



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ENERGETICKÝ ÚSTAV**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
ENERGY INSTITUTE

# **ENERGETICKO-EKONOMICKÁ OPTIMALIZACE PARAMETRU TEPELNÉ IZOLACE MODERNÍCH RODINNÝCH DOMU**

ENERGY-ECONOMIC OPTIMIZATION OF THERMAL INSULATION PARAMETERS OF  
MODERN FAMILY HOUSES

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**  
MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**Bc. FILIP RICHTER**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**doc. Ing. MICHAL JAROŠ, Dr.**

BRNO 2013



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2012/2013

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

student(ka): Bc. Filip Richter

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Technika prostředí (2301T024)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

### **Energeticko-ekonomická optimalizace parametrů tepelné izolace moderních rodinných domů**

v anglickém jazyce:

### **Energy-economic optimization of thermal insulation parameters of modern family houses**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Současný trend výstavby rodinných domů směřuje k dosažení standardu nízkoenergetického, popř. pasivního domu. Hlavním cestou je zvýšení tepelně-izolačních parametrů obvodového pláště (zdi, okna, dveře), které by však mělo jít „ruku v ruce“ s odpovídajícími opatřeními na straně vytápěcího a větracího systému (např. instalace nuceného větrání s rekuperací tepla, využití různých druhů solárních kolektorů apod.). To vše vyžaduje určité investiční náklady. Z hlediska investora je pak důležité, nakolik účelně jsou tyto náklady vynaloženy a jaká je následná ekonomická návratnost zvýšených investic.

Cíle diplomové práce:

Na základě energetické simulace zpracujte rozbor tepelných ztrát a zisků (včetně solárních) pro dvě vzorové novostavby rodinných domů (klasickou zděnou konstrukci a lehkou dřevostavbu). Posuďte vliv jednotlivých složek a navrhnete optimální skladbu opatření ke snížení spotřeby tepla na vytápění a větrání. Při návrhu respektujte platnou legislativu i vliv na kvalitu vnitřního prostředí. Posuďte energetický dopad a ekonomickou výhodnost jednotlivých opatření. Formulujte závěry pro uvedené typy objektů.

Seznam odborné literatury:

Vaverka, J. a kol.: Stavební tepelná technika a energetika budov. Vysoké učení technické v Brně, 2006.

Chmúrny, I.: Tepelná ochrana budov. Jaga group, Bratislava, 2003.

Chyský, J., Hemzal, K. a kol.: Větrání a klimatizace. 3. vydání. BOLIT-B press, Brno, 1993.

Vyhláška ze dne 18. června 2007 o energetické náročnosti budov. Sbírka zákonů č. 148/2008, s. 1855-1879.

Internetový portál TZB-info ([www.tzb-info.cz](http://www.tzb-info.cz)).

Další internetové, časopisecké a jiné zdroje dle vlastního výběru studenta.

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Michal Jaroš, Dr.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 11.11.2012

L.S.

---

doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.  
Děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Předmětem diplomové práce je simulace energetické bilance dvou novostaveb, klasické zděné stavby a lehké dřevostavby. Na základě těchto simulací jsou porovnávány vlivy různých parametrů izolací včetně výplní stavebních otvorů na tepelné ztráty, energetickou náročnost chlazení a solární zisky. Energetické simulace byly provedeny programem TRNSYS 16\_1.

## **ABSTRACT**

The subject of this thesis is to simulate the energy balance of the two new buildings, classic brick buildings and light wood construction. On the basis of these simulations are compared effects of various parameters of insulation including panels for building openings on heat loss, energy efficiency cooling and solar gains. Energy simulations were performed with TRNSYS 16\_1.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Novostavba, zděný dům, dřevostavba, tepelná izolace, TRNSYS, návratnost investic, tepelné ztráty, energetická náročnost

## **KEY WORDS**

New building, brick house, wooden house, insulation, TRNSYS, Return on investment, heat loss, energy intensity

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

RICHTER, F. *Energeticko-ekonomická optimalizace parametrů tepelné izolace moderních rodinných domů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 85 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Michal Jaroš, Dr..

# PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Energeticko-ekonomická optimalizace parametru tepelné izolace moderních rodinných domu“ vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

20. května 2013

.....  
Filip Richter

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto bych chtěl poděkovat mému vedoucímu doc. Ing. Michalu Jarošovi, Dr. Za odborné vedení při vypracování této práce. Dále pak celé rodině, která mě podporovala v mém studiu a umožnila mi úspěšně dostudovat.



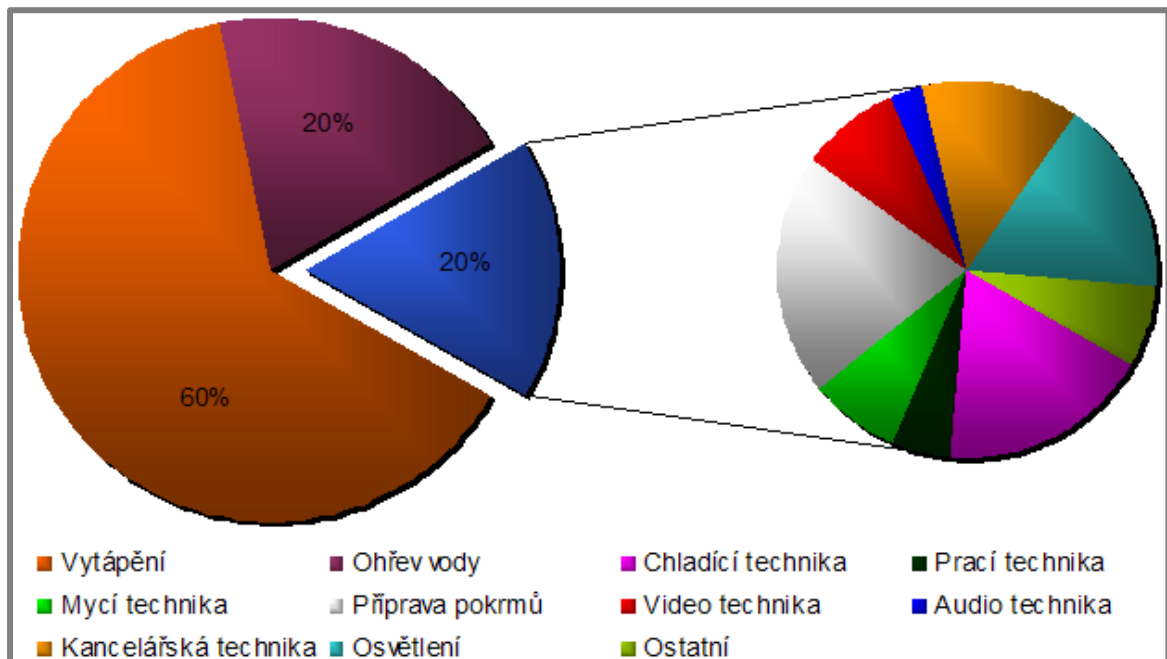
## OBSAH

<b>OBSAH</b> .....	<b>9</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>11</b>
<b>1 TEPELNĚ TECHNICKÉ VLASTNOSTI STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ</b> .....	<b>13</b>
1.1 PROSTUP TEPLA [4], [5].....	13
1.2 DIFUZE VODNÍ PÁRY [3], [4] .....	14
1.3 IZOLAČNÍ MATERIÁLY .....	15
1.3.1 Tradiční izolační materiály .....	15
1.3.2 Přírodní izolační materiály .....	17
1.3.3 Aerogel – izolační materiál budoucnosti.....	20
<b>2 NOVÁ ZELENÁ ÚSPORÁM</b> .....	<b>23</b>
<b>3 HODNOCENÉ STAVBY</b> .....	<b>25</b>
3.1 ZDĚNÁ STAVBA .....	25
3.2 DŘEVOSTAVBA .....	27
<b>4 ENERGETICKÁ SIMULACE STAVEB</b> .....	<b>31</b>
4.1 PARAMETRY IZOLACE .....	31
4.2 STAVEBNÍ KONSTRUKCE ZDĚNÉ STAVBY .....	33
4.3 STAVEBNÍ KONSTRUKCE DŘEVOSTAVBY .....	38
4.4 VSTUPNÍ DATA A PARAMETRY SIMULACE .....	41
<b>5 VÝSLEDKY SIMULACÍ</b> .....	<b>47</b>
5.1 ENERGETICKÉ POSOUZENÍ ZDĚNÉ STAVBY .....	47
5.2 EKONOMICKÉ POSOUZENÍ ZDĚNÉ STAVBY .....	54
5.3 ENERGETICKÉ POSOUZENÍ DŘEVOSTAVBY .....	60
5.4 EKONOMICKÉ POSOUZENÍ DŘEVOSTAVBY .....	66
<b>6 POSOUZENÍ VLIVU JEDNOTLIVÝCH FAKTORŮ NA SPOTŘEBU ENERGIE</b> .....	<b>71</b>
6.1 VLIV PARAMETRŮ TEPELNÉ IZOLACE .....	71
6.2 VLIV PARAMETRŮ VÝPLNÍ STAVEBNÍCH OTVORŮ.....	71
6.3 VLIV VNITŘNÍ TEPLoty.....	72
<b>DISKUZE</b> .....	<b>73</b>
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>75</b>
<b>ZDROJE</b> .....	<b>77</b>
<b>POUŽITÉ SYMBOLY A ZKRATKY</b> .....	<b>79</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>81</b>

<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>83</b>
<b>PŘÍLOHY .....</b>	<b>85</b>

## ÚVOD

Stále se zvyšující ceny energií vedou ke snižování energetické náročnosti rodinných domů. Vzhledem k tomu, že z energetických nákladů průměrné domácnosti má největší podíl právě vytápění (v průměru 60 % [1]), je opodstatněné zvyšování tepelného odporu stavebních konstrukcí, napomáhající ke snížení spotřeby tepla během topné sezóny nebo chladu v případě letních měsíců. To s sebou nese zvýšené požadavky na izolační materiály, okna a dveře s lepšími tepelně-technickými vlastnostmi.



