

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

Technická fakulta

Katedra mechaniky a strojnictví

**Posouzení vlivu tepelných izolací na energetickou  
náročnost budov**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: prof. Ing. Radomír Adamovský DrSc.

Autor práce: Stanislav Zdeněk

PRAHA 2016

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Stanislav Zdeněk

Technologická zařízení staveb

Název práce

Posouzení vlivu tepelných izolací na energetickou náročnost budov

Název anglicky

Assessment of the impact of thermal insulation on the energy performance of buildings

---

Cíle práce

Cílem práce je analyzovat vliv druhu tepelných izolací neprůsvitných obvodových stavebních konstrukcí, oken a dveří na spotřebu energie pro vytápění. Dále pak ekonomické vyhodnocení použití vybraných tepelných izolací z hlediska investičních a provozních nákladů na vytápění.

Metodika

1. Rešerše o současném stavu řešení problematiky v ČR a v zahraničí.
2. Výpočet celkové návrhové ztráty vytápěných prostorů při použití vybraných typů tepelných izolací, oken a dveří.
3. Analýza poznatků z rešerše a výpočtů z hlediska spotřeby energie a nákladů na provoz zdroje.

Diskuse a závěr.

**Doporučený rozsah práce**

40 stran

**Klíčová slova**

stavební konstrukce; stavební materiál; tepelné izolace; součinitel tepelné vodivosti; tepelný odpor; součinitel prostupu tepla; energetická náročnost budov

---

**Doporučené zdroje informací**

ČSN EN 12831. Tepelné soustavy v budovách – Výpočet tepelného výkonu. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005. 76 s. Třídící znak 060206.

Inflow: tzbinfo-stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov [online časopis]. 2010 – 2014.

Dostupné z <http://www.tzb-info.cz/>. ISSN 1801-4399

KOLÁŘ, Jan a Pavel REITERMAN. Stavební materiály pro SPŠ stavební. Praha: Grada Publishing, a.s., 2002. ISBN 978-80-247-4070-6.

KOLEKTIV. Topenářská příručka. Svazek 1. Praha: GAS s.r.o., 2001. ISBN 80-86176-82-7.

KOLEKTIV. Topenářská příručka. Svazek 3. Praha: Agentura ČSTZ s.r.o., 2007. ISBN 978-80-86028-13-2.

ŘEHÁNEK, Jaroslav a kolektiv. Tepelně technické a energetické vlastnosti budov. Grada Publishing, a.s., 2012. ISBN 80-7169-582-3.

Vytápění větrání instalace. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2000 – 2015. ISSN 1801-4399

---

**Předběžný termín obhajoby**

2015/16 LS – TF

**Vedoucí práce**

prof. Ing. Radomír Adamovský, DrSc.

**Garantující pracoviště**

Katedra mechaniky a strojnictví

---

Elektronicky schváleno dne 18. 2. 2015

doc. Ing. Pavel Neuberger, Ph.D.

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 27. 4. 2015

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 02. 02. 2016

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci na téma: „Posouzení vlivu tepelných izolací na energetickou náročnost budov“, vypracoval samostatně pod vedením prof. Ing. Radomíra Adamovského DrSc. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Praze dne .....

.....

Stanislav Zdeněk

### **Poděkování**

Za drahocenné rady a strávený čas nad konzultací bakalářské práce bych rád poděkoval svému vedoucímu práce panu prof. Ing. Radomíru Adamovskému DrSc.

Za IT rady u výpočtu tepelných ztrát a tvorbu energetických štítků bych rád poděkoval kolegovi Honzovi Vytiskovi.

Za psychickou podporu a vaření kávy bych rád poděkoval celé své rodině a přátelům.

## Abstrakt

Bakalářská práce navrhuje tři varianty zateplení rodinného domu o zastavěné ploše 148 m<sup>2</sup>. V teoretické části práce jsou analyzovány různé možnosti použití tepelných izolací s důkladným popisem jejich technických vlastností.

V praktické části bakalářské práce jsou tyto varianty zateplení rodinného domu seřazeny od nejlevnější varianty s velkou energetickou náročností po variantu s vyšší počáteční investicí ale s minimální energetickou náročností. Jednotlivé varianty jsou porovnány na základě několika parametrů. První část výpočtu řeší komplexní posouzení skladby stavební konstrukce z hlediska šíření tepla. Druhá část výpočtu se věnuje analýze energetické náročnosti a průměrného prostupu tepla u jednotlivého typu zateplení.

Cílem této práce je posouzení vyšší počáteční investice do zateplení z důvodu snížení tepelných ztrát budovy, což by šlo k brzké návratnosti počátečních nákladů.

**Klíčová slova:** Součinitel prostupu tepla konstrukce, tepelný odpor konstrukce, tepelné ztráty, energetická náročnost, zateplení

## Summary

There are designed three types of thermal insulation of family house which covered 148 m<sup>2</sup>. Different possibilities of thermal insulation usage and technical specifications are analysed in the theoretical part of the thesis.

The options with the different type of thermal insulation are put in following order. The cheapest one with low energy efficiency is the first option and the building with higher initial costs and high level of the energy efficiency is last option.

Every option of building insulation is compared on the basis of few parameters. The first calculation deals with complex analysis of the construction influenced by heat transfer. The second part of calculation specifies the analysis of Energy Performance of the designed building and thermal transmittance for each defined type of thermal insulation of the designed buildings.

The goal of this bachelor thesis is to consider the higher initial costs invested to the thermal insulation due to lower operating costs, which helps sooner recovery of investment.

**Key words:** thermal transmittance, thermal resistance, heat loss, energy performance, thermal insulation

## Obsah

1	Úvod .....	1
1.1	Motivace práce.....	1
1.2	Cíle práce.....	2
2	Současný stav řešení problematiky energetické náročnosti budov .....	3
2.1	Materiály a technologie .....	3
2.2	Budoucnost zateplení objektů v ČR.....	11
2.3	Moderní trendy v oblasti tepelných izolací .....	12
3	Materiál a metody.....	14
3.1	Aplikované fyzikální veličiny.....	14
3.1.1	Šíření tepla.....	14
3.1.2	Tepelný odpor .....	15
3.2	Výpočetní programy Teplo a Energie .....	17
3.3	Stavebně technický popis řešeného rodinného domu .....	18
3.4	Specifikace jednotlivých skladeb konstrukcí rodinných domů Alfa, Beta, Gama	19
3.4.1	Specifikace rodinného domu Alfa.....	20
3.4.2	Specifikace rodinného domu Beta .....	22
3.4.3	Specifikace rodinného domu Gama .....	25
3.5	Výpočet tepelného odporu konstrukce R a součinitele prostupu tepla konstrukce U pro zateplení rodinného domu .....	27
3.5.1	Popis zadávání hodnot do výpočetního programu Teplo .....	27
3.6	Výpočet energetické náročnosti budov a průměrného součinitele prostupu tepla	28



3.6.1	Popis zadávaných hodnot do výpočetního programu Energie.....	28
4	Výsledky .....	29
4.1	Cenové srovnání počáteční investice jednotlivých materiálů.....	29
4.2	Cenového srovnání počáteční investice pro typy zateplení RD .....	30
4.3	Kompletní shrnutí výpočtu tepelného odporu a prostupu tepla.....	32
4.4	Analýza energetické náročnosti a průměrného prostupu tepla u jednotlivého typu zateplení.....	32
4.5	Cenové srovnání dodané energie na vytápění .....	35
4.6	Návratnost počáteční investice do zateplení.....	37
5	Závěr a zhodnocení výsledků.....	38
6	Seznam použité literatury.....	40
7	Seznam tabulek.....	43
8	Seznam obrázků .....	44

# 1 Úvod

## 1.1 Motivace práce

Snaha zůstat v teple je v lidech odpradávná. V první části rešerše své bakalářské práce jsem se věnoval historii a vývoji tepelných izolací. Portfolio výrobků vhodných pro tepelné izolace je široké a vývoj pokračuje dynamicky. V kapitole 2.2. je stručný přehled nejčastěji používaných materiálů, které jsou dostupné na českém i zahraničním trhu.

Pro zjištění nutných nákladů na vytápění rodinného domu je třeba znát principy fungování tepelných ztrát obálky budovy v závislosti na použitých materiálech a jejich vlastnostech. V další části rešerše jsou vysvětleny základní matematicko-fyzikální veličiny a vzorce nutné pro výpočet prostupu tepla a energetické náročnosti budovy.

Na základě doporučení jsem se rozhodl zpracovat svou bakalářskou práci v programu Teplo a Energie. Program je uživatelsky přátelský a po prvním seznámení s jednotlivými funkcemi snadno ovladatelný a přehledný. Obzvláště kladně hodnotím možnost vygenerování průkazu energetické náročnosti budovy pro řešený objekt.

Trend moderní doby usiluje o efektivní a hospodárný způsob nakládání s energiemi a to nejen kvůli šetrnému přístupu k životnímu prostředí, ale i kvůli snaze minimalizovat náklady na provoz budov. Na základě této myšlenky jsem vyhodnotil tři typy zateplení rodinného domu a spočítal návratnost počáteční investice do zateplení. Jinými slovy, lze investovat do velmi kvalitní a drahé izolace s myšlenkou na vrácení investovaných peněz v úsporách za vytápění, nebo zvolit levnou a dostupnou variantu zateplení s pozdějšími vyššími provozními náklady. Správná odpověď není tak jednoznačná, jak by se mohlo zdát. V praktické části své bakalářské práce se věnuji výpočtu energetických ztrát navrženého rodinného domu (projektová dokumentace přílohou). Na základě ekonomického porovnání jednotlivých možností najdu nejúspěšnější variantu z hlediska počátečních nákladů a následné návratnosti investice v podobě ušetřených energií potřebných k vytápění. Bakalářská práce může sloužit jako vodítko pro koncept energeticky úsporného domu a názorně ukáže stavebníkovi, kam investuje svoje peníze.

## **1.2 Cíle práce**

1. Analýza problematiky zateplení budov v návaznosti na výpočet energetické náročnosti budovy a použití příslušného software.
2. Zpracování projektové dokumentace v úrovni pro stavební povolení pro rodinný dům a návrh koncepce tří typů izolací tohoto domu (typ Alfa, Beta, Gama).
3. Stanovení energetické náročnosti budovy, které se skládá z následujících kroků:
  - a) Specifikace skladby stěn, podlahy, stropu, oken
  - b) Výpočet tepelného odporu konstrukce R a součinitele prostupu tepla U
  - c) Výpočet energetické náročnosti budov pro vytápění.
4. Finanční analýza.

## 2 Současný stav řešení problematiky energetické náročnosti budov

*„Od pradávna žili lidé v souladu s přírodou a ke stavbě svých obydlí využívali materiály, které jim příroda poskytla. Dřevo, sláma, zemina. Postupem času, díky průmyslové revoluci, rozvíjejícím se možnostem, technologiím a inovacím výstavby domů, se životní styl začal měnit a lidé začali být čím dál více náročnější. Namísto souladu s přírodou začali upřednostňovat komfort a bydlení ve městech, ačkoli to sebou nese i řadu záporů, jako ztrátu soukromí, život v kontaktu s přírodou, zvýšené čerpání přírodních zdrojů – energie, voda a v neposlední řadě zvýšené měsíční náklady na spotřebu energie.“ [1]*

### 2.1 Materiály a technologie

Mezi důležité stavební materiály patří tepelná izolace, která zajišťuje v budovách tepelnou pohodu. U izolačních materiálů je důležitou technickou vlastností nízký součinitel tepelné vodivosti. Důvodem používání tepelné izolace je snaha zabránit úniku tepla prostupem obálkou budovy. V letním období má tepelná izolace opačnou funkci a to zabránit přehřívání budovy.

