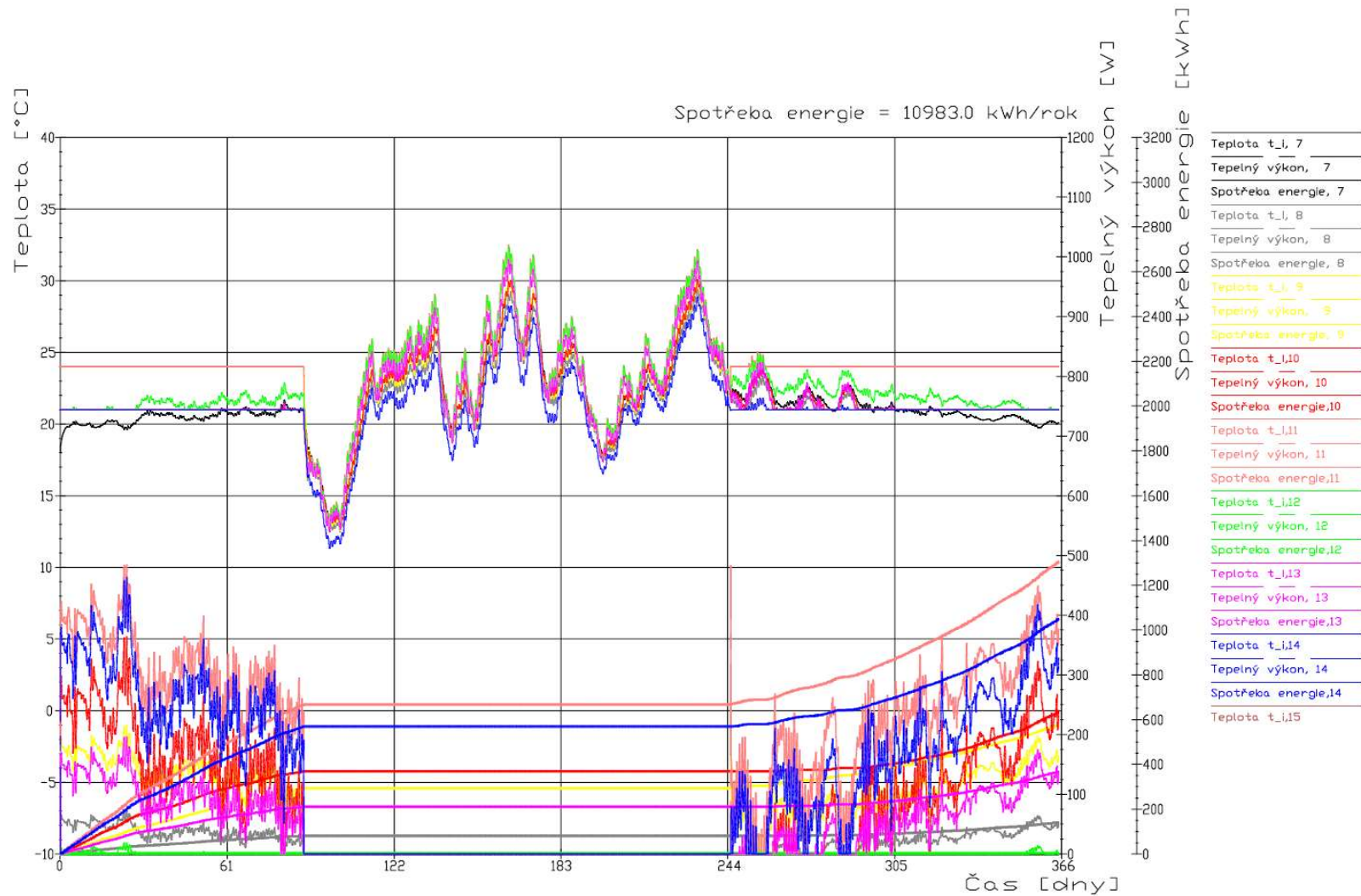


Obr. 17: Grafický výstup průběhu vnitřních teplot, spotřeby energie a průběh součtové spotřeby energie 2. NP domu zděného z keramických tvárníc





Obr. 18: Grafický výstup průběhu vnitřních teplot, spotřeby energie a průběh součtové spotřeby energie 1. NP domu na bázi dřevěné konstrukce



Obr. 19: Grafický výstup průběhu vnitřních teplot, spotřeby energie a průběh součtové spotřeby energie 2. NP domu na bázi dřevěné konstrukce

## Vyhodnocení provedených simulací

K výpočtu jednotlivých variant rodinného domu byly nastaveny okrajové podmínky dle tab. č. 19.

S pomocí výpočtového programu *Stabilita* bylo možno během referenčního roku sledovat povrchové teploty, průběh teplot vnitřního vzduchu v místnostech, potřebné tepelné výkony a celkovou spotřebu energie na vytápění posuzovaného objektu.