Obr. 0.1 – Rozdělení spotřeby energií v průměrné domácnosti [1]

Z ekonomického hlediska je vhodné navržení parametrů izolace tak, aby doba návratnosti byla co nejkratší, spolu s přiměřenou energetickou úsporou. K instalaci lepších izolačních materiálů, oken a dveří může napomoci i nově vyhlášený dotační program Nová Zelená úsporám, který u novostaveb postavených v pasivním nebo nulovém standardu dle normy ČSN 73 0540-2 slibuje dotaci ve výši 400 000 Kč pro pasivní dům, respektive 500 000 Kč pro nulový dům [2].

V dnešní době lze k návrhu optimálních parametrů využít mnoho softwarových nástrojů, které simulují energetické přenosy v budovách. Mezi tyto programy patří i TRNSYS 16\_1, který dokáže z dodaných meteorologických dat a modelu budovy vypočítat spotřebu energie na vytápění a větrání včetně započítání solárních, popřípadě jiných tepelných zisků.



# 1 TEPELNĚ TECHNICKÉ VLASTNOSTI STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ

Pro porovnání vlivu stavebních materiálů u tepelně technických výpočtů je nutné znát vlastnosti těchto materiálů, mezi které patří chemické složení, hustota, pórovitost, vlhkost, součinitel tepelné vodivosti a tepelná kapacita [3].

Tepelně izolační látky se vždy skládají ze samotné látky a vzduchu. Protože vzduch má menší součinitel tepelné vodivosti než samotná látka, lze říci, že čím více vzduchu látka obsahuje, tím je její součinitel tepelné vodivosti nižší. S tím souvisí menší hustota materiálu, která je tak jedním z určujících parametrů. Další vlastnost, která ovlivňuje tepelnou vodivost materiálu, je jeho pórovitost, protože velikost a tvar jednotlivých pórů zásadně ovlivňuje, jak se teplo bude šířit. U menších pórů dochází pouze k vedení tepla vzduchem, u větších pak navíc ke konvekci, která celkový součinitel tepelné vodivosti izolační látky ovlivní negativně. Vlhkost ovlivňuje tepelnou vodivost podobným způsobem jako obsah vzduchu. Tím, že součinitel tepelné vodivosti vody je přibližně 25krát větší než u vzduchu, je její přítomnost, hlavně u izolačních materiálů, nežádoucí [3].

## 1.1 Prostup tepla [4], [5]

Samotný prostup tepla se skládá z přestupu tepla na vnitřní straně, vedení tepla samotnou konstrukcí a přestupu na vnější straně. Odolnost stavební konstrukce vůči prostupu tepla lze charakterizovat součinitelem prostupu tepla. Ten je převrácenou hodnotou tepelného odporu konstrukce lze jej odvodit z rovnosti hustot tepelných toků:

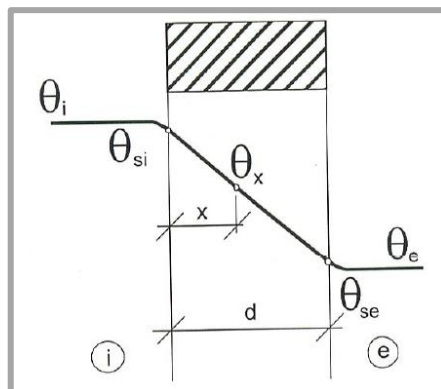
$$q_i = q = q_e \quad (1.1)$$

Kde:

$q_i$  – hustota tepelného toku přestupem na vnitřní straně stěny [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ ]

$q$  – hustota tepelného toku vedením ve stěně [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ ]

$q_e$  – hustota tepelného toku přestupem na vnější straně stěny [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ ]



Obr. 1.1 – Schéma konstrukce pro odvození tepelného odporu [5]

Vedení tepla:

$$q = \lambda \frac{(\theta_{si} - \theta_{se})}{d} = \frac{(\theta_{si} - \theta_{se})}{\frac{d}{\lambda}} = \frac{(\theta_{si} - \theta_{se})}{R} \quad (1.2)$$

Kde:  $R = \frac{d}{\lambda}$  [m<sup>2</sup>·K/W] tepelný odpor konstrukce pro jednu vrstvu (1.3)

$$R = \sum_1^n R_j = \sum_1^n \frac{d_j}{\lambda_j} \quad \text{pro vícevrstvou konstrukci} \quad (1.4)$$

Přestup tepla:

$$q_i = h_{si} \cdot (\theta_i - \theta_{si}) = \frac{(\theta_i - \theta_{si})}{R_{si}} \quad (1.4)$$

$$q_e = h_{se} \cdot (\theta_{se} - \theta_e) = \frac{(\theta_{se} - \theta_e)}{R_{se}} \quad (1.5)$$

Kde:  $R_{si} = \frac{1}{h_{si}}$  (1.6)

$$R_{se} = \frac{1}{h_{se}} \quad (1.7)$$

Z rovnic 1.1, 1.3, 1.4, 1.6 a 1.7 pak odvodíme tepelný odpor konstrukce vůči prostupu tepla  $R_T$ :

$$R_T = R_{si} + R + R_{se} \quad (1.8)$$

Převrácenou hodnotou tepelného odporu dostaneme součinitel prostupu tepla:

$$U = \frac{1}{R_T} \quad [\text{W/m}^2 \cdot \text{K}] \quad (1.9)$$

## 1.2 Difuze vodní páry [3], [4]

Ve vzduchu obsažené vodní páry mají tendenci pronikat stavebními konstrukcemi. Samotný prostup vlhkosti je zapříčiněn gradientem parciálních tlaků vodní páry, podobně jako je příčinou prostupu tepla gradient tepla. Podmínkou difuze vodní páry skrze určitý materiál je existence makrokapilár, jejichž rozměr je větší než střední volná dráha molekul vody [5],[4].

Lze vidět analogii s ustáleným tepelným tokem ve vztahu pro výpočet hustoty ustáleného difuzního toku vody [5]:

$$q_v = -\delta_p \text{grad } p_v \quad [\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}] \quad (1.10)$$

Kde:  $q_v$  hustota difuzního toku vodní páry [kg/m<sup>2</sup>s]

$\delta_p$  součinitel difuze vodní páry [s]

$p_v$  skutečný parciální tlak vodní páry [Pa]

## 1.3 Izolační materiály

Materiály s nízkou tepelnou vodivostí, souhrnně nazývané izolační materiály se dají rozdělit na tradiční izolační materiály, dnes běžně používané, a přírodní materiály, které jsou díky obnovitelnosti jejich zdrojů ekologicky výhodnější.

### 1.3.1 Tradiční izolační materiály

Jsou v dnešní době nejrozšířenější, zejména kvůli své nízké ceně. Tyto materiály jsou vyráběny na bázi polystyrénu, minerálních vláken nebo polyuretanu.

#### Polystyrén

Polystyrén je produktem polymerace styrenu. Samotný polystyrén je ve své základní podobě tvrdý, křehký plast, který časem stárne. Jako izolace se používá v expandované (EPS) nebo extrudované (XPS) formě. Expandovaný polystyrén se používá ve formě desek na zateplování fasád, střech i podlah, nebo ve formě malých, mléčně zakalených perel, které slouží jako plnivo do betonu pro odlehčení a zlepšení jeho izolačních vlastností. Extrudovaný polystyrén se vyrábí vytlačováním a zpěňováním ve formě desek. Součinitel tepelné vodivosti polystyrenové izolace se pohybuje v rozmezí  $\lambda = 0,03$  až  $0,04$  W/m·K [6], [7].



Obr. 1.2 – Deska z expandovaného polystyrénu [6]

Nevýhodou polystyrénu je, že není odolný vůči organickým rozpouštědlům, jako jsou benzín, aldehydy a ketony, proto se nehodí na izolaci garáží a průmyslových závodů. Další slabinou polystyrenu je citlivost na UV záření a vyšší teplotu (nad 70 °C) a dále hořlavost, která se snižuje přidáváním Hexabromcyklododekanu [6], [8].

#### Minerální vaty

Jsou vyráběné z kamenných nebo skelných vláken. Jako surovina pro výrobu skelných vláken slouží písek nebo sklo, u kamenných vláken se využívá čedič, diabas nebo vysokopeční struska. Výroba probíhá na rozvláknovacích strojích, které zpracovávají lávu ze vstupních surovin. K vystupujícím vláknům je pak přidáváno

organické pojivo, popřípadě impregnační prostředky. Samotná izolace se vyrábí ve formě desek, nebo rolí, které po rozvinutí dosahují délky až 10 m. Součinitel tepelné vodivosti se u minerálních vln pohybuje v rozmezí  $\lambda = 0,03$  až  $0,04$  W/m·K. [7], [9]



Obr. 1.3 – Izolace z minerální vlny [9]

Výhodami minerální vlny jsou paropropustnost, vodoodpudivost, nehořlavost a odolnost vůči plísním, houbám a bakteriím. Nevýhodou je dráždivost očí a sliznic při manipulaci bez ochranných pomůcek.