#### Základní rozdělení:

Pěnové materiály:

- a) Pěnový polystyren, EPS
- b) Extrudovaný polystyren
- c) Pěnový polyuretan PUR a polyizokyanurát PIR
- d) Pěnové sklo

Vakuová izolace

Nerostné materiály

- a) Minerální vlna

Přírodní materiály:

- a) Konopí
- b) Celulóza
- c) Sláma

## Pěnové materiály

*„Mezi pěnové tepelně–izolační materiály patří polymerní pěny – polystyreny, polyuretany, PVC, PE, kaučuk, dále pěnové sklo či pryskyřice. Asi nejběžnějším materiálem je expandovaný (pěnový) po-lystyren (EPS).” [2]*

### a) Pěnový polystyren, EPS

Základní expandovaný polystyren jsem použil na zateplení rodinného domu typu Alfa.

*„Jde o produkt polymerace styrenu, který je následně zpěňován a nařezán do bloků, nezbytné je přidání retardérů hoření pro zajištění samozhášivosti materiálu. Součinitel tepelné vodivosti expandovaného polystyrenu se pro typ EPS 100 pohybuje od  $\lambda = 0,037 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ . Číslo typu značí pevnost v tlaku v kPa, EPS se vyrábí v hodnotách 50 až 250 kPa. Při aplikaci se kotví buď pouze lepením, nebo lepením a mechanicky. Vhodné je použít více vrstev kladených na vazbu pro eliminaci liniových tepelných mostů na styku s konstrukcí. Polystyren je možné použít i jako kročejovou izolaci, nelze ho však dlouhodobě vystavit vlhku. Mezi výhody patří nízká cena.”[2]*

Nejnovější typ expandovaného polystyrenu je šedý polystyren. Šedý polystyren je nejen vzhledově odlišný ale i jeho technické vlastnosti jsou rozdílné. Zateplení rodinného domu Beta je navrženo především právě z šedého polystyrenu GreyWall.

*„Zatím nejnovějším typem EPS je šedý polystyrén Neopor, další značky téhož materiálu jsou NeoFloor, GreyWall nebo Lambdapor<sup>®</sup>. Jde o novou generaci EPS, která se od běžného expandovaného polystyrenu liší nejen vzhledem, ale především tepelně–izolačními vlastnostmi. Šedý pěnový polystyrén s objemovou hmotností  $15 \text{ kg/m}^3$  má součinitel tepelné vodivosti  $0,032 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ . Při srovnatelné tloušťce má o 15–20 % lepší izolační účinek. Pro příklad – abychom této hodnoty dosáhli u klasické varianty EPS, potřebovali bychom materiál s objemovou hmotností alespoň  $32 \text{ kg/m}^3$ . Výborných vlastností bylo dosaženo přidávkem uhlíkových nanočástic do polystyrenu před vypěněním, které způsobily šedé zbarvení, ale hlavně omezily sálavou složku šíření tepla pěnou a tím vedly k lepší hodnotě součinitele tepelné vodivosti.”[2]*



Obrázek 1: Šedý polystyrén Neopor[3]

b) Extrudovaný polystyren

Extrudovaný polystyren má vysokou pevnost a jeho prioritní vlastnost je nenasákavost, proto se využívá na izolaci spodní stavby například soklu.

*„Tento druh polystyrenu, značený také XPS, je dodáván nejčastěji ve formě desek s polodrážkou nebo hranou, využíván je zejména pro izolaci soklu, dále při izolování základových desek nebo ve skladbě střech s obráceným pořadím vrstev. Nejznámější obchodní názvy tohoto materiálu jsou Styrodur, Styrofoam nebo FibranECO aj. Materiál má uzavřené póry, je proto nenasákavý a lze ho použít ve vlhkém prostředí, kde působí jako tepelná izolace, a také jako účinná součást hydroizolace. Je velmi pevný, na druhé straně je nutné ho chránit před UV zářením. Důležitou součástí jsou i v tomto případě zpomalovače hoření.“ [2]*



Obrázek 2: Styrodur[4]

c) Pěnový polyuretan PUR a polyizokyanurát PIR

Izolační pěnové desky PUR a PIR jsou velkým pokrokem v pěnových izolacích. Cena izolace je velmi vysoká, ale technické vlastnosti desek jsou o třetinu lepší než u předchozí pěnové izolace. Desky byly použity na zateplení rodinného domu typu Gama

Informace o PUR a PIR jsem čerpal z odborných webových stránek (viz. zdroj č.:2), které uvádí následující informace.

*„Nejznámější je takzvaný molitan, ale ve stavebnictví se používá spíše tvrdá polyuretanová pěna s názvem PUR, nověji také polyizokyanurátová pěna PIR. Jedná se o vysoce účinnou tepelnou izolaci s velmi nízkým součinitelem tepelné vodivosti, který dosahuje hodnoty až  $\lambda = 0,023 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ . Jde o vynikající hodnotu, za níž stojí podstatné omezení sálavé, tedy infračervené složky šíření tepla pěnou, velmi jemná struktura pórů a vysoká hustota přestupových rozhraní mezi tuhou fází PUR/PIR a vzduchem, přes které se děje difúzní (tzn. nesálavý) prostup tepla. Materiál v konkrétních aplikacích bývá opatřen Al-fólií.“ [2]*



**Obrázek 3: Tepelná izolace PIR[5]**

d) Pěnové sklo

Další zajímavostí na trhu v oblasti tepelných izolací je pěnové sklo. Využití této technologie se nachází opět v izolování spodní stavby. Dalším z benefitů pěnového skla je využití recyklátu při jeho výrobě.

*„Unikátní vlastnosti nabízí pěnové sklo známé ponejvíce pod značnou FOAMGLAS. Vyrábí se ze speciálního hlinitosilikátového skla, rozemletého na prášek a smíchaného s velmi jemným uhlíkovým prachem....*

*Nový materiál obsahuje drobné uzavřené bublinky, díky této struktuře je hmota zcela nehořlavá a parotěsná. Foamglas se využívá především v energeticky úsporných či pasivních domech pro izolaci spodní stavby a pro přerušení tepelného mostu, například u paty nosných stěn. Další aplikací jsou izolace podlah nebo pojízdných a pochozích střech s velmi vysokým tlakovým namáháním v průmyslových provozech, občanských stavbách, obchodních domech ap. Širokému použití brání vysoká cena. Součinitel tepelné vodivosti pěnového skla je 0,04 až 0,048 W/(m·K).“[2]*



**Obrázek 4: Pěnové sklo [6]**

## **Vakuová izolace**

Tato technologie vyniká extrémně dobrými izolačními vlastnostmi. Pro dobrý výsledek stačí použít minimální tloušťku izolace. Nevýhodou je však složitá výroba a v souvislosti s tím vysoká pořizovací cena. Z tohoto důvodu se vakuová izolace používá minimálně. Ani já jsem během zpracovávání své bakalářské práce tuto technologii nevyužil. O vakuové izolaci podrobně hovoří odborné zdroje, z nichž cituji.

*„Princip této izolace je zdánlivě jednoduchý. Ve většině tepelných izolací se na celkovém prostupu tepla totiž významně podílí vzduch. Materiál sám, tzn. tuhá část pěny nebo minerální či rostlinná vlákna, je dobrou tepelnou izolací, ale v kombinaci se vzduchem, který zaujímá většinu objemu izolace, jsou hodnoty vodivosti nakonec blízké vzduchu – přibližně 0,03 W/(m·K). Mnohem lepších hodnot lze docílit, jestliže je z*





**Obrázek 5: Vakuový izolační panel [2]**

*izolačního materiálu odčerpán vzduch, čímž je potlačen dominantní vliv tepelné vodivosti plynu. Výrobci docilují až 99,999999 % vakua a tím tepelného odporu  $250 \text{ m}^2\text{K/W}$  pro libovolnou tloušťku. Panel vakuové izolace lze zjednodušeně připodobnit k pytlíku mleté vakuované kávy.*

*Vakuové izolační panely (označované zkratkou VIP) však obsahují jako výplň místo kávy tuhou síťovou strukturu složenou z klastrů (shluků) částic oxidu křemičitého ( $\text{SiO}_2$ ) nanometrických rozměrů viz obr. 5. Tato prostorová, velmi jemná síť je také známá pod názvem Aerogel. Další důležitou součástí VIP je vzduchotěsný a mechanicky tuhý obal, který umožní úplné a trvalé odčerpání vzduchu z výplně  $\text{SiO}_2$  bezporuchovou manipulaci s panely při výstavbě. Panely VIP se vyrábějí v rozměrech stavebních izolačních desek, jejich tloušťka je malá, od 2 do 8 cm. Dosahují součinitele tepelné vodivosti od  $\lambda = 0,004 \text{ W/(m.K)}$ , což je desetina návrhové hodnoty běžných izolací.”[2]*

## **Nerostné materiály**

### **a) Minerální vlna**

Minerální vlna je ve stavebnictví velmi často používaný materiál. Technologie, její výhody a nevýhody a možnosti použití jsou popsány v následující citaci.

*„Poměr ceny, vlastností a výsledného efektu řadí minerální vlnu mezi nejpoužívanější tepelné izolace. Vyrábí se tavením hornin, nejčastěji jde o čedič nebo křemen, podle výchozích surovin se pak jedná o kamennou či skelnou vlnu....*

Významnou předností minerálních tepelných izolací je i nízký difúzní odpor, a tím vysoká paropropustnost, dům může dýchat, což konkrétně znamená, že se zejména případná zkondenzovaná vlhkost v obvodové zdi může odpařovat ven. Díky této vlastnosti se minerální vlna často úspěšně používá v difúzně otevřených konstrukcích nebo u dvouplášťových střech. Součinitel tepelné vodivosti tohoto materiálu je od 0,035 W/(m.K). “[2]



Obrázek 6: Minerální vlna [2]

## Přírodní materiály

Přírodní materiály tvoří nedílnou součást kapitoly materiály a technologie. V praktické části jsem tuto technologii nevyužil, proto jsem se s ní seznámil pouze v krátkosti.