Tab. 20: Přehled požadovaných kritérií na teplotní stav jednotlivých místností ve sledovaném objektu

Číslo místnosti	Účel místnosti	Objem místnosti [m <sup>3</sup> ]	Návrhová teplota místnosti [°C]	Vytápění
1.	Zádveří	10,9	18	Ano
2.	Chodba + schodiště	21,1	18	Ano
3.	Obývací pokoj + kuchyň	88,9	21	Ano
4.	Ložnice	33,5	21	Ano
5.	Koupelna	10,9	24	Ano
6.	Technická místnost	45,6	18	Ano
7.	Chodba + schodiště	20,3	18	Ano
8.	WC	3,6	21	Ano
9.	Koupelna	12,6	24	Ano
10.	Pokoj I	33,7	21	Ano
11.	Ložnice	33,0	21	Ano
12.	Šatna	5,4	21	Ano
13.	Pokoj II	19,9	21	Ano
14.	Pracovna	36,2	21	Ano
15.	Podstřešní prostor	24,3	5	Ne

Celková součtová energie na vytápění z výpočtu programem *Stabilita* u dvou konstrukčně-materiálových variant vyšla odlišně. U varianty objektu se dřevěnou konstrukcí tzv. „Lehkou konstrukcí“ byla zjištěna roční spotřeba energie 10 983,0 kWh/rok, což odpovídá cca 41 625,0 Kč/rok. U varianty zděného rodinného domu z keramických tvárnic byla zjištěna hodnota roční spotřeby energie 14 316,7 kWh/rok což odpovídá cca 54 260 Kč/rok. Díky využití teplotního průběhu v jednotlivých posuzovaných místnostech bylo zjištěno, dle očekávání, že nejvyšší vzestup vnitřní teploty místností v letním období bylo u varianty s lehkou dřevěnou konstrukcí, a to konkrétně ve druhém nadzemním podlaží, kde teploty

atakovaly hodnotu 30 °C. Naopak u varianty zděné největší hodnota teploty atkovala jen 25 °C.

## 10.6 Hodnocení kvality budovy nástrojem *SBToolCZ*

*SBToolCZ* je národní český certifikační nástroj pro vyjádření úrovně kvality budov, a to v souladu s principy udržitelné výstavby. Metodika tohoto nástroje poskytuje důvěryhodný certifikát o shodě stavby s legislativními požadavky a s principy udržitelné výstavby. Podporuje snižování energetické náročnosti budov, a to v souladu se směrnicí Evropského parlamentu a rady 2010/31/EU o energetické náročnosti budov EPBD II.

Nástroj *SBToolCZ* je určen pro různé druhy zájemců (architekti, projektanti, developeři, klienti apod.) a přináší inspiraci k nalezení inovativních řešení, které minimalizují dopad na životní prostředí. Metoda vyhodnocuje budovu po stránce technického provedení a zaměřuje se i na možné očekávané dopady stavby na životní prostředí, včetně možné optimalizace tohoto dopadu.

Metodika respektuje klimatické podmínky, geomorfologii, obvyklé materiály a technologie, dostupné místní zdroje, rozložení populace, tradice a kulturní hlediska. Nejedná se však jen o hodnotící metodu, jejímž výstupem je certifikát. Je možné ji však použít i jako průvodce pro navrhování lepších budov, a to ve shodě s principy udržitelné výstavby. Hodnotící stupnice je 0 až 10, kde 0 odpovídá stavu obvyklému v regionu (standart), 5 vysoce kvalitním budovám a 10 nejlepším dostupným technologiím. Certifikát odpovídá stupňům 0 až 4, bronzový certifikát stupňům 4 až 6, stříbrný 6 až 8 a zlatý 8 až 10.