### **Polyuretanová (PUR) pěna**

PUR pěna je oproti dvěma předchozím materiálům relativně nová. Poprvé byla jako izolační hmota použita až koncem 60. let. Ve stavebnictví se používá tzv. tvrdá PUR pěna. PUR pěna má z tradičních materiálů nejmenší tepelnou vodivost, která se pohybuje v rozmezí  $\lambda = 0,02$  až  $0,023$  W/m·K [10].

Samotná aplikace PUR pěny probíhá buď nástřikem (obr. 1.4), kdy do 2 až 10 sekund změny skupenství z tekutého na pevné a 30krát zvětší svůj objem, nebo litím, kdy ztvrdnutí trvá přibližně 10krát déle než u nástřiku zvětšení, objemu je rovněž 30násobné [10].



Obr. 1.4 – Nástřik PUR pěny v podkroví [10]

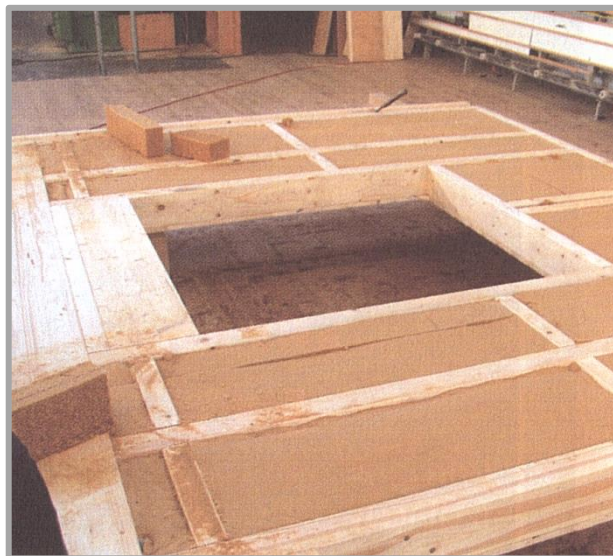


### 1.3.2 Přírodní izolační materiály

Jako ekologicky příznivější alternativa lze použít materiály přírodní, které využívají obnovitelné zdroje k produkci relativně účinných izolací. Přírodní izolace se vyrábí z materiálů, jako je dřevo, korek, ovčí vlna, konopí, len apod.

#### Dřevovláknitá izolace

Donedávna opomíjený materiál, z něhož lze vyrobit tepelnou izolaci, se skládá z jemných vláken měkkého dřeva, které byly působením páry a vysoké teploty vytvarovány do podoby desek. Tyto desky mají velmi dobré tepelněizolační vlastnosti ( $\lambda = 0,038$  až  $0,05$  W/m·K), nízký difuzní odpor a na rozdíl od ostatních izolací i dobré mechanické vlastnosti [11].



Obr. 1.5 – Dřevovláknité desky [11]

Ke kladům tohoto materiálu patří malý difuzní odpor, schopnost odpuzovat vodu, schopnost přijímat a uvolňovat vodní páru, jako jediný běžně užívaný izolační materiál má schopnost akumulovat teplo. Nevýhodou je hořlavost takovéto izolace [11].

#### Korek

Korková izolace se vyrábí z odumřelé kůry korkového dubu, který se vyskytuje v oblasti Středomoří. Zpracování korku začíná po sklizni jeho sušením, poté se rozeleme na granulát, který se vystaví vysoké teplotě (250 až 400 °C v závislosti na obsahu pryskyřice), čímž zvětší svůj objem a sníží tepelnou vodivost, která se poté pohybuje v rozmezí  $\lambda = 0,058$  až  $0,064$  W/m·K [11]. Jako izolační materiál je možné korek použít na izolaci střech, stěn i podlah.



Obr. 1.6 – Korková izolace [11]

### **Ovčí vlna**

Další z obnovitelných materiálů pro výrobu izolací je ovčí vlna. Ta se, kvůli odstranění lanolinu a nečistot, před zpracováním pere ve vodním roztoku s pracím prostředkem a sodou, a dále upravuje přípravkem pro zvláčnění vláken. Samotná izolace je poté vyráběna technologií kolmého kladení mykaného ovčího rouna bez použití pojiv. To je pak mechanicky přichyceno na armovací mřížku. Takto získaná izolace má součinitel tepelné vodivosti v rozmezí  $\lambda = 0,058$  až  $0,064$  W/m·K [11].

K výhodám této izolace patří difuzní propustnost, nehořlavost (zápalná teplota  $560$  °C) a schopnost vázat velké množství vody (30 až 35 % vlastní hmotnosti) při minimálním vlivu na tepelně-izolační schopnosti [11].



Obr. 1.7 – Izolace z ovčí vlny [11]

### **Konopí**

K výrobě této izolace se používá jedna z nejstarších kulturních rostlin, která byla používána pro výrobu provazů, látek atd. U nás je pěstování této rostliny omezeno

zákonem č. 167/1998 Sb. na odrůdy, které obsahují nejvýše 0,3 % látek ze skupiny tetrahydrocannabinolů [11].



Obr. 1.8 – Rohože konopné izolace [11]

Konopné izolace se používají jako náhrada izolací ze skelné nebo minerální vaty. Navíc nedrážní oči a pokožku při manipulaci bez ochranných pomůcek. Hodnota součinitele tepelné vodivosti se pohybuje okolo  $\lambda = 0,04 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ . Materiál je difuzně propustný. Nevýhodou je jeho hořlavost (maximální teplota  $120 \text{ }^\circ\text{C}$ ), která je snižována přidáváním sody při výrobě rohoží [11].

### Len

Jako poslední z přírodních izolačních materiálů se uvádí len, pocházející z rostliny *linu setého*. Zpracování probíhá na textilních strojích, které zplstňují vlákna, čímž vznikají tenké pásy rouna, které se na sebe navrství až do požadované tloušťky. Tepelné vlastnosti lněných izolací jsou podobné jako u konopných, součinitel tepelné vodivosti se pohybuje okolo hodnoty  $\lambda = 0,04 \text{ W/m}\cdot\text{K}$  [11].

Výhody lněných izolací jsou v odolnosti vůči napadení plísní a hmyzem a v dlouhé době životnosti, která překračuje hranici 50 let. Nevýhodou je hořlavost materiálu, kterou výrobci snižují přidáním boritých nebo amonných solí [11].



Obr. 1.9 – Lněná izolace [11]

### 1.3.3 Aerogel – izolační materiál budoucnosti

Tento materiál byl vytvořen v roce 1931 S. S. Kistlerem procesem superkritického vysoušení, který spočívá v nahrazení kapaliny jinou, s nižší kritickou teplotou a tlakem. Podmínkou je neomezená mísitelnost obou kapalin. Nejčastěji se vyrábí z oxidu křemičitého, který je v aerogelu přítomen pouze v 0,02 % objemu, zbytek činí vzduch. K dalším materiálům, ze kterých lze aerogel vyrobit, patří sloučeniny uhlíku, hliníku, chrómu, zinku a cínu [12].



Obr. 1.10 – Aerogel [12]

Tento materiál se vyznačuje velmi nízkým součinitelem teplotní vodivosti, který se pohybuje v rozmezí  $\lambda = 0,015$  až  $0,02$  W/m·K, což je méně než tepelná vodivost vzduchu  $\lambda = 0,026$  W/m·K a velmi malou hustotou, která je pouze  $3$  kg/m<sup>3</sup>. Teplota tání se pohybuje kolem  $1200$  °C. Díky těmto a dalším vlastnostem má patnáct zápisů v Guinnessově knize rekordů [12].

Samotný aerogel má mnohostranné využití hlavně ve vesmírném, chemickém a jaderném průmyslu. V komerční sféře je používán ve formě granulí pro zlepšení izolačních vlastností střešních oken, zkušebně byl použit jako polopropustná střecha v Georgia Institute of Technology's Solar Decathlon House. Jeho největší nevýhodou však je, že při styku s vodou se mění zpátky na gel, což brání jeho většímu průmyslovému využití [12].



## 2 NOVÁ ZELENÁ ÚSPORÁM

Jako nástupce za program dotací Zelená úsporám byl v listopadu 2012 vyhlášen program Nová Zelená úsporám, který je rozdělen na čtyři oblasti [2].

A – Snižování energetické náročnosti

B – Výstavba budov

C – Efektivní využití zdrojů energie

C.1 – Výměna hlavního lokálního zdroje tepla na vytápění současně s realizací opatření na snížení energetické náročnosti stávajících budov z oblasti A (povinná výměna)

C.2 – Výměna hlavního lokálního zdroje tepla na vytápění ve stávajícím objektu, kde byla opatření ke snížení energetické náročnosti již realizována

C.2 – Instalace solárního termického systému pro přípravu teplé vody

D – Podpora zpracování dokumentace

K řešenému tématu se vztahuje oblast B (novostavby). V případě novostaveb v pasivním standardu lze čerpat dotaci až ve výši 500 000 Kč [2]. Jednou z podmínek kategorizace domu jako pasivní je podle normy ČSN 73 0540-2 měrná potřeba tepla na vytápění nepřesahující hodnotu 20 kWh/m<sup>2</sup>·a pro rodinný dům a 15 kWh/m<sup>2</sup>·a v ostatních případech [13].





### 3 HODNOCENÉ STAVBY

Tato práce se zabývá hodnocením parametrů tepelných izolací dvou typů novostaveb, a to těžké zděné stavby a lehké dřevostavby.