### a) Konopí

*„Konopí patří mezi velmi využívané technické rostliny. Jeho největší předností je rychlá obnovitelnost – roste mnohem rychleji, než dřevo, navíc nevyžaduje žádnou velkou péči ani ošetřování chemickými látkami....*

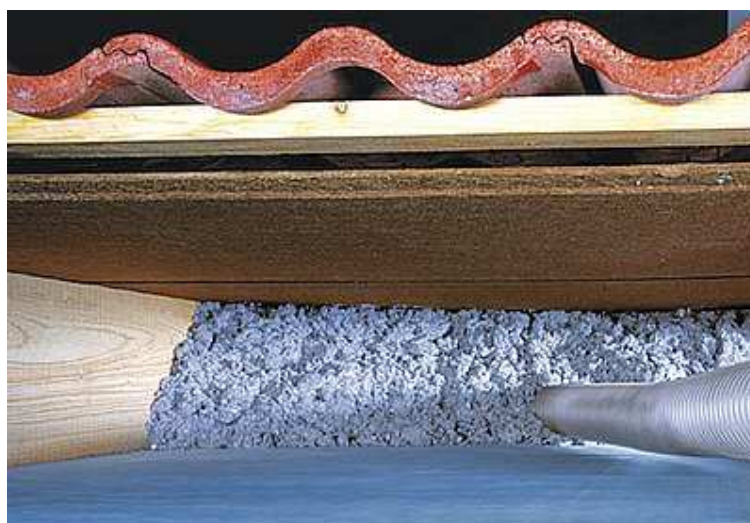
*Pro izolaci těžce přístupných nebo nepravidelných míst je používána konopná foukaná sytká izolace....*

*Všechny tyto výrobky lze považovat za čistě ekologické, neboť při jejich výrobě nejsou používána žádná lepidla....”[2]*

b) Celulóza

*„Celulózové tepelně–izolační materiály se vyrábějí z recyklovaného novinového papíru, základní surovinou je tedy v prvopočátku dřevo....*

*Izolace je aplikována foukáním, lze jí vyplnit jakékoli, i obtížně dostupné dutiny.”[2]*



**Obrázek 7: Celulózová izolace [2]**

c) Sláma

*„Sláma je jeden z nejobvyklejších stavebních i tepelně–izolačních materiálů našich předků a její obliba v současnosti opět roste. A ke slovu přichází zase ve všech oblastech – jako součást zděicích materiálů – nepálených cihel, případně hliněných omítek, jako střešní krytina, tepelná izolace, případně i součást nábytku....”[2]*

## 2.2 Budoucnost zateplení objektů v ČR

I v České republice se specialisté z technických vysokých škol i odborníci ze strany výrobců materiálů se intenzivně věnují výzkumu a neustálému zlepšování vlastností izolačních materiálů. Vývoj ovšem nesměřuje pouze ke zlepšování vlastností materiálů, ale i k nalezení nových technologií jak domy izolovat. Vhodné je využít dostupné přírodní zdroje. Výhodnou variantou je například použití zeminy jako tepelné izolace.

### Dům v zemi

*„Domy chráněné zemí v sobě spojují krásu přírodní architektury s výhodami pasivně- solárních staveb. Vycházejí z jednoduchého přírodního principu využití tepla akumulovaného obklopující zeminou. To zajišťuje celoroční tepelnou pohodu i bez použití složitých a provozně drahých vyhřívacích a klimatizačních systémů. K dorovnání teplot stačí v případě potřeby i málo výkonná zařízení na bázi alternativních zdrojů energie.*

*Domy chráněné zemí jsou pasivně-solární stavby, kde důležitou roli v tepelné bilanci hraje obklopující zemina osázená vegetací. V domech tohoto typu se dosahuje průměrné tepelné spotřeby kolem 15 kWh/m<sup>2</sup> rok.“ [7]*

Příklady provedení:



Obrázek 8: Dům v zemi [8]



Obrázek 9: Dům v zemi [7]

## **2.3 Moderní trendy v oblasti tepelných izolací**

Podtitulek této kapitoly inspirované odbornými články (viz zdroje č. 16, 17, 18, 19) by mohl znít: „Odkud a kam směřuje vývoj v oblasti energetické náročnosti budov domy budoucnosti“.

Tlak okolí na energetické úspory, environmentální principy, šetrné nakládání se zdroji... je v současnosti ze strany různých certifikací budov zaměřených na ochranu životního prostředí a zajištění trvale udržitelného rozvoje. Své významné místo má v těchto certifikacích i energetický model obálky budovy. Budovy s nejvyšším počtem bodů v certifikačním hodnocení dosažených právě za tuto hodnocenou kategorii vynikají i kvalitním zateplením.

Nejnámější je americký certifikát LEED (Leadership in Environmental and Design), britský Breeam (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) a německý DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen). Tlak na úspory v energiích tedy vždy pochází z vyspělých zemí, které jsou již připraveny ohlížet se nejen na vlastní etapu života, nýbrž je zajímá, jaké životní prostředí zanechají dalším generacím.

Pokud pominu módní, leckdy zprofanované certifikace budov stále zde je tlak legislativy a lidstvu zcela přirozená touha šetřit provozní náklady. Nejen podmínky certifikací, ale i legislativa neustále zpřísňuje požadavky a podmínky týkající se i energetické náročnosti budov. Na to je třeba reflektovat a zabývat se výzkumem a vývojem nových technologií, materiálů a hledat inovativní řešení a kvalitnější způsoby aplikace.

Z výše zmíněných důvodů jde vývoj cestou zlepšování energetické bilance budov až na úroveň pasivních domů. Nejnovější trendy jsou vždy v této oblasti jsou každoročně prezentovány na mezinárodní konferenci (International Passive House Conference). Letos se tato konference uskuteční již podvacáté a to 23.3.2016 v Darmstadtu. Dále se každoročně pořádají odborné soutěže a prezentují se domy nulovou potřebou energie, energeticky úsporné budovy, nové způsoby k efektivnějšímu využití energií.

U.S. Department of Energy Solar Decathlon je americká organizace, která každoročně vypisuje prestižní soutěž o nejlepší pasivní dům roku (hodnotí se návrh,

stavba, vzhled, energetické úspory, inovace v oblasti hospodaření se zdroji...). V roce 2015 se vítězem se stala budova vytvořená týmem ze Stevens Institute of Technology's s příznačným názvem SURE (SUstainability a REsilient, volně přeloženo tedy udržitelný a přizpůsobivý – šitý na míru).

Mimo jiné budova SURE zvítězila díky vysoce účinnému systému obálky budovy. Dle technického popisu (viz, zdroj č. 20) zjistíme, že koncept je jednoduchý. Silné zdi, střecha a podlaha, redukce toku tepla do a z budovy. Koeficient R – tepelná vodivost (v zahraniční literatuře Thermal Conductivity) je u domu SURE stanoven na 10 h ft<sup>2</sup> F/Btu což je 1,44 Watt/m<sup>2</sup> °K.

Návrh je zpracován tak, aby žádná energie, která se vytvoří, nezůstala nevyužita a to v kombinaci s dobrými izolačními materiály a důmyslným systémem minimalizace tepelných mostů tvoří celek nazývaný „Super izolace“. [16,17,18,19]



**Obrázek 10: Vítězný projekt SURE[18]**

## 3 Materiál a metody

### 3.1 Aplikované fyzikální veličiny

V této části bakalářské práce se čtenář seznámí se základními fyzikálními veličinami a vzorci, se kterými budu pracovat v průběhu výpočtu tepelných ztrát konstrukce.

#### 3.1.1 Šíření tepla

Pojem šíření tepla je někdy známý jako „sdílení tepla“. Šíření tepla je jeden se způsobů přenosu energie.

*„Tepla se jako energie šíří od místa s teplotou vyšší do místa s teplotou nižší, dochází tedy ke snaze o vyrovnání teplotního stavu tělesa nebo prostředí. Tepla se šíří v libovolném prostředí a v závislosti na tom, jakým způsobem k šíření tepla dochází, lze identifikovat tři základní způsoby šíření tepla“[9]*

- a) Vedení
- b) Proudění
- c) Sálání

#### Vedení tepla

Při tomto způsobu vedení tepla dochází k předávání části pohybové energie pomocí nárazů mezi sousedními částicemi těles. Jedná se o nejčastější způsob šíření tepla v pevných tělesech (dělení látek na tepelné vodiče a tepelné izolanty). Porovnání látek podle tepelné vodivosti umožňuje „součinitel tepelné vodivosti“.

*...“Vedení tepla se, kromě výjimečných případů uplatňuje u všech typů stavebních konstrukcí. Základní principy vedení tepla popisují Fourierovy zákony, které jsou považovány na klíčové postuláty v oblasti šíření tepla i celé oblasti tepelné ochrany budov.“[9]*



## **Proudění**

Proudění tepla je jeden ze způsobů šíření tepla v kapalinách a plynech, při kterém se přemísťují přímo částice s větší energií.

*„K tomuto způsobu šíření tepla dochází v kapalinách a plynech, ve stavební praxi se uplatňuje zcela výjimečně.*

*Základním fyzikálním zákonem, platným pro oblast proudění tepla, je Newtonův zákon, popisující hustotu tepelného toku při proudění.“[9]*

## **Sálání**

Sálání neboli tepelné záření je jeden ze způsobů šíření tepla, při kterém každé těleso s teplotou vyšší než okolí vyzařuje teplo a každé těleso s teplotou nižší než okolí pohlcuje teplo. Je to jeden z druhů elektromagnetického záření a nejlépe šíří ve vakuu..

*„Každé těleso s teplotou vyšší než 0 K vydává elektromagnetické záření, především záření infračervené, jehož přenos je podstatou šíření tepla sáláním. Obecně lze říci, že tělesa toto záření nejenom vydávají, ale i pohlcují, odrážejí a propouštějí.“ [9]*

### **3.1.2 Tepelný odpor**

Všeobecně známá definice říká, že tepelný odpor (v zahraniční literatuře thermal resistance) vyjadřuje, jakou plochu konstrukce při jakém rozdílu teplot na jejich površích dojde k přenosu 1 Wattu, neboli k přenosu energie o velikosti 1 Joule za 1 sekundu.

*„Výpočet součinitele prostupu tepla vychází z vyčíslení hodnoty tepelného odporu hodnocené konstrukce. Tepelný odpor, stejně jako součinitel prostupu tepla, je stanovován za předpokladu ustáleného teplotního stavu a jednorozměrného vedení tepla.*

*Tepelný odpor jednovrstvé konstrukce lze vyčíslit ze vztahu:*

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (m^2 \cdot K/W^1)$$

*Kde:  $d$  = je tloušťka vrstvy materiálu ( $m$ )*

*$\lambda$  = součinitel tepelné vodivosti materiálu ( $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ )*



*Tento vztah platí pro jednovrstvou konstrukci za předpokladu homogenity vrstvy a její kolmosti ke směru tepelného toku. Za stejného předpokladu lze vyčíslit i tepelný odpor vícevrstvé konstrukce, kdy je možno napsat.*

$$R = \sum_{j=1}^{j=n} R_j + R_1 + R_2 + \dots + R_n = \sum_{j=1}^{j=n} \frac{d_j}{\lambda_j}$$

*Kde:  $n$  = počet vrstev konstrukce”[9]*

### **Normové požadavky**

Daná problematika je ovlivněna řadou předpisů a zákonů a legislativních zařízení. Pro stavebníka je závazné dodržovat Stavební zákon. Dodržování norem není zákonná povinnost, ovšem jejich dodržování bývá požadavkem investora, technického dozoru a zároveň dobrým standardem každého dodavatele a stavebníka. Při výpočtu energetické náročnosti budovy jsem postupoval dle normy ČSN 73 0540-2:2011.