### Struktura hodnotících kritérií *SBToolCZ*

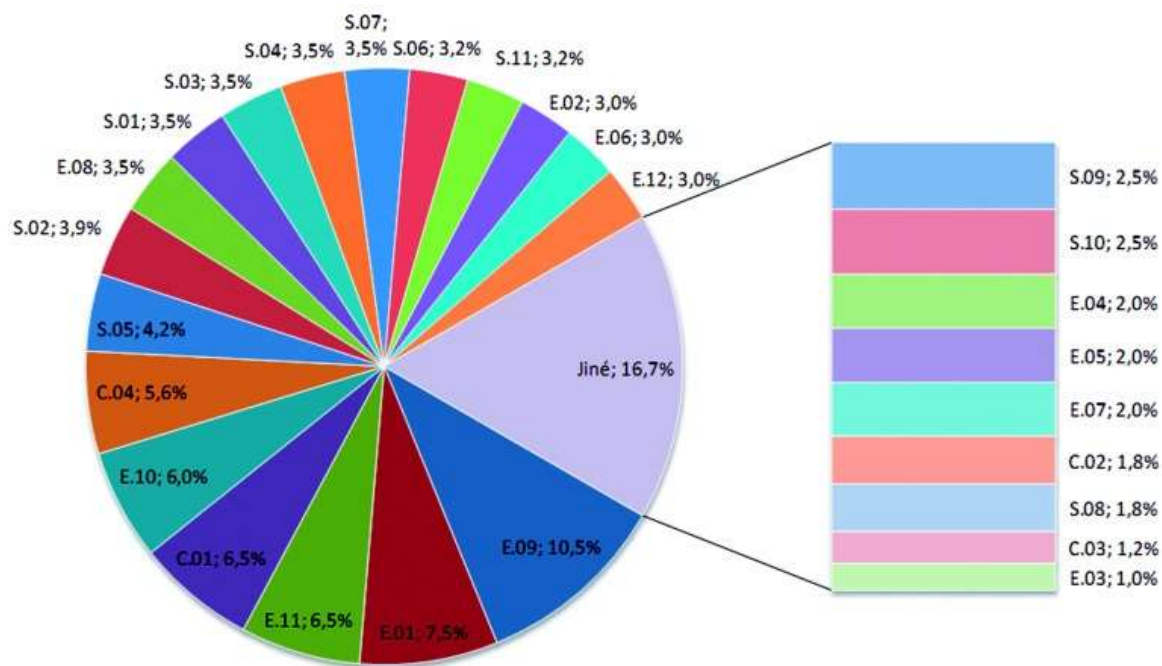
1. **Environmentální aspekty** (Potencionální globální oteplování, potencionální eutrofizace prostředí, potencionální okyselování prostředí, potencionální ničení ozonu, potencionální tvorby ozonu, využití zeleně na pozemku, spotřeba pitné vody, využití zeleně na střeších a fasádách, spotřeba primární energie z neobnovitelných zdrojů, použití konstrukčních materiálů při výstavbě, využití půdy a podíl dešťové vody zachycené na pozemku).
2. **Sociálně-kulturní aspekty** (Akustický komfort, vizuální komfort, tepelná pohoda v letním období, tepelná pohoda v zimním období, zdravotní nezávadnost materiálů, bezbariérový přístup, uživatelský komfort, flexibilita využití budovy, prostorová efektivita a využití exteriéru pro pobyt obyvatel).
3. **Ekonomika a management** (Analýza provozních nákladů, management tříděného odpadu, zajištění prováděcí a provozní dokumentace, autonomie provozu).

4. **Kvalita lokality** /Dostupnost veřejných míst pro relaxaci, biodiverzita, dostupnost služeb, dostupnost veřejné dopravy, bezpečnost budovy a okolí, živelná rizika).

Environmentální kritéria	E. 01	Potenciál globálního oteplování (GWP)
	E. 02	Potenciál okyselování prostředí (AP)
	E. 03	Potenciál eutrofizace prostředí (EP)
	E. 04	Potenciál ničení ozonu (ODP)
	E. 05	Potenciál tvorby ozonu (POCP)
	E. 06	Využití zeleně na pozemku
	E. 07	Využití zeleně na střeších a fasádách
	E. 08	Spotřeba pitné vody
	E. 09	Spotřeba primární energie z neobnovitelných zdrojů
	E. 10	Použití konstrukčních materiálů při výstavbě
	E. 11	Využití půdy
	E.12	Podíl dešťové vody zachycené na pozemku
Sociální kritéria, technická kvalita	S.01	Vizuální komfort
	S.02	Akustický komfort
	S.03	Tepelné pohoda v letním období
	S.04	Tepelné pohoda v zimním období
	S.05	Zdravotní nezávadnost materiálů
	S.06	Uživatelský komfort
	S.07	Bezbariérový přístup
	S.08	Zajištění zabezpečení budovy
	S.09	Flexibilita využití budovy
	S.10	Prostorová efektivita
	S.11	Využití exteriéru budovy pro pobyt obyvatel
Ekonomika a management	C.01	Analýza provozních nákladů
	C.02	Management tříděného odpadu
	C.03	Zajištění prováděcí a provozní dokumentace
	C.04	Autonomie provozu
Lokalita	L.01	Biodiverzita
	L.02	Dostupnost veřejných míst pro relaxaci
	L.03	Dostupnost služeb
	L.04	Dostupnost veřejné dopravy
	L.05	Bezpečnost budovy a okolí
	L.06	Živelná rizika

Obr. 20: Struktura kritérií pro hodnocení kvality budov podle [13]



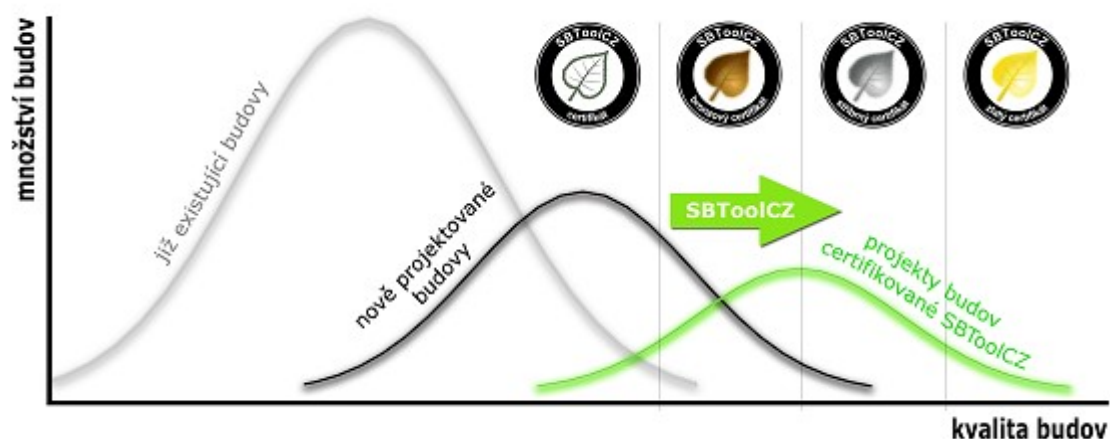


Obr. 21: Váhy kritérií pro hodnocení kvality budov [13]