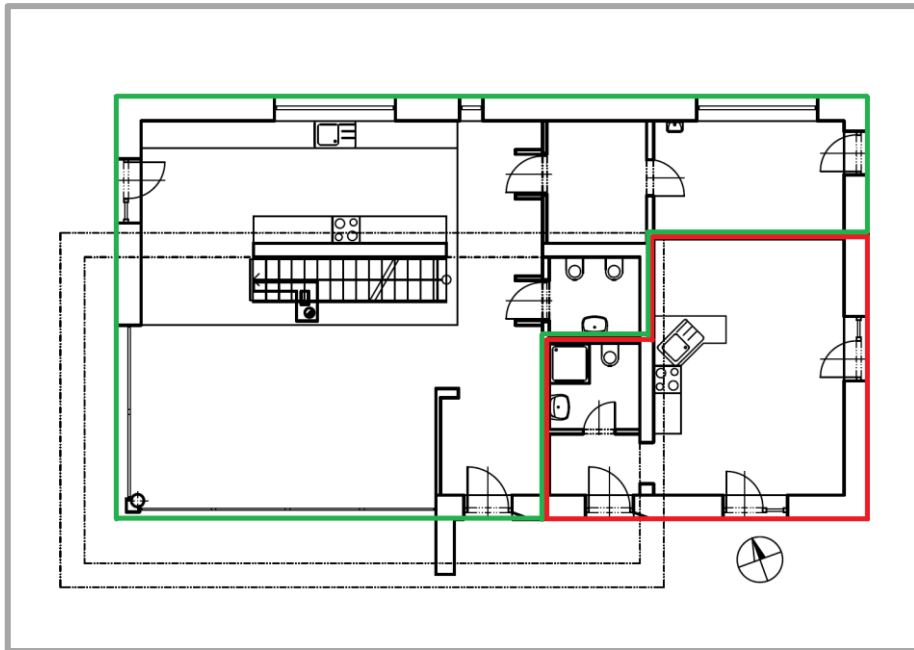
#### 3.1 Zděná stavba

Zděná stavba se nachází ve městě Studénka v okrese Nový Jičín, její hlavní vchod je orientovaný mírně jihozápadním směrem.

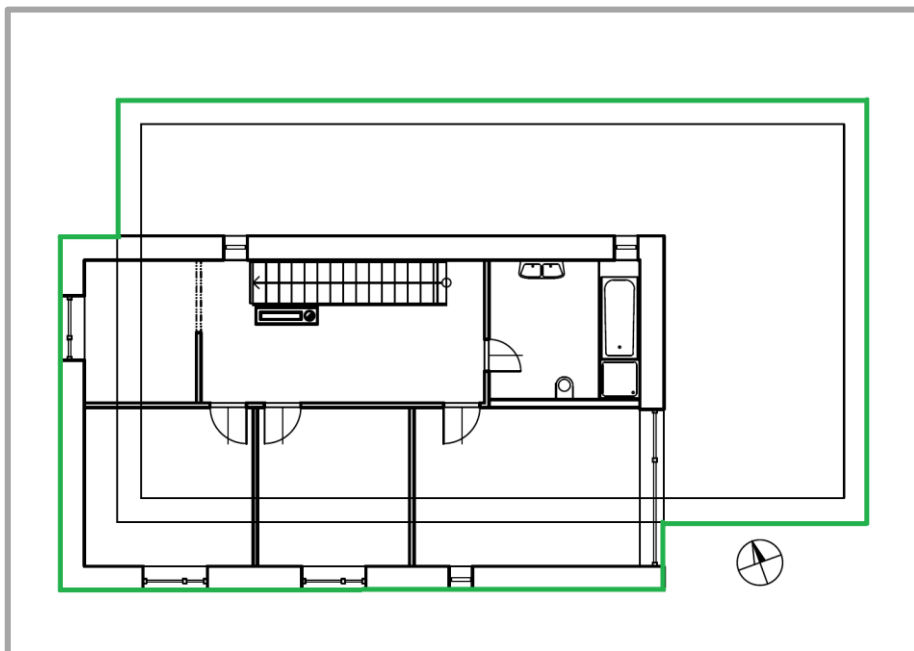


Obr. 3.1 – Umístění zděné stavby. [14]

Jedná se o dvoupodlažní, nepodsklepený, dvougenerační rodinný dům s rovnou střechou o půdorysných rozměrech 16,56 m x 9,31 m, zastavěnou plochou 150 m<sup>2</sup>, zpevněnou plochou 161 m<sup>2</sup> a obytnou plochou 205 m<sup>2</sup>. V domě se nachází dvě bytové jednotky. Větší z nich zabírá přibližně tři čtvrtiny z prvního podlaží a celé druhé podlaží (na obr. 3.2 a obr. 3.3 vyznačena zeleně). Menší zaujímá zbytek prvního podlaží (na obr. 3.2 vyznačená červeně). Přesná dispozice obou podlaží je v příložených výkresech, které byly zpracovány na základě podkladů od investora.



Obr. 3.2 – Půdorys 1.NP hodnocené zděné stavby.



Obr. 3.3 – Půdorys 2.NP hodnocené zděné stavby.

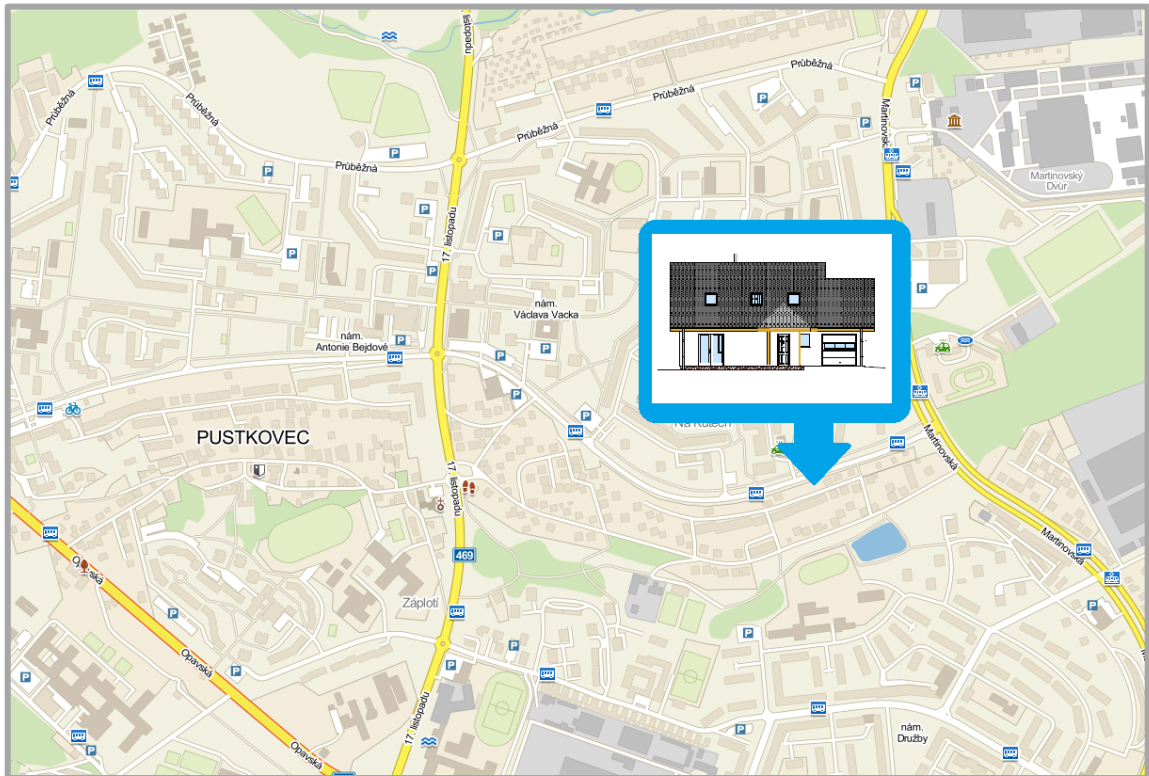
### **Stavební provedení zděné stavby**

Nosné obvodové zdi jsou tvořeny z vápenopískových kvádrů KM BETA SENDWIX 8DF-D o tloušťce 240 mm, nosné příčky v 1.NP jsou z kvádrů KM BETA SENDWIX 5DF-LB o tloušťce 300 mm. Nenosné příčky tvoří tvárnice YTONG o tloušťkách 100 a 150 mm. Hlavní nosnou částí stropu 1.NP tvoří železobeton o tloušťce 210 mm, strop 2.NP je tvořen stropním systémem POROTHERM o tloušťce 270 mm. Zaizolování obvodové stěny je provedeno expandovaným polystyrénem EPS 70 F, u stropů sousedících

s vnějším prostředím pak expandovaným polystyrénem EPS 100 S a u podlah EPS 70 S. Posouzení vhodnosti jejich tloušťky je předmětem této práce.