*„Pro stanovení normových požadavků na součinitel prostupu tepla jednotlivých konstrukcí jsou jednoznačně prioritním hlediskem úspory energie. Současné požadavky na tepelně izolační schopnost stavebních konstrukcí jsou natolik přísně určené, že u konstrukcí navržených a realizovaných v souladu s požadavky normy je automaticky zajištěno splnění souvisejících požadavků jak na tepelnou pohodu vnitřního prostředí, tak zajištění potřebné vnitřní povrchové teploty konstrukce s ohledem na eliminaci povrchové kondenzace vodní páry.*

*Normou ČSN 73 0540-2:2011 udávané hodnoty součinitelů prostupu tepla platí nejenom pro novostavby, ale i pro obnovu staveb. Poslední znění normy z října 2011 udává:*

- a) *Požadované hodnoty součinitele prostupu tepla  $U_{N,20}$ ,*
- b) *Doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla  $U_{rec,20}$ ,*
- c) *Doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla pro pasivní budovy  $U_{pas,20}$ “[9]*

Při aplikaci výše zmíněného rozdělení jsem posupoval následovně. U výpočtu součinitele prostupu tepla pro rodinný dům Alfa jsem držel hodnoty součinitele na *požadovaných* hodnotách součinitele prostupu tepla ( $U_{N,20}$ ). Varianta Beta se blíží hodnotám *doporučeným* ( $U_{rec,2}$ ) a třetí varianta Gama se pohybuje již v úrovni pasivních domů ( $U_{pas,20}$ ).

### **3.2 Výpočetní programy Teplo a Energie**

K bakalářské práci jsem využíval programy Teplo a Energie, které spadají pod celek zabývající se komplexně Stavební fyzikou. Mezi hlavní vývojové členy softwaru patří pan doc. Dr. Ing. Zbyněk Svoboda.

*„Dlouholetý pedagog Fakulty stavební ČVUT v Praze se specializací na tepelnou ochranu budov. Autor souboru programů pro řešení stavebně fyzikálních problémů, spoluautor ČSN 730540-2 (2011). Kromě pedagogické činnosti a vývoje software se věnuje i odborným konzultacím, posudkům a vědeckému výzkumu.”*[10]

#### **Program Teplo**

Byl použit pro výpočet tepelného odporu a součinitele prostupu tepla podle EN ISO 6946.

*„Program TEPLO 2015 je určen pro základní tepelně technické posouzení skladby stavební konstrukce z hlediska prostupu tepla a vodní páry. Umožňuje detailní výpočet tepelného odporu a součinitele prostupu tepla, vnitřní povrchové teploty, poklesu dotykové teploty podlahové konstrukce, rozložení teplot a tlaků vodní páry v konstrukci a oblasti kondenzace a roční bilance zkondenzované vodní páry. Zohledňuje požadavky ČSN 730540-2 a STN 730540-2 a postupy ČSN 730540-4, EN ISO 6946 a EN ISO 13788.”*[11]

#### **Program Energie**

Byl použit pro několik dílčích výpočtů. Základní je výpočet průměrného součinitele prostupu tepla a jeho vyhodnocení v souladu s ČSN 730540-2 (2011) a výpočet potřeby energie na vytápění a chlazení podle EN ISO 13790 a EN 832.

*„Program ENERGIE 2015 je určen pro komplexní hodnocení energetické náročnosti budov. Umožňuje výpočet průměrného součinitele prostupu tepla budovy, měrných tepelných toků, potřeby tepla na vytápění, dílčích dodaných energií (vytápění, chlazení, nucené větrání, úprava vlhkosti vzduchu, příprava teplé vody, osvětlení), produkci energie (solární kolektory, fotovoltaika, kogenerace), celkové dodané energie, primární energie (celkové i neobnovitelné) a emisí CO<sub>2</sub>. Při výpočtu se zohledňují postupy a požadavky ČSN 730540, TNI 730329, TNI 730330, STN 730540, EN ISO 13790, EN ISO 13370, EN ISO 13789 a dalších evropských norem. Program zpracovává energetický průkaz podle vyhlášky MPO ČR č. 78/2013 Sb. a energetický štítek podle ČSN 730540-2 (2011).”[12]*

### **3.3 Stavebně technický popis řešeného rodinného domu**

Rodinný dům je obdélníkového tvaru se zastavěnou plochou 148,00m<sup>2</sup>. Budova je jednopodlažní, typu bungalov, bez podsklepení. V přízemí je dispozice následující. Zádveří a chodba, ze které jsou přístupné místnosti (ložnice, dva dětské pokoje, koupelna, WC, pracovna, kuchyň, jídelna a obývací pokoj). Kuchyň je propojená s jídelnou a obývacím pokojem. Součástí přízemí je technická místnost, která je přístupná ze západní strany rodinného domu. Kuchyň propojená s jídelnou a obývacím pokojem je orientována na jihovýchodní stranu.

Plochy místností:

Zádveří: 6,751 m<sup>2</sup>, 1 dětský pokoj: 12,866 m<sup>2</sup>, 2 dětský pokoj 9,351 m<sup>2</sup>, technická místnost 6,390 m<sup>2</sup>, koupelna 10,813 m<sup>2</sup>, WC 1,883m<sup>2</sup>, pracovna 9,938 m<sup>2</sup>, chodba 11,418 m<sup>2</sup>, ložnice 12,000 m<sup>2</sup>, spíž 3,125 m<sup>2</sup>, kuchyň 9,560 m<sup>2</sup>, obývací pokoj s jídelnou 31,125 m<sup>2</sup>.

Založení stavby je navrženo na betonových základových pasech s přebetonovanou železobetonovou deskou.

Objekt je navržen zděný z keramických tvarovek Porotherm 300 mm P+D, P10/15 na vápenocementovou maltu. Jedná se kompletní zdící systém vč. překladů, rohových

tvarovek a doplňkových cihel a příčkovek. Obvodové a středové zdivo je ztuženo železobetonovým věncem.

Střecha je sedlová, tvořená dřevěnými sbíjenými vazníky, výrobce Bios - Dobříš. Krytina je navržena od firmy Bramac, barvy černé. Stropy nad přízemím jsou lehké, montované ze sádkokartonu, systém Knauf. Příčky jsou navrženy z keramických tvarovek Porotherm 140 mm P+D. Objekt je zateplený dle jednotlivých variant Alfa, Beta a Gama.

Výplně otvorů, okna a vstupní dveře jsou navrženy dřevěné od firmy VEKRA s izolačním dvojsklem nebo trojsklem opět dle varianty Alfa, Beta nebo Gama. Vnitřní dveře včetně obložkových zárubní jsou dřevěné, např. od CAG. Povrchové úpravy, fasáda je navržena zateplená. Kontaktní způsob, finální úprava je silikátová omítka. Vnitřní omítky jsou hladké, štukové, keramické obklady a dlažby jsou od firmy Rako. Podlahy jsou lité, anhydritové.

### ***3.4 Specifikace jednotlivých skladeb konstrukcí rodinných domů Alfa, Beta, Gama***

Všechny tři typy rodinných domů jsou navrženy tak, aby jejich tepelně izolační vlastnosti vyhověly platným předpisům. Níže se budu zabývat definováním nejvhodnějšího typu zateplení (rodinný dům Gama) a porovnáním s nejhorší možnou variantou (rodinný dům Alfa). Předpokládám, že rodinný dům Beta je v oblasti zateplení kompromisem mezi Alfou a Gamou.

Návrhy jednotlivých rodinných domů jsou utvořeny tak, že u stěn a v podlaze se tloušťka izolace nemění. Liší se pouze její izolační vlastnosti v závislosti na konkrétním typu použité izolace.

Stropní izolace je provedena ze stejného materiálu, avšak u jednotlivých typů domů se mění její tloušťka.

Pro výplně otvorů byly ve spolupráci firmou VEKRA stanoveny tři typy dřevěných oken s izolačním dvojsklem nebo trojsklem. Nejvýhodněji vychází trojsklo s rámem tloušťky 94 mm, který byl použit u domu Gama. Podrobnější parametry budou specifikovány níže.

### 3.4.1 Specifikace rodinného domu Alfa

Z mého pohledu je tento typ rodinného domu nejméně výhodný. Byly mu určeny nejhorsí tepelně izolační vlastnosti a to následovně:

#### Stěna

Skladba stěny je navržena s obyčejnou tepelnou izolací Isover EPS 70F, která je nejčastěji používaná vzhledem k její dostupnosti a ceně. Tepelná izolace je nalepena lepidlem Baumit DuoContact na nosné zdivo Porotherm šířky 300 mm. Interiérová úprava zdiva se skládá z omítky Porotherm Universal, která se nanese v tloušťce 15 mm.

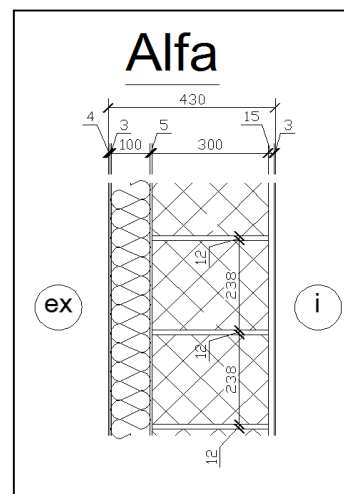
Následná úprava je vnitřním štukem, který zjemní a zacelí povrch omítky. Finální úprava vnitřních stěn je tvořena malbou, která není započítávána do skladby stěny.

Polystyren směrem k exteriéru se přetáhne v celé ploše lepidlem Baumit Duo Contact se síťovinou, která zpevní povrch tepelné izolace. Na venkovní finální úpravu fasády se použije silikátová omítkka.

Na zbylé kombinace zateplení obvodové stěny rodinného domu s označením Beta a Gama bude použita stejná tloušťka skladby.

Skladba stěny od exteriéru po interier:

-	Baumit silikátová omítkka	4	mm
-	Baumit DuoContact	3	mm
-	Isover EPS 70F	100	mm
-	Baumit DuoContact	5	mm
-	Porotherm P+D	300	mm
-	Porotherm Universal	15	mm
-	Baumit štuková omítkka	3	mm



Obrázek 11: Skladba stěny Alfa

#### Podlaha

Pro rodinný dům Alfa je do podlahy zvolena základní tepelná izolace Isover EPS 70S, která má větší únosnost v tlaku než předchozí izolace u stěn s označením EPS 70F.

Tepelná izolace je položena na hydroizolaci, která je tvořena asfaltovými pásy. Asfaltové pásy jsou přivařeny na penetrací upravenou základovou desku. Pásy chrání rodinný dům od prostupu vlhkosti a radonu.

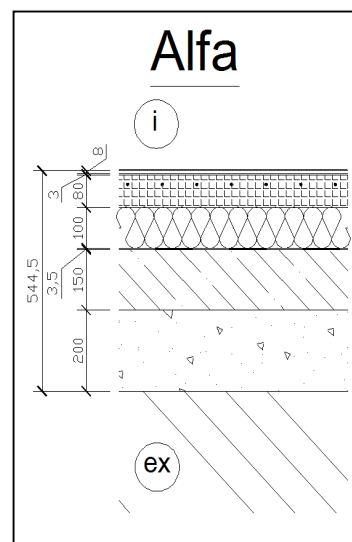
Základová deska o tloušťce 150 mm je vyztužena železnou sítí a podsypána zhutněným šterkem frakce 8-16mm.

Vnitřní skladba podlahy nad tepelnou izolací je vylita podlahovou směsí Anhydrit o tloušťce 80mm, ve které jsou zalaty rozvody pro podlahové vytápění. Finální úprava podlahové plochy je tvořena z keramické dlažby kladené do lepidla Baumit.