Environmentální kritéria, která hodnotí spotřebu energie a emise, jsou hodnocena v souladu s principy LCA (Life Cycle Assessment, jedná se o hodnocení životního cyklu stavby). To znamená, že v algoritmu hodnocení se postihuje nejen provozní dopad stavby, ale i spotřeba energie při výrobě použitých materiálů a konstrukcí, ze kterých byla budova postavena. Pro výpočet emisí jsou použity emisní faktory, které jsou v souladu se Směrnicí rady 96/61/EC o integrované prevenci a omezování znečištění. Je tedy sledován úplný procesní řetězec příslušné technologie výroby tepla a energie. Díky tomuhle pojetí je poskytnuto úplné vyhodnocení environmentálních dopadů, nežli běžné a standardní výpočty emisí v energetických auditech.

V rámci tohoto hodnocení kvality budov jsou certifikáty kvality přiřazovány na základě dosažených bodů a to následujícím způsobem:

- budova certifikovaná (při obdržení 0 až 40 % bodů ze všech možných),
- bronzový certifikát kvality (40 – 60 %),
- stříbrný certifikát kvality (60 – 80 %),
- zlatý certifikát kvality (nad 80 %).



Obr. 22: Pozitivní dopad certifikační metody *SBToolCZ* na návrh budov [13]

### 10.6.1 Hodnocení kvality budovy zděné z keramických tvárníc

Hodnocení bylo prováděno pomocí kalkulačního programu *preSBToolCZ* pro předběžné hodnocení komplexní kvality budov metodikou *SBToolCZ*.

Konkrétní hodnoty a údaje dosazovány do programu:

Základní údaje o budově					
					vyplňuje se volí se výběrem
Zpracoval: Daniel Křenek					
vnitřní celková podlahová plocha budovy	199	m <sup>2</sup>			
Hlavní konstrukce budovy	keramické zdivo				
Převládající konstrukční systém	stěnový – rozpony do 6ti metrů				
Energetický standard budovy + použité tepelné izolace	pasivní/nulový dům + EPS/XPS				
Využití zeleně na fasádě	Fasáda neobsahuje prvky zeleně				
Jak bude řešen okolní pozemek patřící ke stavbě?	Většina pozemku je zatravněná, zpevněné plochy se vyskytují minimálně				
Realizace zelené střechy	Střecha neobsahuje prvky zeleně				
Spotřeba pitné vody (vody z vodovodního řadu)	Předpokládá se menší úspora pitné vody oproti standardním řešením				
Zavlažuje se venkovní zeleň vodou z vodovodního řadu?	ne				
Bude použita akumulační nádrž na dešťovou vodu?	ano				
Převládající číselník denní osvětlenosti	Parametr není hodnocen				
Obsahuje projekt výpočty letní stability?	ne				
Obsahuje projekt výpočty zimní stability?	ne				
Bezbariérový vstup je řešen	vstup je bez výškového rozdílu				
Jsou použity materiály s obsahem formaldehydu?	ano				
Dosahují byty/dům lepších akustických tříd?	akustika není blíže řešena				
Konstrukce příček	převážně demontovatelné				
Byly provedeny výpočty provozních nákladů na energii?	ano				
Je v domě nebo pozemku vybudováno sběrné místo pro odpad?	ano				
Kolik komodit lze třídit ve sběrném místě?	1				
Má budova záložní zdroj energie?	ne				

Obr. 23: Zobrazení konkrétních hodnot dosazených do programu *preSBToolCZ* pro zděnou variantu domu





V celkovém hodnocení budova z keramických tvárníc na základě předběžného hodnocení obdržela celkem 3,8 bodů. To odpovídá pouhému certifikátu kvality budovy (nejnižší možné ohodnocení).

## 10.6.2 Hodnocení kvality budovy z dřevěné konstrukce

Konkrétní hodnoty a údaje dosazovány do programu:

Základní údaje o budově					
					vyplňuje se
					volí se výběrem
Zpracoval: Daniel Křenek					
vnitřní celková podlahová plocha budovy	199	m <sup>2</sup>			Vstup do zadání spotřeb energií (PENB)
Hlavní konstrukce budovy	dřevostavba - OSB, dřevotřísky, aj.				
Převládající konstrukční systém	stěnový – rozpory do 6ti metrů				
Energetický standard budovy + použité tepelné izolace	pasivní/nulový dům + minerální vlákno				
Využití zeleně na fasádě	Fasáda neobsahuje prvky zeleně				
Jak bude řešen okolní pozemek patřící ke stavbě?	Většina pozemku je zatravněná, zpevněné plochy se vyskytují minimálně				
Realizace zelené střechy	Střecha neobsahuje prvky zeleně				
Spotřeba pitné vody (vody z vodovodního řadu)	Předpokládá se menší úspora pitné vody oproti standardním řešením				
Zavlažuje se venkovní zeleň vodou z vodovodního řadu?	ne				
Bude použita akumulární nádrž na dešťovou vodu?	ano				
Převládající činitel denní osvětlenosti	Parametr není hodnocen				
Obsahuje projekt výpočty letní stability?	ne				
Obsahuje projekt výpočty zimní stability?	ne				
Bezbariérový vstup je řešen	vstup je bez výškového rozdílu				
Jsou použity materiály s obsahem formaldehydu?	ano				
Dosahují byty/dům lepších akustických tříd?	akustika není blíže řešena				
Konstrukce příček	převážně demontovatelné				
Byly provedeny výpočty provozních nákladů na energii?	ano				
Je v domo nebo pozemku vybudováno sběrné místo pro odpad?	ano				
Kolik komodit lze třídít ve sběrném místě?	1				
Má budova záložní zdroj energie?	ne				