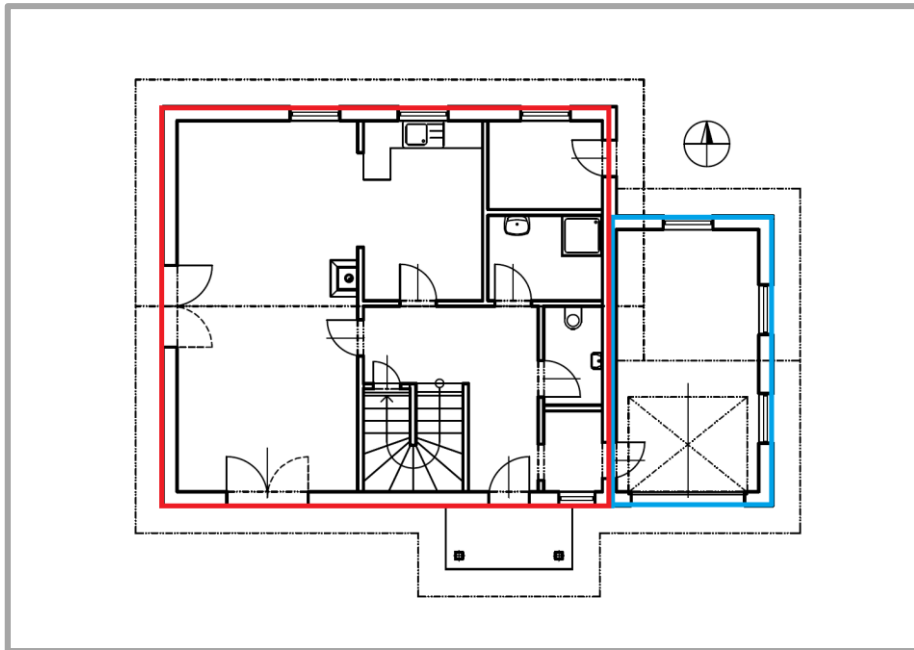
### 3.2 Dřevostavba

Posuzovaná dřevostavba se nachází ve čtvrti Pustkovec města Ostrava, s orientací hlavního vchodu jižním směrem.

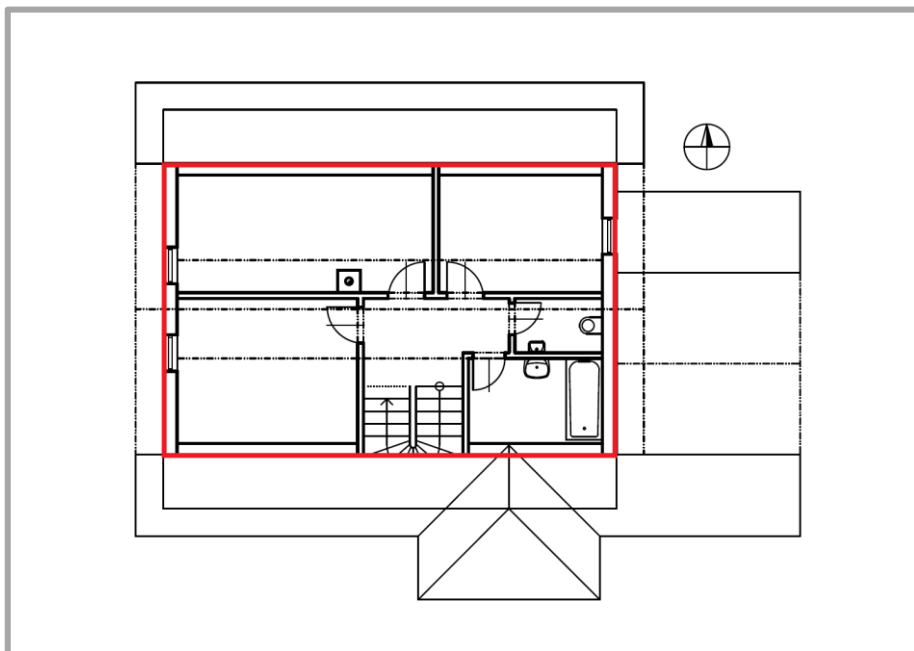


Obr. 3.4 – Umístění dřevostavby. [14]

Jedná se o dvoupodlažní nepodsklepený rodinný dům se sedlovou střechou o půdorysných rozměrech 13,45 m x 8,8 m, se zastavěnou plochou 110 m<sup>2</sup>, zpevněnou plochou 114 m<sup>2</sup> a obytnou plochou 142 m<sup>2</sup>. Součástí stavby je garáž (na obr. 3.5 a obr. 3.6 vyznačená modře, obytné prostory pak červeně). Detailní výkresy prvního a druhého podlaží jsou v příložených výkresech zpracovaných na základě podkladů investora.



Obr. 3.5 – Půdorys 1.NP posuzované dřevostavby.



Obr. 3.6 – Půdorys 2.NP posuzované dřevostavby.

### **Stavební provedení dřevostavby**

Nosné obvodové stěny jsou tvořeny dřevěnými nosnými trámy o rozměrech 140 x 60 mm, mezery mezi trámy jsou vyplněny minerální vatou ISOVER ORSIK a z vnitřní a vnější strany zakryty OSB deskou o tloušťce 12,5 mm. Stěny ve 2.NP sousedící s prostory pod střechou jsou tvořeny trámy o rozměrech 120 x 60 mm, mezery mezi nimi jsou opět vyplněny minerální vlnou ISOVER ORSIK. Konstrukci stropu 1.NP tvoří trámy o rozměrech 240 x 60 mm, shora zaklopené dvěma OSB deskami

o celkové tloušťce 25 mm a zespodu sádkartonovou deskou. Mezery ve stropní konstrukci 1.NP sousedící s obytnými prostory 2.NP jsou vyplněny minerální vlnou o tloušťce 100 mm. Střešní konstrukce je tvořena krokvemi o rozměrech 200 x 60 mm z horní strany zaklopené OSB deskou o tloušťce 18 mm a pokrytou kanadským šindelem. Mezery mezi trámy jsou vyplněny minerální vlnou o tloušťce 140 mm. Příčky tvoří trámy o šířce 100 mm z obou stran zaklopené SDK deskou, výplň tvoří minerální vata. Zaizolování nosných stěn je zajištěno fasádním polystyrénem EPS 100 F, izolace stropních a střešních konstrukcí je zajištěna dalšími deskami minerální vlny ISOVER ORSIK a izolace podlahy EPS Perimetr. Tloušťky těchto izolací jsou předmětem hodnocení.