Na zbylé kombinace zateplení podlahy rodinných domů s označením Beta a Gama bude použita stejná tloušťka skladby. Změna bude provedena jen v použitém materiálu tepelné izolace.

Skladba stěny od interieru po exteriér:

-	Dlažba keramická	8	mm
-	Baumit stěrka Speed	3	mm
-	Anhydritová směs a podlahové topení	80	mm
-	Isover EPS 70S	100	mm
-	Bitubitagit PE V60 S35	35	mm
-	Beton hutný 3	150	mm
-	Šterk	200	mm
-	Původní zemina	-----	



Obrázek 12: Skladba podlahy Alfa

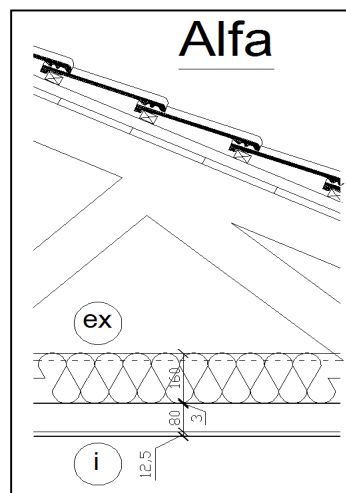
## Strop

Skladba stropu je tvořena nejběžnějším druhem zateplení. Vždy byl použit stejný typ izolace jen s rostoucí tloušťkou vrstvy.

U varianty Alfa je tepelná izolace Knauf Classic 039 tloušťky 160 mm položena na pomocný dřevěný rošt mezi pásnice dřevěného sbíjeného vazníku. Parotěsná folie Juntal N AL 170 special je mezi dřevěným roštem a pásnicemi. Dřevěný rošt je zakryt deskami ze sádrokartonu a tvoří vzduchovou mezeru o tloušťce 80 mm. Finální úprava sádrokartonu není do skladby započtena.

Skladba stropu od interieru po exteriér:

- Sádrokarton	12,5	mm
- Uzavřená vzduch dutina	80	mm
- Juntal N AL 170 special	2	mm
- KnaufClassic 039	160	mm



Obrázek 13: Skladba stropu Alfa

## Okna



Pro typ rodinného domu alfa jsem zvolil základní profil dřevěného okna NATURA 68 s izolačním dvojsklem.

Technické vlastnosti:

Prostup tepla oknem: 1,2W/m<sup>2</sup>K

Stavební hloubka: 68mm

Obrázek 14: Okno Natura 68 [13]

### 3.4.2 Specifikace rodinného domu Beta

U rodinného domu typu Beta jsem se snažil najít rovnováhu mezi finanční náročností vstupních nákladů a izolačních vlastností ve vazbě na návratnost investice v podobě ušetřených energií.

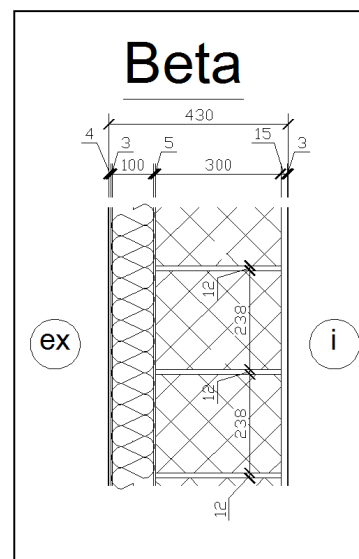
## Stěna

Technologie skladby obvodové stěny u typu Beta je použita jako u zateplení rodinného domu Alfa.

Liší se pouze v použití kvalitnější tepelné izolace IsoverEPSGreyWall PLUS. Použité fasádní desky jsou z nových grafitových surovin, které zlepšují technické vlastnosti tepelné izolace.

Skladba stěny od exteriéru po interier:

-	Baumit silikátová omítka	4	mm
-	Baumit DuoContact	3	mm
-	Isover EPS GreyWall PLUS	100	mm
-	Baumit DuoContact	5	mm
-	Porotherm P+D	300	mm
-	Porotherm Universal	15	mm
-	Baumit štuková omítka	3	mm
..			



Obrázek 15: Skladba stěny Beta

## Podlaha

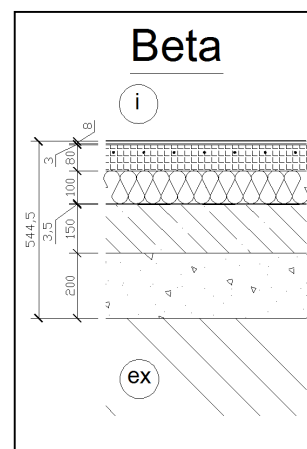
Technické provedení podlahy této varianty je stejné jako u podlahy rodinného domu Alfa jen s záměnou tepelné izolace za kvalitnější. Tepelná izolace IsoverEPSGrey 100, která je použita u podlahy Beta je zlatá střední cesta pro zateplení. Cenově dostupná a zároveň s lepšími tepelně-izolačními vlastnostmi.

Skladba podlahy od interieru po exteriér:

-	Dlažba keramická	8	mm
-	Baumit stěrkaSpeed	3	mm



- Anhydritová směs+podlahové topení 80 mm
- Isover EPSGrey 100 100 mm
- Bitubitagit PE V60 S35 35 mm
- Beton hutný 3 150 mm
- Štěrka 200 mm



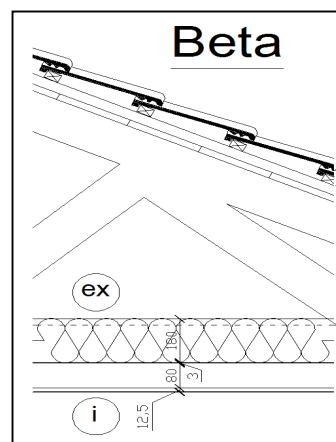
Obrázek 16: Skladba podlahy Beta

## Strop

Dle výše zmíněného popisu je u skladby střechy všech variant Alfa, Beta, Gama zachován stejný typ tepelné izolace. V této variantě byla zvýšena o 20 mm tloušťka použité tepelné izolace (KnaufClassic 039 -180 mm).

Skladba stropu od interieru po exteriér:

- Sádkarton 12,5 mm
- Uzavřená vzduch dutina 80 mm
- Juntal N AL 170 special 2 mm
- KnaufClassic 039 180 mm



Obrázek 17: Skladba stropu Beta

## Okna

U rodinného domu typu Beta jsem zvolil dřevěná okna označením NATURA 78 s izolačním trojsklem. Tento typ oken se vyznačuje optimálním poměrem ceny a kvality.



Technické vlastnosti:

Prostup tepla oknem: 0,76 W/m<sup>2</sup>K

Stavební hloubka: 78 mm

Obrázek 18: Okno Natura 78 [13]

### 3.4.3 Specifikace rodinného domu Gama

U tohoto typu domu jsem navrhl z pohledu tepelně izolačních vlastností materiálu ideální kombinaci. Návrh splní limity pro nízkoenergetické budovy.

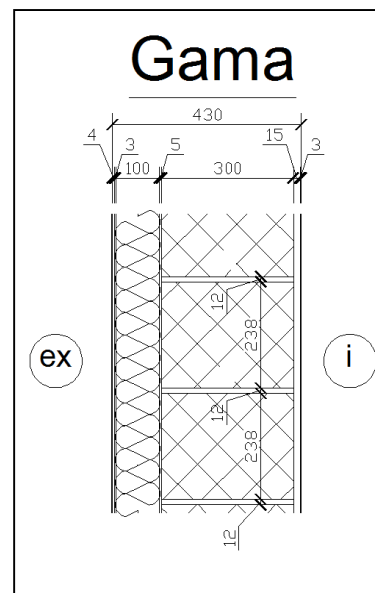
#### Stěna

Rodinný dům Gama je zateplen pomocí fenolitických desek, které jsou jednou z nejlepších izolací na trhu.

Tepelně izolační vlastnosti fenolitických desek dosahují několikanásobně lepších hodnot než základní typy tepelných izolací, které jsou použity na skladbě obvodové stěny u rodinného domu Alfa.

Skladba stěny od exteriéru po interier:

-	Baumit silikátová omítka	4	mm
-	Baumit DuoContact	3	mm
-	Kooltherm K5 Fenolitická deska	100	mm
-	BaumitnDuoContact	5	mm
-	Porotherm P+D	300	mm
-	Porotherm Universal	15	mm
-	Baumit štuková omítka	3	mm



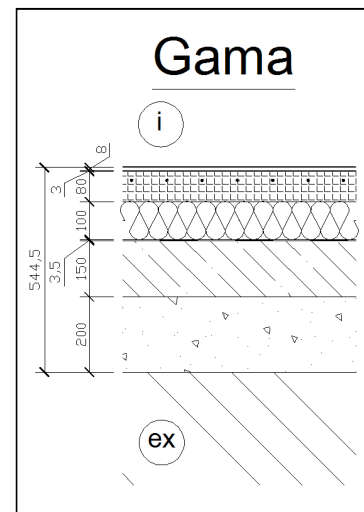
Obrázek 19: Skladba stěny Gama

#### Podlaha

Podlahové desky Kooltherm K3 jsou ideální pro nízkoenergetické rodinné domy. Díky jádru desek, které je tvořeno z fenolitické pěny, dosahují desky Kooltherm K3 minimální tepelné vodivosti.

Skladba podlahy od interieru po exteriér:

- Dlažba keramická 8 mm
- Baunit stěrka Speed 3 mm
- Anhydritová směs+podlahové topení 80 mm
- Kooltherm K3 100 mm
- Bitubitagit PE V60 S35 35 mm
- Beton hutný 3 150 mm
- Štěrka 200 mm
- Původní zemina -----



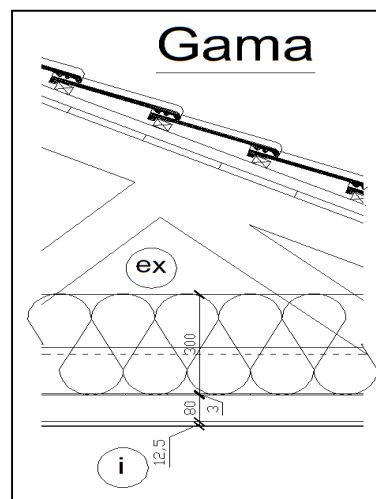
Obrázek 20: Skladba podlahy Gama

## Strop

U poslední varianty Gama zvolíme téměř dvojnásobnou tloušťku tepelné izolace v porovnání s první variantou Alfa.

Skladba stropu od interieru po exteriér:

- Sádkarton 12,5 mm
- Uzavřená vzduch dutina 80 mm
- Juntal N AL 170 special 2 mm
- Knauf Classic 039 300 mm



Obrázek 21: Skladba stropu Gama

## Okna

Pro poslední typ oken u rodinného domu Gama jsem zvolil velmi kvalitní dřevěné okno s izolačním trojsklem od firmy VEKRA. Toto okno má stavební hloubkou okenního rámu 94mm, což docílí maximální úspory energie.