Obr. 27: Zobrazení konkrétních hodnot dosazených do programu *preSBToolCZ* pro variantu domu z dřevěné konstrukce



V celkovém hodnocení budova z dřevěné konstrukce na základě předběžného hodnocení obdržela celkem 4,3 bodů. To odpovídá bronzovému certifikátu kvality.

## 10.7 Vyhodnocení experimentální části

V rámci experimentální části diplomové práce byl proveden výpočet energetického štítku obálky budovy (EŠOB) na vybraném rodinném domě. Výpočet byl aplikován pouze na variantě rodinného domu zděného z keramických tvárnic, a to z důvodu, že konstrukce obálky budovy u varianty s dřevěnou konstrukcí má shodné součinitele prostupu tepla, a tak by výsledná průměrná hodnota součinitele prostupu tepla  $U_{em}$  byla stejná. Byla tedy zjištěna výsledná hodnota průměrného součinitele prostupu tepla  $U_{em} = 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , díky kterému je budova zařazena do klasifikační třídy B - úsporná.

Následně byl vypracován s podporou programu *Energetika* průkaz energetické náročnosti budovy (PENB). Z důvodu, že je u obou konstrukčně materiálových variant rodinného domu obdobné technické zařízení budovy a stejná hodnota průměrného součinitele prostupu tepla, byl proveden pouze jeden výpočet. Dle průkazu energetické náročnosti budovy byla vypočtena roční spotřeba energie 17,294 MWh. Dle této hodnoty byla budova zařazena do klasifikační třídy B – Velmi úsporná.

Dále byla pomocí programu *Stabilita* provedena simulace vedení tepla budovou na obou konstrukčně-materiálových variantách rodinného domu. Celková součtová energie na vytápění z výpočtu programem činila u varianty z keramických tvárnic 14,317 MWh/rok a u varianty rodinného domu z dřevěné konstrukce byla vypočtena hodnota 10,983 MWh/rok. Dle předpokladu vyšla nižší součtová energie na vytápění u varianty rodinného domu z dřevěné konstrukce. Je to především způsobeno rozdílnými fyzikálními vlastnostmi použitých konstrukčních materiálů u obou variant. Nicméně se dobře projevuje i „Těžká konstrukce“, která se projevovala pozitivně především v letním období, kde vykazovala větší teplotní stabilitu, menší kolísání teplot uvnitř objektu a především menší přehřívání vnitřního vzduchu.

Z porovnání výsledků lze vysledovat rozdíly mezi vypočtenou spotřebou energie pomocí průkazu energetické náročnosti budov a vypočtenou spotřebou energie na vytápění pomocí programu *Stabilita*. Rozdíly jsou především zapříčiněné tím, že průkaz energetické náročnosti budovy zahrnuje do roční spotřeby energie i energii spotřebovávanou na ohřev teplé vody, osvětlení a ostatní energie. Dále je třeba zmínit, že průkaz nezohledňuje tepelně akumulaci vlastnosti materiálů, které tvoří konstrukci budovy.

Závěrem experimentální části byly zhodnoceny obě konstrukčně materiálové varianty pomocí vícekritériálního systému hodnocení budov. Byla použita multikritériální metoda *SBToolCZ*,

kde 50 % hodnotících kritérií tvoří environmentální položky a zbytek je rozdělen mezi kritéria sociální, ekonomika, management a lokalitu. Varianta rodinného domu se zděnou konstrukcí obdržela v celkovém hodnocení 3,8 bodů a získala nejnižší ohodnocení certifikátu kvality budovy (standartní kvalita budovy). Rodinný dům z dřevěné konstrukce dle očekávání dosáhl vyššího ohodnocení, získal 4,3 bodů, a tím dosáhl na bronzový certifikát kvality budovy (dobrá kvalita budovy). Vyššího hodnocení bylo u varianty rodinného domu z dřevěné konstrukce dosaženo především díky použití konstrukčních materiálů z obnovitelných zdrojů energie.

## 11. Závěr

V teoretické části této diplomové práce je popsána historie a směr výstavby energeticky efektivních staveb. V následující kapitole jsou rozděleny a popsány jednotlivé druhy energeticky efektivních staveb. Dále je popsána technická legislativa zaměřená na energetickou náročnost staveb používaná v České republice a také ve státech Evropské unie. V kapitole 6 je uvedena stavebně energetická koncepce objektů s nízkou energetickou náročností. V posledních kapitolách teoretické části diplomové práce je přehled konstrukčních a izolačních materiálů včetně jejich fyzikálních vlastností používaných pro výstavbu objektů pro bydlení.