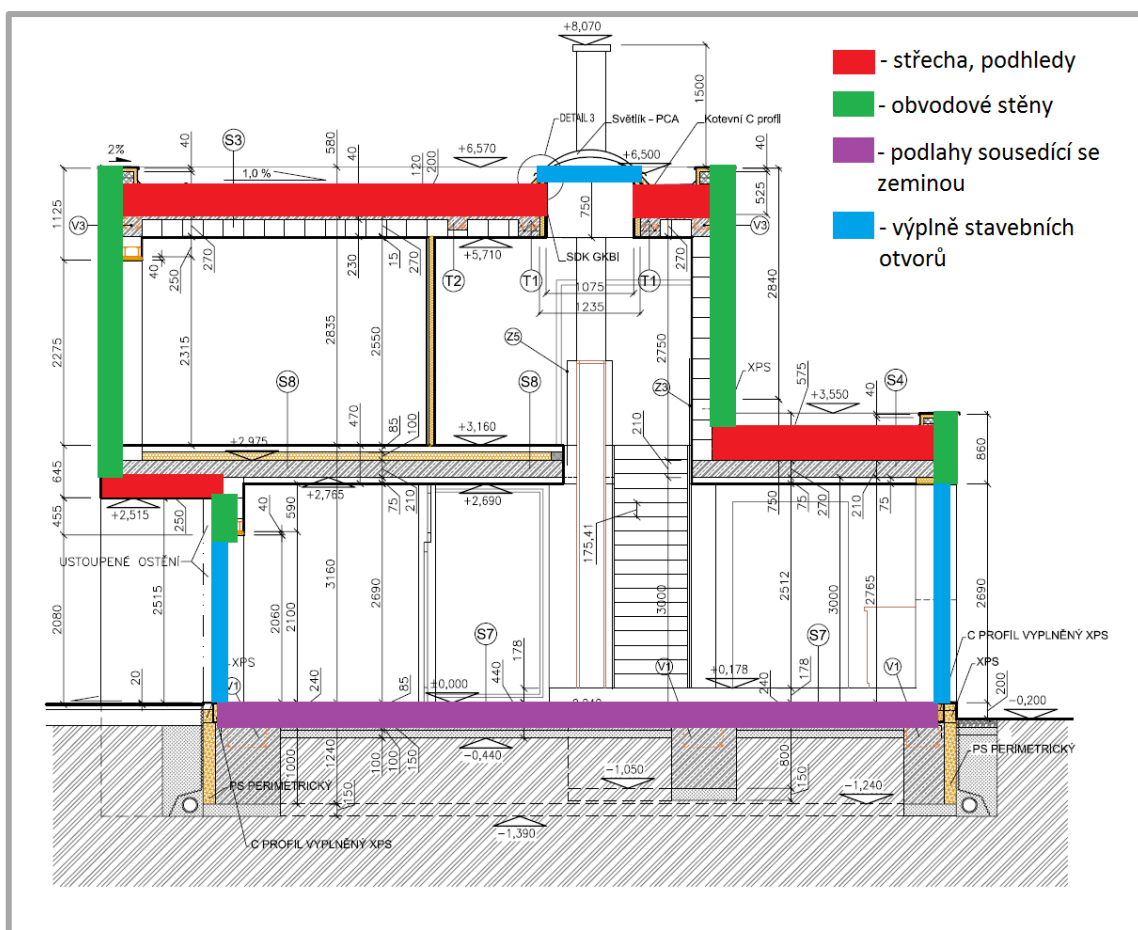


## 4 ENERGETICKÁ SIMULACE STAVEB

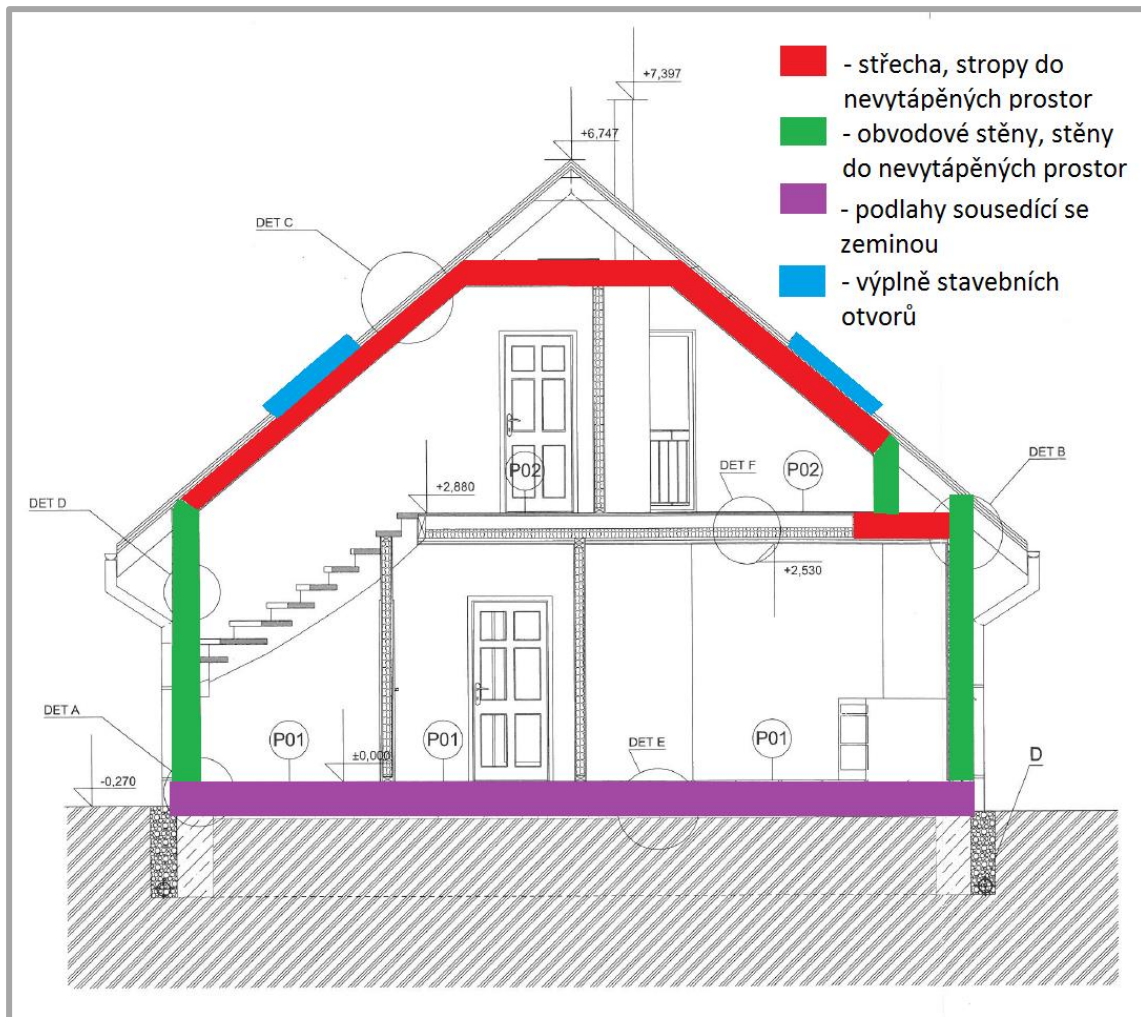
K provedení energetické simulace obou hodnocených staveb byl použit software TRNSYS 16\_1 (Transient System Simulation) s grafickou nástavbou TRNSYS Simulation Studio a prostředím pro tvorbu multi-zonální stavby TRNBuild. Tento software je komerčně dostupný již od roku 1975 a je používán nejen k simulování energetické náročnosti budov, ale i k simulaci solárních procesů a dalších oblastí týkajících se energetických pochodů v budovách [15].

### 4.1 Parametry izolace

Obě stavby byly rozděleny na různé stavební prvky (obr. 4.1 a obr. 4.2). Pro potřebu hodnocení vlivu rozdílných parametrů izolace byly zvoleny takové parametry izolačních materiálů, aby splňovaly výchozí parametry (požadované hodnoty), zvýšené parametry (doporučené hodnoty) a parametry pro pasivní domy (doporučené hodnoty pro pasivní dům) pro součinitele prostupu tepla dle normy ČSN 74 0540-2 (tab. 4.1).



Obr. 4.1 – Rozdělení zděné stavby na stavební prvky



Obr. 4.2 - Rozdělení dřevostavby na stavební prvky

Tab. 4.1 – Součinitel prostupu tepla dle ČSN 74 0540-2 [13]

Popis konstrukce	Výchozí parametry izolace $U_{n,20}$ [W/(m <sup>2</sup> K)]	Zvýšené parametry izolace $U_{rec,20}$ [W/(m <sup>2</sup> K)]	Parametry izolace pro pasivní domy $U_{pas,20}$ [W/(m <sup>2</sup> K)]
Stěna vnější	0,3	těžká 0,25	0,18 až 0,12
		lehká 0,20	
Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Strop s podlahou nad nevytápěným prostorem	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině	0,45	0,3	0,22 až 0,15
Výplň otvorů ve vnější stěně	1,5	1,2	0,8 až 0,6
Výplň otvorů ve střeše se sklonem do 45°	1,4	1,1	0,9



## 4.2 Stavební konstrukce zděné stavby

### Vstupní hodnoty pro výpočet součinitele prostupu tepla podle [4]

$R_{si} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$  – Tepelný odpor při přestupu na vnitřní straně svislé stěny.

$R_{se} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$  – Tepelný odpor při přestupu na vnější straně svislé stěny.

$R_{sis} = 0,10 \text{ m}^2\text{K/W}$  – Tepelný odpor pro přestup na vnitřní straně vodorovné stěny.

$R_{ses} = 0,17 \text{ m}^2\text{K/W}$  – Tepelný odpor pro přestup na vnější straně vodorovné stěny.

U výpočtů jsou vzhledem k zanedbatelnému vlivu na výsledek zanedbány vrstvy, které mají tloušťku 1 mm a méně.

Tloušťky izolací byly voleny tak, aby souhlasily s řadou tloušťek poskytovanou výrobcem. Tloušťky izolací splňující parametry izolace pro pasivní domy jsou určeny z podkladů investora.

### Obvodové stěny

Složení obvodové stěny	součinitel vedení tepla	tloušťka vrstvy
silikátová omítka	$\lambda = 0,11 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ [16]	$d = 0,005 \text{ m}$
fasádní polystyren EPS 70	$\lambda_{iz} = 0,039 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ [7]	$d_{iz} = \text{bude určena}$
Sendwix 8DF-D	$\lambda = 0,38 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ [17]	$d = 0,24 \text{ m}$
vnitřní omítka	$\lambda = 0,88 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ [16]	$d = 0,005 \text{ m}$

Tloušťka izolace bude určena tak, aby součinitel prostupu tepla vyhovoval hodnotám v tab. 4.1.

### **Ukázkový výpočet tloušťky izolace obvodové stěny pro výchozí parametry izolace.**

$$R = \sum \frac{d_i}{\lambda_i} \quad (4.1)$$

$$R_T = R_{si} + R + R_{se} \quad (4.2)$$

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (4.3)$$

Z rovnic (4.1), (4.2) a (4.3) poté vyplývá minimální tloušťka izolace  $d_{min}$ , která splňuje podmínku.

$$d_{min} \geq \lambda_{iz} \left( \frac{1}{U_{n,20}} - R_{si} - R_{se} - \sum \frac{d_i}{\lambda_i} \right) \geq \quad (4.4)$$

$$\geq 0,039 \left( \frac{1}{0,3} - 0,04 - 0,13 - \frac{0,005}{0,11} - \frac{0,24}{0,38} - \frac{0,005}{0,88} \right) \geq \mathbf{0,097 \text{ m}}$$

Byla určena tloušťka izolace  $d_{iz} = \mathbf{0,1 \text{ m}}$ . Po dosazení do rovnice (4.3) vyjde,

$$U = \frac{1}{R_{si} + \left(\sum \frac{d_i}{\lambda_i}\right) + R_{se}} = 0,293 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Po zadání fyzikálních vlastností do programu TRNBuild vypočítal program hodnotu  $U = 0,293 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Tato hodnota splňuje podmínku pro výchozí parametry izolace.