Technické vlastnosti:

Prostup tepla oknem: 0,7 W/m<sup>2</sup>K

Stavební hloubka: 94 mm

Obrázek 22: Okno Natura 94 [13]

### **3.5 Výpočet tepelného odporu konstrukce $R$ a součinitele prostupu tepla konstrukce $U$ pro zateplení rodinného domu**

V této kapitole je shrnut postup výpočtu a zadávání potřebných hodnot pro výpočet tepelného odporu a prostupu tepla obecně pro jakýkoliv typ a skladbu konstrukce.

Podrobný výpočet konkrétního tepelného odporu a prostupu tepla pro jednotlivé skladby rodinných domů typu Alfa, Beta, Gama bude přiložen do přílohy bakalářské práce. V kapitole Výsledky bude provedeno shrnutí jednotlivých výpočtů pro výše specifikované skladby konstrukcí.

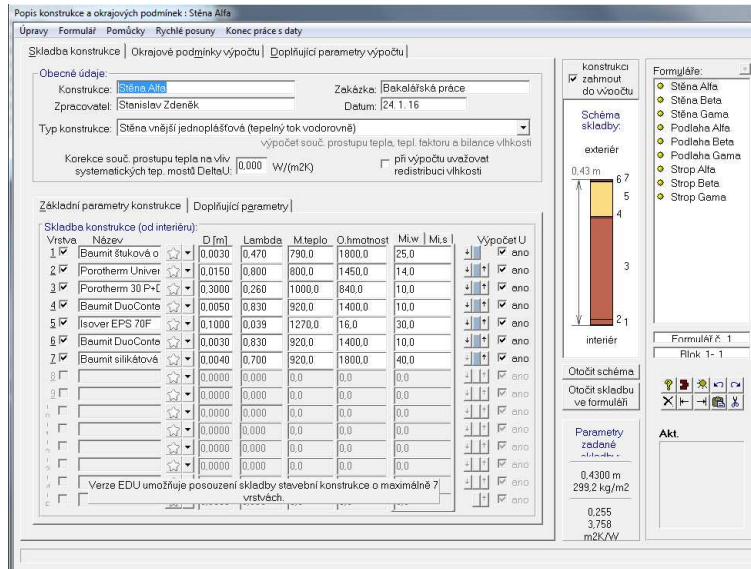
#### **3.5.1 Popis zadávání hodnot do výpočetního programu Teplo**

Zadávání vstupních údajů je intuitivní a lze postupovat podle nápovědy programu. Nejdříve se do výpočetního programu zadá typ konstrukce a poté okrajové podmínky výpočtu. Okrajové podmínky výpočtu jsou exteriérové a interiérové teploty a vnitřní vlhkostní podmínky.

Součástí programu Teplo je katalog materiálů. Katalog obsahuje všechny technické vlastnosti materiálů počínaje tepelnou vodivostí  $\lambda$ .

Tloušťka jednotlivých vrstev se zadává poté, co vybrání požadovaného materiálu. Postupně se přidávají dílčí formuláře. Tento postup se opakuje pro výpočet každé skladby.

Po zapsání jednotlivých skladem se zvolí záložka *Konec práce s daty*, kde lze vygenerovat konkrétní tepelný odpor a prostup tepla navrženou skladbou konstrukce.



Obrázek 23: Formulář programu Teplo[11]

Vypočtené hodnoty tepelného odporu a součinitele prostupu tepla jednotlivých skladeb se použijí u druhého výpočtu energetické náročnosti budov a průměrného součinitele prostupu tepla.

### 3.6 Výpočet energetické náročnosti budov a průměrného součinitele prostupu tepla

Dalším krokem pro zjištění energie spotřebované k vytápění je výpočet průměrného součinitele prostupu tepla. Na základě výsledků této kapitoly je možné navržený rodinný dům zatřídit do příslušné klasifikační třídy energetické náročnosti.

V této kapitole se zabývám obecným popisem výpočtu v programu Energie. Podrobný výpočet energetické náročnosti budov a průměrného součinitele prostupu tepla pro variantu Beta bude přílohou bakalářské práce. Jedním z výsledků tohoto výpočtu je i hodnota tzv. celkové potřeby tepla na vytápění rodinného domu. S touto hodnotou budu pracovat dále v kapitole Výsledky při výpočtu návratnosti počáteční investice.

#### 3.6.1 Popis zadávaných hodnot do výpočetního programu Energie

Nejdůležitější zadávané hodnoty do programu Energie vychází z předchozího programu Teplo. Jsou to hodnoty tepelného odporu a součinitele prostupu tepla jednotlivých skladeb stěn, podlah, stropu a oken.

Začátkem výpočtu jsou zvoleny klimatické údaje pro rodinný dům. Zde je zjištěna celková energie globálního slunečního záření na jednotlivé světové strany.

Obrázek 24: Formulář programu Energie [12]

Druhý krok je postupné plnění jednotlivých zón. Jednotlivé zóny udávají geometrické rozměry rodinného domu. Postupně jsou doplněny hodnoty z předchozích výpočtů. Následným krokem je zvolen způsob vytápění, osvětlení, zdroje tepla a počet energetických nositelů.

## 4 Výsledky

### 4.1 Cenové srovnání počáteční investice jednotlivých materiálů

#### Výplně otvorů

Počáteční investice do oken a dveří se liší různým provedením zasklení a profilem rámu oken a dveří. Vytvořenou specifikaci oken v programu Autocad jsem poslal pro nacenění do firmy VEKRA. Firma VEKRA v rámci dobrých obchodních vztahů vytvořila bezplatně tři cenové nabídky oken a dveří pro jednotlivé rodinné domy Alfa, Beta a Gama a to následovně:

Rodinný dům Alfa	:	166 530,00 Kč
Rodinný dům Beta	:	181 890,00 Kč
Rodinný dům Gama	:	193 546,00 Kč

## **Tepelná izolace stěn, podlahy a stropu**

Ceny za tepelné izolace Isover jsou vypisovány z dostupných ceníků, které jsou publikovány na webových stránkách: <http://www.isover.cz/>.

Izolace typu Kooltherm a Knauf jsou sortimentem DEK a.s.. Společnost DEK je jedna z největších firem v České republice, která se zabývá dodávkou stavebních materiálů.

<b>Rodinný dům Alfa:</b>			Kč/ 1m <sup>2</sup>
Izolace stěny:	IsoverEPS 70F	100mm	252,89
Izolace podlahy:	IsoverEPS 70F	100mm	242,00
Izolace stropu:	KnaufClassic 039	160mm	83,00
<b>Rodinný dům Beta:</b>			
Izolace stěny:	IsoverEPStGreyWall PLUS	100mm	326,70
Izolace podlahy:	IsoverEPStGrey 100	100mm	385,99
Izolace stropu:	KnaufClassic 039	180mm	94,00
<b>Rodinný dům Gama:</b>			
Izolace stěny:	Kooltherm K5	100mm	1034,55
Izolace podlahy:	Kooltherm K3	100mm	734,91
Izolace stropu:	KnaufClassic 039	300mm	156,00

## **4.2 Cenového srovnání počáteční investice pro typy zateplení RD**

Dle cenového srovnání (viz níže, tabulka č. 1) je patrná kompletní počáteční investice do jednotlivých typů izolace a výplně otvorů. Pro rodinný dům Alfa je počáteční investice skoro poloviční než do zateplení rodinného domu Gama. Zateplení rodinného domu Beta vychází jako průměrná varianta.

Cenové srovnání počáteční investice do zateplení pro jednotlivé typy RD Alfa, Beta a Gama					
RD-Alfa					
KCE	Popis	tl. (mm)	m <sup>2</sup>	Kč/m <sup>2</sup>	Cena s DPH
Stěna	Isover EPS 70F	100	150	252,89 Kč	37 933,50 Kč
Podlaha	Isover EPS 70S	100	125,23	242,00 Kč	30 305,66 Kč
Strop	Knauf Classic 039	160	148	83,00 Kč	12 284,00 Kč
Výplně otvorů	Eurookna NATURA 68 s izolačním dvojsklem				166 530,00 Kč
				<b>Celekem :</b>	<b>247 053,16 Kč</b>
RD-Beta					
KCE	Popis	tl. (mm)	m <sup>2</sup>	Kč/m <sup>2</sup>	Cena s DPH
Stěna	Isover EPS Grey wall	100	150	326,70 Kč	49 005,00 Kč
Podlaha	Isover EPS Grey 100	100	125,23	385,99 Kč	48 337,53 Kč
Strop	Knauf Classic 039	180	148	94,00 Kč	13 912,00 Kč
Výplně otvorů	Eurookna NATURA 78 s izolačním trojsklem				181 890,00 Kč
				<b>Celekem :</b>	<b>293 144,53 Kč</b>
RD-Gama					
KCE	Popis	tl. (mm)	m <sup>2</sup>	Kč/m <sup>2</sup>	Cena s DPH
Stěna	Kooltherm K5	100	150	1 034,55 Kč	155 182,50 Kč
Podlaha	Kooltherm K3	100	125,23	734,91 Kč	92 032,78 Kč
Strop	Knauf Classic 039	300	148	156,00 Kč	23 088,00 Kč
Výplně otvorů	Eurookna NATURA 94 s izolačním trojsklem				193 546,00 Kč
				<b>Celekem :</b>	<b>463 849,28 Kč</b>

Tabulka 1: Cenové srovnání počáteční investice



### 4.3 Kompletní shrnutí výpočtu tepelného odporu a prostupu tepla

Uvedené hodnoty tepelného odporu a prostupu tepla jsou vygenerované z programu Teplo (viz. obr. č. 25) pro všechny tři typy Alfa, Beta, Gama.

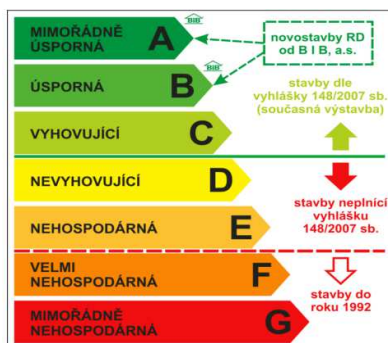
Shrnutí vlastností hodnocených konstrukcí						
Teplo 2014 EDU						
Název kce	Typ	R [m2K/W]	U [W/m2K]	Ma,max[kg/m2]	Odpaření	DeltaT10 [C]
Stěna Alfa...	stěna	3.758	0.255	0.0009	ano	---
Stěna Beta...	stěna	4.319	0.223	0.0003	ano	---
Stěna Gama...	stěna	5.723	0.170	0.0005	ano	---
Podlaha Alfa...	podlaha	3.052	0.310	0.3205	ne	---
Podlaha Beta...	podlaha	3.613	0.264	0.2531	ne	---
Podlaha Gama...	podlaha	5.488	0.177	0.3535	ne	---
Strop Alfa...	střecha	4.432	0.216	nedochází ke kondenzaci v.p.		---
Strop Beta...	střecha	4.945	0.194	nedochází ke kondenzaci v.p.		---
Strop Gama...	střecha	8.022	0.122	nedochází ke kondenzaci v.p.		---

**Vysvětlivky:**  
R tepelný odpor konstrukce  
U součinitel prostupu tepla konstrukce  
Ma,max maximální množství zkond. vodní páry v konstrukci za rok  
DeltaT10 pokles dotykové teploty podlahové konstrukce.