V praktické části diplomové práce je u vybraného rodinného domu ověřena energetická náročnost metodikami podle současné legislativy. Byl proveden výpočet energetického štítku obálky budovy (EŠOB) a průkaz energetické náročnosti budovy (PENB). Dle průkazu energetické náročnosti budovy byla zjištěna roční spotřeba energie 17,294 MWh, což znamená, že se jedná o nízkoenergetickou budovu. Jedním z hlavních cílů diplomové práce bylo posoudit účinnosti jednotlivých staviv na energetickou náročnost budovy. Jelikož průkaz energetické náročnosti budov nezohledňuje tepelně akumulaci vlastnosti staviv, byly provedeny simulace, na základě nestacionárního principu uspořádání tepelného systému objektu v programu *Stabilita*, pro dvě konstrukčně materiálové varianty rodinného domu. Z výpočtového grafu lze potvrdit, že nejnižší spotřeba energie pro vytápění během klimatického referenčního roku byla u rodinného domu s lehkou dřevěnou konstrukcí. U této varianty byla ovšem potvrzena nižší tepelná stabilita než u objektu se zděnou konstrukcí a díky tomu dochází u lehké konstrukce v zimním období k rychlému poklesu teplot a naopak v létě k přehřívání místností. Zděná konstrukce se dle očekávání projevovала lepší tepelnou stabilitou jak v letním tak i zimním období. Nevýhodou u této konstrukčně materiálové varianty je však vyšší spotřeba energie pro vytápění na požadovanou teplotu, což bylo dle simulace potvrzeno. Následně byly obě konstrukčně materiálové varianty ověřeny certifikačním nástrojem *SbToolCZ*, kde 50 % hodnotících kritérií tvoří environmentální položky a zbytek je rozdělen mezi kritéria sociální, ekonomická, management a lokalitu. Dle očekávání rodinný dům z dřevěné konstrukce dosáhl vyššího ohodnocení než dům ze zděné konstrukce.

Na závěr lze tedy shrnout, že pro výsledné energetické vlastnosti budovy nejsou klíčové pouze použité izolační a konstrukční materiály, ale celá řada faktorů jako správná volba pozemku, umístění budovy na pozemku, orientace budovy, dispozice budovy a využití sluneční energie. Dále je nutno zmínit, že v současné době se stavebníci neupínají zrak pouze na splnění požadavku na energetickou náročnost budovy, ale začíná se klást důraz, zda jsou materiály použité při výstavbě z obnovitelných či neobnovitelných zdrojů surovin.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HUDEC, Mojmir. Pasivní rodinný dům: proč a jak stavět. Praha: Grada, 2008. Profi & hobby. ISBN 978-80-247-2555-0.
- [2] VODIČKOVÁ, Erika. Vše o nízkoenergetickém domě. Bratislava: Jaga, 2009, 183 s. : barev. il. ; 28 cm. ISBN Brož.ČSN 73 0540–2. Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky. Praha: Český normalizační institut, 2011.
- [3] ČSN 73 0540–2. Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky. Praha: Český normalizační institut, 2011.
- [4] TYWONIAK, Jan. Nízkoenergetické domy: principy a příklady. Praha: Grada, 2005. Stavitel. ISBN 80-247-1101-X.
- [5] TYWONIAK, Jan. Nízkoenergetické domy 2: principy a příklady. Praha: Grada, 2008. Stavitel. ISBN 978-80-247-2061-6.
- [6] TYWONIAK, Jan. Nízkoenergetické domy 3: nulové, pasivní a další. Praha: Grada, 2012. Stavitel. ISBN 978-80-247-3832-1.
- [7] ZÁKON 406/2000 Sb. ,o hospodaření energií. Účinnost od 1.1.2001
- [8] Z ČEHO POSTAVIT PASIVNÍ DŮM? VHODNÉ MASIVNÍ KONSTRUKCE. Pasivnidomy [online]. 11. června 2015 [cit. 2018-01-05]. Dostupné z: <http://www.pasivnidomy.cz/z-ceho-postavit-pasivni-dum-vhodne-masivni-konstrukce/t4239?s=1>
- [9] VAVERKA, Jiří a Vladan PANOVEC. Pasivní domy III.: Pravidla navrhování, koncepční přístup k řešení pasivních domů. Archiweb.cz [online]. 1997, 11. duben 2006 [cit. 2018-01-05]. Dostupné z: <https://www.archiweb.cz/salon.php?type=10&action=show&id=1204>
- [10] Produkty. Porotherm - Wienerberger cihlářský průmysl, a.s. [online]. Copyright © [cit. 5.03.2017]. Dostupné z: <http://wienerberger.cz/produkty>
- [11] ELIÁŠ, Filip. Výpočtové posuzování energetické náročnosti budovy jako tepelného systému [online]. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební, 2016 [cit. 2018-01-05]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/62690>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce Stanislav Šťastník.