Tab. 4.2 – Vypočtené a zvolené tloušťky izolace obvodové stěny pro zděnou stavbu

	maximální požadovaný součinitel prostupu tepla U	vypočítaná minimální tloušťka izolace $d_{\min}$	Zvolená tloušťka izolace $d_{iz}$	Vypočítaný součinitel prostupu tepla U	Součinitel prostupu tepla udaný programem TRNBuild
	W/m <sup>2</sup> K	m	m	W/m <sup>2</sup> K	W/m <sup>2</sup> K
Výchozí parametry izolace	0,3	0,097	<b>0,1</b>	0,293	0,293
Zvýšené parametry izolace	0,25	0,129	<b>0,14</b>	0,224	0,225
Parametry izolace pro pasivní domy	0,18	0,190	<b>0,28</b>	0,124	0,125

### Střecha a podhledy

Pro určení tloušťky izolace u střech a podhledů byl užít podobný postup jako při výpočtu tloušťky izolace obvodové stěny s modifikací vztahu 4.2, kdy místo tepelných odporů pro svislé stěny  $R_{si}$  a  $R_{se}$ , jsou brány hodnoty  $R_{sis}$  a  $R_{ses}$  pro vodorovné konstrukce.

$$R_T = R_{sis} + R + R_{ses} \quad (4.5)$$

Složení střechy 2NP	součinitel vedení tepla	tloušťka vrstvy
betonová dlažba Presbeton	$\lambda = 1,23 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ [16]	$d = 0,04 \text{ m}$
polystyren EPS 100	$\lambda_{iz} = 0,037 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ [7]	$d_{iz} = \text{bude určena}$
stropní systém Porotherm	$\lambda = 1,14 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ [18]	$d = 0,27 \text{ m}$
vnitřní omítka	$\lambda = 0,88 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ [16]	$d = 0,005 \text{ m}$

Tab. 4.3 – Vypočtené a zvolené tloušťky izolace střechy 2.NP pro zděnou stavbu

	maximální požadovaný souč. prostupu tepla U	vypočítaná minimální tloušťka izolace $d_{\min}$	Zvolená tloušťka izolace $d_{iz}$	Vypočítaný součinitel prostupu tepla U	Součinitel prostupu tepla udaný programem TRNBuild
	W/m <sup>2</sup> K	m	m	W/m <sup>2</sup> K	W/m <sup>2</sup> K
Výchozí parametry izolace	0,24	0,135	<b>0,14</b>	0,235	0,239
Zvýšené parametry izolace	0,16	0,213	<b>0,22</b>	0,156	0,158
Parametry izolace pro pasivní domy	0,15	0,228	<b>0,32</b>	0,110	0,111

**Složení stropu 1.NP sousedící s vnějším prostředím**

betonová dlažba Presbeton

součinitel vedení tepla

$\lambda = 1,23 \text{ W/m}\cdot\text{K}$

tloušťka vrstvy

$d = 0,04 \text{ m}$

polystyren EPS 100

$\lambda_{iz} = 0,037 \text{ W/m}\cdot\text{K}$

 $d_{iz} = \text{bude určena}$ 

železobeton

$\lambda = 1,43 \text{ W/m}\cdot\text{K}$

$d = 0,21 \text{ m}$

sádkokartón

$\lambda = 0,2 \text{ W/m}\cdot\text{K}$

$d = 0,013 \text{ m}$

Tab. 4.4 – Vypočtené a zvolené tloušťky izolace střechy 1.NP pro zděnou stavbu

	maximální požadovaný souč. prostupu tepla U	vypočítaná minimální tloušťka izolace $d_{\min}$	Zvolená tloušťka izolace $d_{iz}$	Vypočítaný součinitel prostupu tepla U	Součinitel prostupu tepla udaný programem TRNBuild
	W/m <sup>2</sup> K	m	m	W/m <sup>2</sup> K	W/m <sup>2</sup> K
Výchozí parametry izolace	0,24	0,135	<b>0,14</b>	0,235	0,239
Zvýšené parametry izolace	0,16	0,213	<b>0,22</b>	0,156	0,158
Parametry izolace pro pasivní domy	0,15	0,228	<b>0,32</b>	0,110	0,111

<b>Složení pohledu 2NP</b>	součinitel vedení tepla	tloušťka vrstvy
OSB deska	$\lambda = 0,13 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ [16]	$d = 0,016 \text{ m}$
mirelon	$\lambda = 0,038 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ [16]	$d = 0,002 \text{ m}$
samonivelační stěrka	$\lambda = 0,70 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ [16]	$d = 0,002 \text{ m}$
betonová mazanina	$\lambda = 1,23 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ [16]	$d = 0,06 \text{ m}$
železobeton	$\lambda = 1,43 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ [16]	$d = 0,21 \text{ m}$
polystyren EPS 100	$\lambda_{iz} = 0,037 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ [7]	$d_{iz} = \text{bude určena}$
silikátová omítka	$\lambda = 0,11 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ [16]	$d = 0,005 \text{ m}$

Tab. 4.5 – Vypočtené a zvolené tloušťky izolace pohledu 2.NP pro zděnou stavbu

	maximální požadovaný souč. prostup tepla U	vypočítaná minimální tloušťka izolace	Zvolená tloušťka izolace $d_{iz}$	Vypočítaný součinitel prostup tepla	Součinitel prostup tepla udaný programem TRNBuild
	$\text{W/m}^2\text{K}$	m	m	$\text{W/m}^2\text{K}$	$\text{W/m}^2\text{K}$
Výchozí parametry izolace	0,24	0,129	<b>0,14</b>	0,226	0,229
Zvýšené parametry izolace	0,16	0,206	<b>0,22</b>	0,152	0,153
Parametry izolace pro pasivní domy	0,15	0,221	<b>0,32</b>	0,108	0,108

**Podlahy sousedící se zeminou**

Pro určení tloušťky izolace u podlah se použije modifikace vztahu 4.5, kdy se na vnější straně neuvažuje s přestupným odporem  $R_{ses}$ .

$$R_T = R_{sis} + R \quad (4.6)$$

<b>Složení podlahy</b>	součinitel vedení tepla	tloušťka vrstvy
keramická dlažba	$\lambda = 1,01 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ [16]	$d = 0,008 \text{ m}$
lepící tmel	$\lambda = 0,70 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ [16]	$d = 0,002 \text{ m}$
hydroizolační stěrka	$\lambda = 0,21 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ [16]	$d = 0,002 \text{ m}$
betonová mazanina	$\lambda = 1,23 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ [16]	$d = 0,06 \text{ m}$
polystyren EPS 70	$\lambda_{iz} = 0,039 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ [7]	$d_{iz} = \text{bude určena}$
podkladový beton	$\lambda = 1,23 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ [16]	$d = 0,1 \text{ m}$
šterkopísek	$\lambda = 0,93 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ [16]	$d = 0,1 \text{ m}$

Tab. 4.6 – Vypočtené a zvolené tloušťky izolace podlah 1NP pro zděnou stavbu

	maximální požadovaný souč. prostupu tepla U	vypočítaná minimální tloušťka izolace $d_{\min}$	Zvolená tloušťka izolace $d_{iz}$	Vypočítaný součinitel prostupu tepla U	Součinitel prostupu tepla udaný programem TRNBuild
	W/m <sup>2</sup> K	m	m	W/m <sup>2</sup> K	W/m <sup>2</sup> K
Výchozí parametry izolace	0,45	0,073	<b>0,08</b>	0,414	0,401
Zvýšené parametry izolace	0,3	0,116	<b>0,12</b>	0,291	0,286
Parametry izolace pro pasivní domy	0,22	0,163	<b>0,18</b>	0,201	0,198

#### Výplně stavebních otvorů

Jako základní provedení byla volena plastová okna s izolačním dvojsklem a součinitelem prostupu tepla  $U = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ , které vyhovují zvýšeným parametrům izolace v tab. 4.1. Pro zjištění vlivu lepších parametrů oken, byla zvolena plastová okna s trojsklem a součinitelem prostupu tepla  $U = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Parametry zasklení byly převzaty z knihovny programu TRNBuid.

### 4.3 Stavební konstrukce dřevostavby

#### Vstupní hodnoty pro výpočet součinitele prostupu tepla [4]

$R_{si} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$  – Tepelný odpor při přestupu na vnitřní straně svislé stěny.

$R_{se} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$  – Tepelný odpor při přestupu na vnější straně svislé stěny.

$R_{sis} = 0,10 \text{ m}^2\text{K/W}$  – Tepelný odpor pro přestup na vnitřní straně vodorovné stěny.

U výpočtů jsou vzhledem k zanedbatelnému vlivu na výsledek zanedbány vrstvy, které mají tloušťku 1 mm a méně.

Tloušťky izolací byly voleny tak, aby souhlasily s řadou tlouštěk poskytovanou výrobcem. Tloušťky izolací splňující parametry izolace pro pasivní domy jsou určeny z podkladů investora.

Výpočtové vztahy jsou použity stejné jako v kapitole 4.2.

#### Obvodové stěny a stěny sousedící s nevytápěným prostorem

Složení obvodové stěny <b>1.NP a štítů</b>	součinitel vedení tepla	tloušťka vrstvy
silikátová omítka	$\lambda = 0,11 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ [16]	$d = 0,005 \text{ m}$
fasádní polystyren EPS 100 F	$\lambda_{iz} = 0,037 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ [7]	$d_{iz} = \text{bude určena}$
OSB deska	$\lambda = 0,13 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ [16]	$d = 0,015 \text{ m}$
nosný trám + skelná vata	$\lambda = 0,038 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ [7]	$d = 0,14 \text{ m}$
OSB deska	$\lambda = 0,13 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ [16]	$d = 0,013 \text{ m}$
sádrokartón	$\lambda = 0,2 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ [16]	$d = 0,015 \text{ m}$

Tab. 4.7 – Vypočtené a zvolené tloušťky izolace obvodové stěny 1.NP a štítů pro dřevostavbu

	maximální požadovaný souč. prostupu tepla U	vypočítaná minimální tloušťka izolace $d_{min}$	Zvolená tloušťka izolace $d_{iz}$	Vypočítaný součinitel prostupu tepla U	Součinitel prostupu tepla udaný programem TRNBuild
	W/m <sup>2</sup> K	m	m	W/m <sup>2</sup> K	W/m <sup>2</sup> K
Výchozí parametry izolace	0,3	-0,031	<b>0</b>	0,239	0,239
Zvýšené parametry izolace	0,2	0,030	<b>0,06</b>	0,172	0,172
Parametry izolace pro pasivní domy	0,18	0,051	<b>0,12</b>	0,135	0,135