Obrázek 25: Shrnutí vlastností hodnocených konstrukcí program Teplo [11]

### 4.4 Analýza energetické náročnosti a průměrného prostupu tepla u jednotlivého typu zateplení

Energetická náročnost a průměrný prostup tepla u jednotlivých typů zateplení je vygenerován pomocí programu Energie. Z obrázku níže je patrný systém rozdělení do klasifikačních tříd dle energetické náročnosti. Navržené rodinné domy mohou spadat do jedné ze sedmi kategorií, od nejhorší (G mimořádně nevhodná) po nejlepší (A mimořádně úsporná).



Obrázek 26: Klasifikační třídy energetické náročnosti[14]

## Rodinný dům Alfa

U rodinného domu typu Alfa je patrné z tabulky č. 2, že průměrný součinitel prostupu tepla vyhovuje požadovaným hodnotám. Z hlediska možností současných zateplovacích systému považují tuto hodnotu průměrného součinitele prostupu tepla  $0,31 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  za nepřiměřeně vysokou.

### Stanovení prostupu tepla obálky budovy

Měrná ztráta prostupem tepla $H_T$	W/K	145,0
<b>Průměrný součinitel prostupu tepla <math>U_{em} = H_T / A</math></b>	<b>W/(m<sup>2</sup>·K)</b>	<b>0,31</b>
Požadavek ČSN 730540-2 byl stanoven: na základě hodnoty $U_{em,N,20}$ a působících teplot		
Výchozí požadavek na průměrný součinitel prostupu tepla podle čl. 5.3.4 v ČSN 730540-2 pro rozmezí $\theta_{im}$ od 18 do 22 °C $U_{em,N,20}$	W/(m <sup>2</sup> ·K)	0,37
Doporučený součinitel prostupu tepla $U_{em,rec}$	W/(m <sup>2</sup> ·K)	0,27
<b>Požadovaný součinitel prostupu tepla <math>U_{em,N}</math></b>	<b>W/(m<sup>2</sup>·K)</b>	<b>0,37</b>

Požadavek na stavebně energetickou vlastnost budovy je splněn.

### Klasifikační třídy prostupu tepla obálky hodnocené budovy

Hranice klasifikačních tříd	Veličina	Jednotka	Hodnota
A - B	$0,5 \cdot U_{em,N}$	W/(m <sup>2</sup> ·K)	<b>0,19</b>
B - C	$0,75 \cdot U_{em,N}$	W/(m <sup>2</sup> ·K)	<b>0,28</b>
C - D	$U_{em,N}$	W/(m <sup>2</sup> ·K)	<b>0,37</b>
D - E	$1,5 \cdot U_{em,N}$	W/(m <sup>2</sup> ·K)	<b>0,56</b>
E - F	$2,0 \cdot U_{em,N}$	W/(m <sup>2</sup> ·K)	<b>0,74</b>
F - G	$2,5 \cdot U_{em,N}$	W/(m <sup>2</sup> ·K)	<b>0,93</b>

Klasifikace: C - vyhovující

**Tabulka 2: Stanovení průměrného součinitele prostupu tepla Alfa [12]**

Klasifikace energetické náročnosti rodinného domu typu Alfa spadá do klasifikační třídy C - vyhovující, která je hraniční třídou pro udělení stavebního povolení.

## Rodinný dům Beta

U rodinného domu typu Beta je z tabulky č. 3 patrné, že průměrný součinitel prostupu tepla se díky lepší izolaci dostal do klasifikační třídy B, tedy úsporná.

### Stanovení prostupu tepla obálky budovy

Měrná ztráta prostupem tepla $H_T$	W/K	121,0
<b>Průměrný součinitel prostupu tepla <math>U_{em} = H_T / A</math></b>	<b>W/(m<sup>2</sup>·K)</b>	<b>0,25</b>
Požadavek ČSN 730540-2 byl stanoven: na základě hodnoty $U_{em,N,20}$ a působících teplot		
Výchozí požadavek na průměrný součinitel prostupu tepla podle čl. 5.3.4 v ČSN 730540-2 pro rozmezí $\theta_{im}$ od 18 do 22 °C $U_{em,N,20}$	W/(m <sup>2</sup> ·K)	0,37
Doporučený součinitel prostupu tepla $U_{em,rec}$	W/(m <sup>2</sup> ·K)	0,27
<b>Požadovaný součinitel prostupu tepla <math>U_{em,N}</math></b>	<b>W/(m<sup>2</sup>·K)</b>	<b>0,37</b>

Požadavek na stavebně energetickou vlastnost budovy je splněn.

### Klasifikační třídy prostupu tepla obálky hodnocené budovy

Hranice klasifikačních tříd	Veličina	Jednotka	Hodnota
A - B	$0,5 \cdot U_{em,N}$	W/(m <sup>2</sup> ·K)	<b>0,19</b>
B - C	$0,75 \cdot U_{em,N}$	W/(m <sup>2</sup> ·K)	<b>0,28</b>
C - D	$U_{em,N}$	W/(m <sup>2</sup> ·K)	<b>0,37</b>
D - E	$1,5 \cdot U_{em,N}$	W/(m <sup>2</sup> ·K)	<b>0,56</b>
E - F	$2,0 \cdot U_{em,N}$	W/(m <sup>2</sup> ·K)	<b>0,74</b>
F - G	$2,5 \cdot U_{em,N}$	W/(m <sup>2</sup> ·K)	<b>0,93</b>

Klasifikace: B - úsporná

Tabulka 3: Stanovení průměrného součinitele prostupu tepla Beta[12]

## Rodinný dům Gama

U nejkvalitnější varianty zateplení rodinného domu typu Gama je patrné z tabulky č.: 4, že průměrný součinitel prostupu tepla s nejlepší možnou izolací se blíží k horní hranici mezi úspornou a mimořádně úspornou variantou energetické náročnosti budovy. Ovšem i přes razantně vyšší investici do zateplení budovy, zůstává stále rodinný dům Gama ve třídě B, tedy úsporná.

## Stanovení prostupu tepla obálky budovy

Měrná ztráta prostupem tepla $H_T$	W/K	93,8
<b>Průměrný součinitel prostupu tepla <math>U_{em} = H_T / A</math></b>	<b>W/(m<sup>2</sup>·K)</b>	<b>0,20</b>
Požadavek ČSN 730540-2 byl stanoven: na základě hodnoty $U_{em,N,20}$ a působících teplot		
Výchozí požadavek na průměrný součinitel prostupu tepla podle čl. 5.3.4 v ČSN 730540-2 pro rozmezí $\theta_{im}$ od 18 do 22 °C $U_{em,N,20}$	W/(m <sup>2</sup> ·K)	0,37
Doporučený součinitel prostupu tepla $U_{em,rec}$	W/(m <sup>2</sup> ·K)	0,27
<b>Požadovaný součinitel prostupu tepla <math>U_{em,N}</math></b>	<b>W/(m<sup>2</sup>·K)</b>	<b>0,37</b>

Požadavek na stavebně energetickou vlastnost budovy je splněn.

## Klasifikační třídy prostupu tepla obálky hodnocené budovy

Hranice klasifikačních tříd	Veličina	Jednotka	Hodnota
A - B	$0,5 \cdot U_{em,N}$	W/(m <sup>2</sup> ·K)	<b>0,19</b>
B - C	$0,75 \cdot U_{em,N}$	W/(m <sup>2</sup> ·K)	<b>0,28</b>
C - D	$U_{em,N}$	W/(m <sup>2</sup> ·K)	<b>0,37</b>
D - E	$1,5 \cdot U_{em,N}$	W/(m <sup>2</sup> ·K)	<b>0,56</b>
E - F	$2,0 \cdot U_{em,N}$	W/(m <sup>2</sup> ·K)	<b>0,74</b>
F - G	$2,5 \cdot U_{em,N}$	W/(m <sup>2</sup> ·K)	<b>0,93</b>

Klasifikace: B - úsporná

Tabulka 4: Stanovení průměrného součinitele prostupu tepla  $\Gamma_{em}$ [12]

## 4.5 Cenové srovnání dodané energie na vytápění

Celková dodaná energie na vytápění za rok pro jednotlivé typy zateplení je vypsána z výpočtu energetické náročnosti, který je pro jeden typ zateplení přiložen k bakalářské práci.

## Celková potřeba energie na vytápění u RD za rok:

Rodinný dům Alfa: 19,790 MWh

Rodinný dům Beta: 16,880 MWh

Rodinný dům Gama: 13,547 MWh

### Kolik stojí kWh

Kolik stojí kWh tepla z uhlí	0,85 Kč/kWh
Kolik stojí kWh tepla ze dřeva	1,17 Kč/kWh
Kolik stojí kWh tepla z pelet	1,27 Kč/kWh
Kolik stojí kWh zemního plynu	1,46 Kč/kWh
Kolik stojí kWh tepla z teplárny	2,25 Kč/kWh
Kolik stojí kWh elektřiny	4,83 Kč/kWh
Kolik stojí kWh z benzínové elektrocentrály	15 Kč/kWh

**Tabulka 5: Jednotlivé ceny energie za dodané teplo [15]**

Ceny za teplo jsou velmi odlišné (viz tabulka č.:5). Vytápění rodinného domu elektrickým proudem je pohodlné, ale velmi drahé.

Cenové srovnání nákladů na vytápění pro různé varianty zdroje tepla je patrné z tabulky č. 6.

Nejdražší variantou vytápění je elektřina a nejlevněji vychází topení dřevem. Z hlediska komfortu uživatele a finanční náročnosti nejvýhodněji vychází varianta topení zemním plynem. Tuto variantu použijeme u výpočtu návratnosti počáteční investice.

Zdroje energie	Kč/kWh	Energetická náročnost na vytápění za rok/kWh			Náklady na vytápění RD za rok /Kč		
		Alfa	Beta	Gama	Alfa	Beta	Gama
uhlí	0,85 Kč	19790	16880	13547	16 821,50 Kč	14 348,00 Kč	11 514,95 Kč
dřevo	1,17 Kč	19790	16880	13547	23 154,30 Kč	19 749,60 Kč	15 849,99 Kč
pelety	1,27 Kč	19790	16880	13547	25 133,30 Kč	21 437,60 Kč	17 204,69 Kč
zemní plyn	1,46 Kč	19790	16880	13547	28 893,40 Kč	24 644,80 Kč	19 778,62 Kč
elektřina	4,83 Kč	19790	16880	13547	95 585,70 Kč	81 530,40 Kč	65 432,01 Kč

**Tabulka 6: Náklady na vytápění za rok**

## 4.6 Návratnost počáteční investice do zateplení

Pro výpočet návratnosti počáteční investice zvolím způsob vytápění zemním plynem. Vytápění zemním plynem je nenáročné na obsluhu a ceny energií jsou na rozdíl od elektřiny velmi příznivé.