- [12] HELUZ – cihly, překlady, komíny, stropní systémy pro stavbu rodinného domu [online]. Copyright © 2016, HELUZ cihlářský průmysl v.o.s. [cit. 5.03.2017]. Dostupné z: <http://www.heluz.cz/>
- [13] TYWONIAK, Jan. Metodika hodnocení nízkoenergetických rodinných domů. In: TZB-info [online]. 22. září 2008 [cit. 2018-01-05]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/nizkoenergeticke-stavby/5088-metodika-hodnoceni-nizkoenergetickych-rodinnych-domu>
- [14] Metodika SBToolCZ: Kritéria-bytové domy. In: SBToolCZ [online]. [cit. 2018-01-05]. Dostupné z: <http://www.sbtool.cz/cs/metodika>
- [15] SLEZÁKOVÁ, Eva. Environmentální a energetické hodnocení dřevostaveb v pasivním standardu. Brno, 2011. Diplomová práce. Masarykova Univerzita, Fakulta sociálních studií. Vedoucí práce Jindřiška Svobodová.
- [16] HALAHYJA, Martin. Stavebná tepelná technika, akustika a osvetlenie. Brno: Alfa, 1985, 148 s.
- [17] DAVIES, Morris Grenfell. Building heat transfer. Hoboken, NJ, c2004. ISBN 04-708-4731-X.
- [18] BÁRTA, Jan a Juraj HAZUCHA. Pasivní domy 2007. Brno: Centrum pasivního domu, 2007, 339 s. : il. ISBN 978-80-254-0126-2.
- [19] HUMM, Othmar. Nízkoenergetické domy. Praha: Grada, 1999, 353 s. : il. ISBN 80-7169-657-9.
- [20] HARTMAN, František. Výpočet energetické náročnosti budovy [online]. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební, 2015 [cit. 2018-01-05]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/42017>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav technických zařízení budov. Vedoucí práce Jiří Hirš.
- [21] DUS, Tomáš. Studium vlivu konstrukčních systémů na energetickou náročnost staveb [online]. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební, 2015 [cit. 2018-01-05]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/37505>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce Stanislav Šťastník.
- [22] ŠÁLA, Jiří. Tepelná ochrana budov: komentář k ČSN 73 0540. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2008, 290 s.; 25 cm. ISBN 978-80-87093-30-6.

- [23] EPBD II. EkoWATT [online]. Praha: TOOLKIT - Econnect, 2011 [cit. 2018-01-05]. Dostupné z: <http://ekowatt.cz/cz/EPBD-II-Energy-performance-building-directive-II>
- [24] KISS, Bernadett. Exploring transaction costs in passive house-oriented retrofitting. Journal of Cleaner Production [online]. Elsevier, 2016, 123, 65-76 [cit. 2018-01-07]. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.09.035. ISSN 0959-6526.
- [25] MÜLLER, Liana a Thomas BERKER. Passive House at the crossroads: The past and the present of a voluntary standard that managed to bridge the energy efficiency gap. Energy Policy [online]. Elsevier, 2013, 60, 586-593 [cit. 2018-01-07]. DOI: 10.1016/j.enpol.2013.05.057. ISSN 0301-4215.
- [26] DEKPARTNER: Stavební fyzika [online]. [cit. 2018-01-08]. Dostupné z: <https://deksoft.eu/codek/?rozcestnik>
- [27] ŠOT, Petr. Studium účinnosti novodobých tepelných izolací pro stavby. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební, 2012.
- [28] ČSN EN ISO 9972 (73 0577) Tepelné chování budov. Stanovení průvzdušnosti budov. Tlaková metoda. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017, 31 stran.
- [29] SVOBODA, Martin. Studium vlivu materiálových vlastností použitých staviv a konstrukčních systémů na tepelné chování budov. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební, 2016.



## SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Charakteristika budov s odlišnou potřebou tepla na vytápění [3].....	14
Tab. 2: Přehled položek energetické bilance objektu .....	21
Tab. 3: Doporučené hodnoty celkové intenzity výměny vzduchu [6].....	27
Tab. 4: Přehled vybraných vlastností tepelně izolačních materiálů z obnovitelných zdrojů...	33
Tab. 5: Druhy tepelných izolací a jejich fyzikální vlastnosti .....	34
Tab. 6: Geometrické charakteristiky posuzované budovy .....	49
Tab. 7: Návrhové teploty.....	49
Tab. 8 Normové hodnoty součinitele prostupu tepla $U_N$ podle [3] .....	50
Tab. 9: Hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla $U_{em,N}$ [3] .....	52
Tab. 10: Klasifikační třídy prostupu tepla obálkou budovy dle [3] .....	52
Tab. 11: Stanovení hodnot energetického štítku obálky budovy.....	53
Tab. 12: Technické systémy pro vytápění.....	56
Tab. 13: Technické systémy pro větrání .....	56
Tab. 14: Technické systémy pro osvětlení .....	57
Tab. 15: Technické systémy pro přípravu teplé vody .....	57
Tab. 16: Rozdělení dílčích dodaných energií, celkové primární energie a neobnovitelné primární energie podle energonositelů.....	57
Tab. 17: Požadavky na celkovou dodanou energii.....	58
Tab. 18: Požadavky na neobnovitelnou primární energii.....	58
Tab. 19: Primární energie hodnocené budovy .....	58
Tab. 20: Přehled požadovaných kritérií na teplotní stav jednotlivých místností ve sledovaném objektu.....	66

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Typické hodnoty součinitele prostupu tepla $U$ nízkoenergetického a pasivního domu (NED – Nízkoenergetický dům, PD – Pasivní dům) [8].....	15
Obr. 2: Základní vlastnosti pasivních budov [3].....	16
Obr. 3: Schéma pasivního, resp. nízkoenergetického domu s možnými tepelnými zisky [1].	22
Obr. 4: Grafické znázornění tepelné ztráty budovy (v %) a teplota okolního vzduchu v závislosti na jejím umístění v terénu [9].....	22
Obr. 5 Vzhled keramické tvarovky Porotherm a Heluz [10,11] .....	29
Obr. 6: Půdorys 1. NP rodinného domu .....	43
Obr. 7: Půdorys 2. NP rodinného domu .....	44
Obr. 8: Pohledy východní a západní .....	45
Obr. 9: Pohledy severní a jižní .....	46
Obr. 10: Řez objektu A-A' a B-B'.....	47
Obr. 11: Schéma umístění systémové hranice budovy [12] .....	48
Obr. 12 Grafické znázornění energetické štítky obálky posuzované budovy s podporou programu <i>Energetika</i> .....	54
Obr. 13: Grafické znázornění tepelných ztrát budovy pomocí programu <i>Energetika</i> .....	55
Obr. 14: Grafické znázornění průkaz energetické náročnosti posuzované budovy pomocí programu <i>Energetika</i> první část .....	59
Obr. 15: Grafické znázornění průkaz energetické náročnosti budovy pomocí programu <i>Energetika</i> druhá část.....	60
Obr. 16: Grafický výstup průběhu vnitřních teplot, spotřeby energie a průběh součtové spotřeby energie 1. NP domu zděného z keramických tvárníc .....	61
Obr. 17: Grafický výstup průběhu vnitřních teplot, spotřeby energie a průběh součtové spotřeby energie 2. NP domu zděného z keramických tvárníc .....	62
Obr. 18: Grafický výstup průběhu vnitřních teplot, spotřeby energie a průběh součtové spotřeby energie 1. NP domu na bázi dřevěné konstrukce .....	63
Obr. 19: Grafický výstup průběhu vnitřních teplot, spotřeby energie a průběh součtové spotřeby energie 2. NP domu na bázi dřevěné konstrukce .....	64
Obr. 20: Struktura kritérií pro hodnocení kvality budov podle [13] .....	68
Obr. 21: Váhy kritérií pro hodnocení kvality budov [13] .....	69
Obr. 22: Pozitivní dopad certifikační metody <i>SBTool/CZ</i> na návrh budov [13].....	70
Obr. 23: Zobrazení konkrétních hodnot dosažených do programu <i>preSBTool/CZ</i> pro zděnou variantu domu.....	70
Obr. 24: Zobrazení konkrétních hodnot spotřeby energií dosažených do programu <i>preSBTool/CZ</i> pro variantu domu zděnou.....	71

Obr. 25: Zobrazení předběžných výsledků ze zjednodušeného hodnocení budovy zděné metodikou <i>SBToolCZ</i> .....	71
Obr. 26: Grafické znázornění výsledného hodnocení varianty budovy ze zděné konstrukce	71
Obr. 27: Zobrazení konkrétních hodnot dosažených do programu <i>preSBToolCZ</i> pro variantu domu z dřevěné konstrukce.....	72
Obr. 28: Zobrazení konkrétních hodnot spotřeby energií dosažených do programu <i>preSBToolCZ</i> pro variantu domu z dřevěné konstrukce.....	73
Obr. 29: Zobrazení předběžných výsledků ze zjednodušeného hodnocení budovy z dřevěné konstrukce metodikou <i>SBToolCZ</i> .....	73
Obr. 30: Grafické znázornění výsledného hodnocení varianty budovy z dřevěné konstrukce .....	73

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1: Seznam zkratk

ČR Česká republika

EPBD (anglicky: Energy Performance Building Directory) je Směrnice Evropského parlamentu a Rady

ÚNMZ Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví

TNI Technická normalizační informace

ČSN Označení českých technických norem

EN Evropská norma

ISO Mezinárodní organizace pro normalizaci

ETICS (anglicky: External Thermal Insulation Composite Systems) je vnější kontaktní zateplovací systém

EPS-F Pěnový polystyrén

CLT Stěnové panely na bázi křížem vrstveného masivního dřeva

LCA (anglicky: Life Cycle Assessment) je metoda posuzování životního cyklu produktu nebo služby z hlediska jeho působení na životní prostředí.

PUR Polyuretanová pěna

XPS Extrudovaný polystyren

CFC Zkratka pro chlor-fluorované uhlovodíky

NP Nadzemní podlaží

BPV Označuje výškový systém používaný v České republice

RD Rodinný dům

EU Evropská unie

USA Spojené státy americké