- Počáteční náklady do zateplení rodinného domu

Alfa: 247053,16 Kč

Beta: 293144,53 Kč

Gama: 463 849,28 Kč

- Rozdíl počátečních investic od rodinného domu typu Alfa

Beta: 293 144,53 - 247 053,16 = 46 091,37 Kč

Gama: 463 849,28 - 247 053,16 = 216 796,12 Kč

- Náklady na vytápění zemním plynem za rok

Alfa: 28893,40 Kč

Beta: 24644,80 Kč

Gama: 19778,62 Kč

- Rozdíl nákladů na vytápění zemním plynem za rok od rodinného domu typu Alfa

Beta: 28 893,40 - 24644,80 = 4 248,6 Kč

Gama: 28 893,40 - 19778,60 = 9114,78 Kč

- Počet let návratnosti počátečních nákladů

Beta: 46091,37:4248,6 = **11** let

Gama: 216796,12:9114,78 = **24** let

## 5 Závěr a zhodnocení výsledků

Během zpracování své bakalářské práce byla získána řada zajímavých více či méně očekávaných poznatků. Pro investora je důležitý především ukazatel „návrstnost počáteční investice“, který je vodítkem při zvažování celého konceptu výstavby rodinného domu.

Návrstnost počáteční investice do zateplení rodinného domu Beta při aktuálních cenách energií je 11 let (viz str. 37).

Rodinný dům ve variantě Gama je velmi dobře zateplen. Cena použitých materiálů je velmi vysoká, a z toho důvodu je při aktuálních cenách energií návratnost až 24 let (viz str. 37).

Po důkladném proniknutí do principu výpočtu energetické náročnosti budov jsem zjistil i následující. Nejlepší variantou je použít typy materiálů pro rodinný dům Beta, které jsou cenově dobře dostupné, a zároveň zvolit větší tloušťku použité tepelné izolace. Takto upravený rodinný dům Beta by spadal do energetické třídy s označením A - mimořádně úsporná. Tato domněnka by musela být řádně prověřena podrobnou analýzou a výpočtem v programech Teplo a Energie.

Konečné rozhodnutí ovšem vždy závisí na prioritách stavitele, je nutné zvážit dobu životnosti stavby odhadované na 50 let, dobu života člověka a možnost růstu cen energií.

Dle mého názoru je ideální varianta Beta, kterou bych stavebníkovi po zpracování této práce jednoznačně doporučil.

Pro velkou obsáhlost výpočtů a výsledku z používaných programů nelze vše shrnout pouze v této kapitole Závěr. Řada výsledků výpočtů je pouze přílohou této práce. Hlubší analýza a aplikace těchto výsledků proběhne v některé z mých dalších prací. Věřím, že do budoucna se budu věnovat i vyhodnocení ostatních ukazatelů z programů Energie a Teplo a vytváření kompletních Průkazů energetické náročnosti budov.

Energetické průkazy jsou dnes nezbytné minimum k získání stavebního povolení. Ovšem komplexní znalost energetické problematiky budov podporuje v současné době tolik diskutovaná témata optimalizací technických zařízení budov, výstavby šetrné k neobnovitelným zdrojům a trvale udržitelného rozvoje.

Dle mého názoru se vývoj bude tímto směrem ubírat i nadále. Během svých dalších studií a i praxe ve stavební společnosti bych se rád věnoval návrhům a realizacím budov v pasivním standardu. Proto se i nadále budu seznamovat s novými trendy a zabývajícími se energetickou účinností, úsporami energií nejen za účelem minimalizovat provozní náklady, ale i držet komfortní environmentálně přátelský standard bydlení, jak přísluší vyspělé společnosti moderního světa.



## 6 Seznam použité literatury

- [1] SPOUSTOVÁ, Michaela. *Ekonomická návratnost domů chráněných zemí a jejich vliv na životní prostředí: Historie domů chráněných zemí v české republice i ve světě*. Praha, 2011. Diplomová práce. Vysoká škola ekonomická v Praze, Národohospodářská, Ekonomika a správa životního prostředí. Vedoucí práce Doc. Ing. Antonín Dvořák, CSc.
- [2] *Stavebnictví3000* [online]. Hradec Králové: Ing. Dana Dalmatika Daňková, RNDr. Jiří Hejhálek, 2009 [cit. 2016-03-16].  
Dostupné z: <http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/tepelne-izolace-prehled-materialy-druhy-zpusoby-po/>
- [3] Onlinestavba: NEOPOR. *Onlinestavba* [online]. Dunajská Streda, 2011 [cit. 2016-03-16].  
Dostupné z: <http://www.onlinestavba.sk/produkt/neopor-polystyren-eps70/2653>
- [4] Isover: STYRODUR 2500 C. *Http://www.isover.sk/: STYRODUR 2500 C* [online]. Bratislava: Divízia ISOVER Saint-Gobain Construction Products, s.r.o, 2012 [cit. 2016-03-16]. Dostupné z: <http://www.isover.sk/articles/index/136-STYRODUR-2500-C>
- [5] Stavba.tzb-info: Izolace PUR, PIR a fenolická pěna. *Stavba.tzb-info: PIR* [online]. Křenova 438/3, 162 00 Praha 6: Topinfo s.r.o, 2015 [cit. 2016-03-16]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/299-izolace-pur-pir-a-fenolicka-pena>
- [6] Svepomoci: Pěnové sklo. *Svepomoci: Pěnové sklo* [online]. Severní 233 261 01 Příbram.: CONDA s. r. o., 2013 [cit. 2016-03-16]. Dostupné z: <http://www.svepomoci.cz/stavba-domu/zaklady-a-deska/3228-penove-sklo-geocell-a-zakladova-deska.html>
- [7] Zelenebydleni: Domy chráněné zemí. *Zelenebydleni: Domy chráněné zemí* [online]. Zlín-Louky: Studio9, 2011 [cit. 2016-03-16]. Dostupné z: <http://www.zelenebydleni.eu/domy-chranene-zemi.html>

- [8] Bydlení.idnes. *Bydlení.idnes* [online]. Anděl Media Centrum: Marcela Vraná, 2011 [cit. 2016-03-16]. Dostupné z: [http://bydleni.idnes.cz/dum-ve-svycarsku-0k7-architektura.aspx?c=A110809\\_155718\\_architektura\\_web](http://bydleni.idnes.cz/dum-ve-svycarsku-0k7-architektura.aspx?c=A110809_155718_architektura_web)
- [9] KULHÁNEK, František. *Tepelná ochrana a energetika budov: TP 1.8.1 : technická pomůcka k činnosti autorizovaných osob*. 1. vyd. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě vydává Informační centrum ČKAIT, 2014. ISBN 978-80-87438-48-0.
- [10] Kcad: Odborná garance. *Kcad: Odborná garance* [online]. K-CAD, spol. s r.o.: doc. Dr. Ing. Zbyněk Svoboda, 2015 [cit. 2016-03-16]. Dostupné z: <http://kcad.cz/cz/o-nas/odborna-garance/>
- [11] Kcad: Teplo 2015. *Kcad: Teplo 2015* [online]. K-CAD, spol. s r.o.: doc. Dr. Ing. Zbyněk Svoboda, 2015 [cit. 2016-03-16]. Dostupné z: <http://kcad.cz/cz/stavebni-fyzika/tepelna-technika/teplo/>
- [12] Kcad: Energie 2015. *Kcad: Energie 2015* [online]. K-CAD, spol. s r.o.: doc. Dr. Ing. Zbyněk Svoboda, 2015 [cit. 2016-03-16]. Dostupné z: <http://kcad.cz/cz/stavebni-fyzika/tepelna-technika/energie/>
- [13] Vekra: Dřevěná okna. *Vekra: Dřevěná okna* [online]. Hlavní 456 250 89 Lázně Toušeň: Window Holding a.s., 2015 [cit. 2016-03-16]. Dostupné z: <https://www.vekra.cz/sortiment/okna-dvere/okna/drevena-okna-eurookna/>
- [14] Bib: Průkaz energetické náročnosti budov - "PENB". *Bib: Průkaz energetické náročnosti budov - "PENB"* [online]. Sladkovského 383 530 02, Pardubice: B I B, a.s. [cit. 2016-03-16]. Dostupné z: <http://bib.cz/index.php?page=Energeticke-stitky>

- [15] Cenyenergie: Kolik stojí kWh. *Cenyenergie: Kolik stojí kWh* [online]. Petr Wolf, 2015 [cit. 2016-03-16]. Dostupné z: <http://www.cenyenergie.cz/kolik-stoji-kwh/#/promo-ele>
- [16] The New York Times. *Http://www.nytimes.com/* [online]. L: ELISABETH ROSENTHAL, 2008 [cit. 2016-03-12].  
Dostupné z: [http://www.nytimes.com/2008/12/27/world/europe/27house.html?ref=world&pagewanted=all&\\_r=0](http://www.nytimes.com/2008/12/27/world/europe/27house.html?ref=world&pagewanted=all&_r=0)
- [17] Building. *Http://www.buildings.com/* [online]. Paul R. Bertram Jr, 2009 [cit. 2016-03-12].  
Dostupné z: <http://www.buildings.com/articledetails/articleid/9114/title/new-trends-in-insulation.aspx>
- [18] Greenbuilding: Zero Energy Homes. *Greenbuilding.com* [online]. David Johnston, 2010 [cit. 2016-03-12]. Dostupné z: <http://www.greenbuilding.com/zero-energy-homes>
- [19] SURE HOUSE: Sustainable and resilient. *Surehouse.org/* [online]. Hoboken NJ 07030-5991 USA: Stevens Institute of Technology., ")!% [cit. 2016-03-12]. Dostupné z: <http://surehouse.org/innovation/highly-efficient-envelope/>

## 7 Seznam tabulek

Tabulka 1: Cenové srovnání počáteční investice.....	31
Tabulka 2: Stanovení průměrného součinitele prostupu tepla Alfa[12].....	33
Tabulka 3: Stanovení průměrného součinitele prostupu tepla Beta[12].....	34
Tabulka 4: Stanovení průměrného součinitele prostupu tepla Gama[12].....	35
Tabulka 5: Jednotlivé ceny energie za dodané teplo [15].....	36
Tabulka 6: Náklady na vytápění za rok .....	36

## 8 Seznam obrázků

Obrázek 1: Šedý polystyrén Neopor[3] .....	5
Obrázek 2: Styrodur[4] .....	5
Obrázek 3: Tepelná izolace PIR[5] .....	6
Obrázek 4: Pěnové sklo [6] .....	7
Obrázek 5: Vakuový izolační panel [2] .....	8
Obrázek 6: Minerální vlna [2] .....	9
Obrázek 7: Celulózová izolace [2] .....	10
Obrázek 8: Dům v zemi [8] .....	11
Obrázek 9: Dům v zemi [7] .....	11
Obrázek 10: Vítězný projekt SURE[18] .....	13
Obrázek 11: Skladba stěny Alfa .....	20
Obrázek 12: Skladba podlahy Alfa .....	21
Obrázek 13: Skladba stropu Alfa .....	22
Obrázek 14: Okno Natura 68 [13] .....	22
Obrázek 15: Skladba stěny Beta .....	23
Obrázek 16: Skladba podlahy Beta .....	24
Obrázek 17: Skladba stropu Beta .....	24
Obrázek 18: Okno Natura 78 [13] .....	24
Obrázek 19: Skladba stěny Gama .....	25
Obrázek 20: Skladba podlahy Gama .....	26
Obrázek 21: Skladba stropu Gama .....	26
Obrázek 22: Okno Natura 94 [13] .....	27
Obrázek 23: Formulář programu Teplo[11] .....	28
Obrázek 24: Formulář programu Energie [12] .....	29
Obrázek 25: Shrnutí vlastností hodnocených konstrukcí program Teplo [11] .....	32
Obrázek 26: Klasifikační třídy energetické náročnosti[14] .....	32