Složení obvodové stěny 2.NP přilehlé k nevytápěným prostorům	součinitel vedení tepla	tloušťka vrstvy
fasádní polystyren EPS 100 F	$\lambda_{iz} = 0,037 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ [7]	$d_{iz} =$ bude určena
OSB deska	$\lambda = 0,13 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ [16]	$d = 0,015 \text{ m}$
nosný trám + skelná vata	$\lambda = 0,038 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ [7]	$d = 0,12 \text{ m}$
OSB deska	$\lambda = 0,13 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ [16]	$d = 0,013 \text{ m}$
sádrokartón	$\lambda = 0,2 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ [16]	$d = 0,015 \text{ m}$

Tab. 4.8 – Vypočtené a zvolené tloušťky izolace obvodové stěny 2.NP přilehlé k nevytápěným prostorům pro dřevostavbu

	maximální požadovaný souč. prostupu tepla U	vypočítaná minimální tloušťka izolace $d_{min}$	Zvolená tloušťka izolace $d_{iz}$	Vypočítaný součinitel prostupu tepla U	Součinitel prostupu tepla udaný programem TRNBuild
	$\text{W/m}^2\text{K}$	m	m	$\text{W/m}^2\text{K}$	$\text{W/m}^2\text{K}$
Výchozí parametry izolace	0,3	-0,010	<b>0</b>	0,277	0,277
Zvýšené parametry izolace	0,2	0,052	<b>0,06</b>	0,191	0,191
Parametry izolace pro pasivní domy	0,18	0,072	<b>0,12</b>	0,146	0,146

### Střecha

U skloněné střechy byl přestupový tepelný odpor uvažován stejný jako u svislé stěny tedy  $R_{si} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$  a  $R_{se} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ .

Složení střechy	součinitel vedení tepla	tloušťka vrstvy
kanadský šindel	$\lambda = 0,20 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ [16]	$d = 0,005 \text{ m}$
OSB deska	$\lambda = 0,13 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ [16]	$d = 0,018 \text{ m}$
nosný trám + skelná vata	$\lambda = 0,038 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ [7]	$d = 0,14 \text{ m}$
skelná vata	$\lambda_{iz} = 0,038 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ [7]	$d_{iz} =$ bude určena
sádrokartón	$\lambda = 0,2 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ [16]	$d = 0,015 \text{ m}$

Tab. 4.9 – Vypočtené a zvolené tloušťky izolace střechy pro dřevostavbu

	maximální požadovaný souč. prostupu tepla U	vypočítaná minimální tloušťka izolace $d_{\min}$	Zvolená tloušťka izolace $d_{iz}$	Vypočítaný součinitel prostupu tepla U	Součinitel prostupu tepla udaný programem TRNBuild
	W/m <sup>2</sup> K	m	m	W/m <sup>2</sup> K	W/m <sup>2</sup> K
Výchozí parametry izolace	0,24	0,003	<b>0,04</b>	0,195	0,195
Zvýšené parametry izolace	0,16	0,082	<b>0,1</b>	0,149	0,149
Parametry izolace pro pasivní domy	0,15	0,098	<b>0,12</b>	0,138	0,138

**Podlaha přilehlá k zemině**

Pro určení tloušťky izolace u podlah se použije vztah 4.6.

Složení podlahy	součinitel vedení tepla	tloušťka vrstvy
keramická dlažba	$\lambda = 1,01 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ [16]	$d = 0,008 \text{ m}$
lepící tmel	$\lambda = 0,70 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ [16]	$d = 0,005 \text{ m}$
hydroizolační stěrka	$\lambda = 0,21 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ [16]	$d = 0,002 \text{ m}$
betonová mazanina	$\lambda = 1,23 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ [16]	$d = 0,15 \text{ m}$
polystyren EPS Perimeter	$\lambda_{iz} = 0,034 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ [7]	$d_{iz} = \text{bude určena}$

Tab. 4.10 – Vypočtené a zvolené tloušťky izolace podlahy pro dřevostavbu

	maximální požadovaný souč. prostupu tepla U	vypočítaná minimální tloušťka izolace $d_{\min}$	Zvolená tloušťka izolace $d_{iz}$	Vypočítaný součinitel prostupu tepla U	Součinitel prostupu tepla udaný programem TRNBuild
	W/m <sup>2</sup> K	m	m	W/m <sup>2</sup> K	W/m <sup>2</sup> K
Výchozí parametry izolace	0,45	0,067	<b>0,08</b>	0,385	0,375
Zvýšené parametry izolace	0,3	0,105	<b>0,12</b>	0,265	0,26
Parametry izolace pro pasivní domy	0,22	0,146	<b>0,16</b>	0,202	0,198



### Výplně stavebních otvorů

Jako základní varianta byla, stejně jako u zděné stavby, volena plastová okna s izolačním dvojsklem a součinitelem prostupu tepla  $U = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ , které vyhovují zvýšeným parametrům izolace (tab. 4.1). Pro zjištění vlivu lepších parametrů oken, byla zvolena plastová okna s trojsklem a součinitelem prostupu tepla  $U = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Parametry zasklení byly převzaty z knihovny programu TRNBuid.

## 4.4 Vstupní data a parametry simulace

Pro simulaci domu v programu TRNSYS je zapotřebí zadat vstupní data a parametry, které simulují povětrnostní vlivy (meteorologická data) a provoz v budově (přítomnost osob, vytápění, chlazení, větrání atp.).

### Meteorologická data

Jedním ze základních parametrů pro simulaci jsou meteorologická data (roční záznam teploty, tlaku, relativní vlhkosti, polohy slunce na obloze, oblačnosti atp. v určitém místě), která mají velký vliv na tepelné ztráty, energetickou potřebu chlazení a solární zisky. Protože obě stavby se nachází v Moravskoslezském kraji, byla použita data z meteorologické stanice v Ostravě.

### Řídící profily

K simulaci průběhů určitých veličin v závislosti na čase jsou použity řídicí profily, které tak představují provoz v simulované stavbě. U těchto profilů je možnost nastavení odlišných průběhů veličin pro pracovní den, víkend a nestandardní den (svátek), pro účel simulace bylo zvoleno rozložení svátků shodné s rokem 2012. K veličinám, které je možné řídit těmito profily, patří:

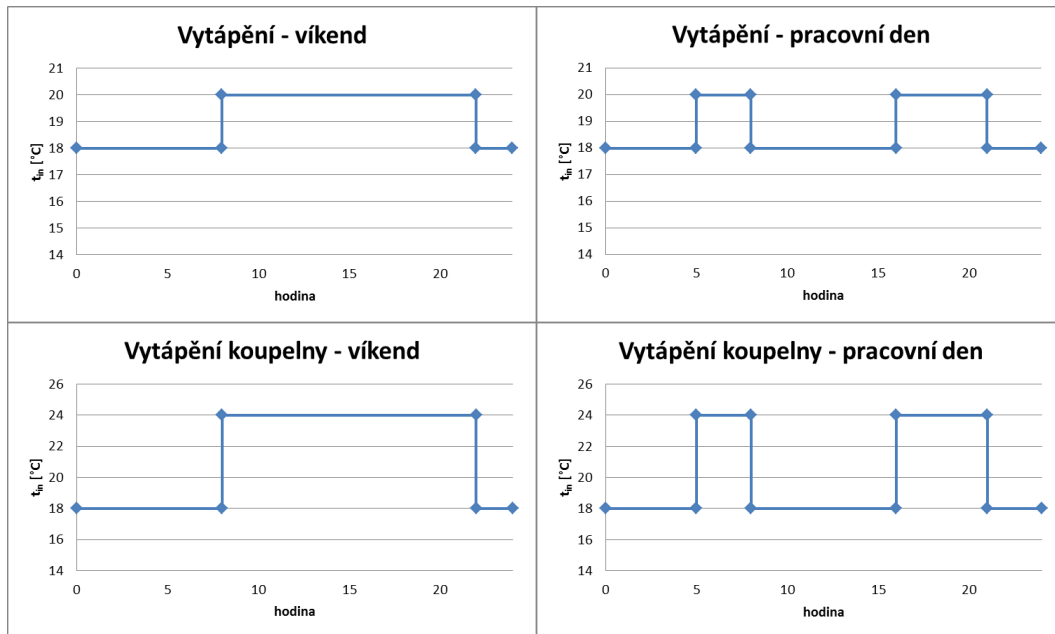
- výtopová a chladicí teplota
- počet přítomných osob v místnosti
- větrání a infiltrace venkovního vzduchu
- spínání a vypínání spotřebičů
- spínání a vypínání osvětlení

### **Vytápění**

Pro určení tepelných ztrát u jednotlivých variant izolací byl zvolen průběh teplot v obytných místnostech podle řídicích profilů Vytápění – víkend / pracovní den, průběh teplot v koupelně pak podle profilů Vytápění koupelny – víkend / pracovní den na obr. 4.3. Na chodbách a v technických místnostech byla nastavená stálá temperovací teplota  $15 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Pro zjištění vlivu vyšší vnitřní výpočtové teploty na tepelné ztráty byly profily vytápění zvýšeny o  $2 \text{ }^\circ\text{C}$ , takže se pohybovaly na teplotách  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  během nepřítomnosti

osob v pracovní den a nočního útlumu topení a 22 °C během topení u koupelny byla teplota během útlumu topení nastavena na 20 °C a během topení na 24 °C.



Obr. 4.3 – Řídicí profily vytápění jednotlivých místností

### Chlazení

Ke zjištění energetické náročnosti chlazení bylo nastaveno v obytných místnostech dodržování maximální teploty 26 °C.

### Větrání

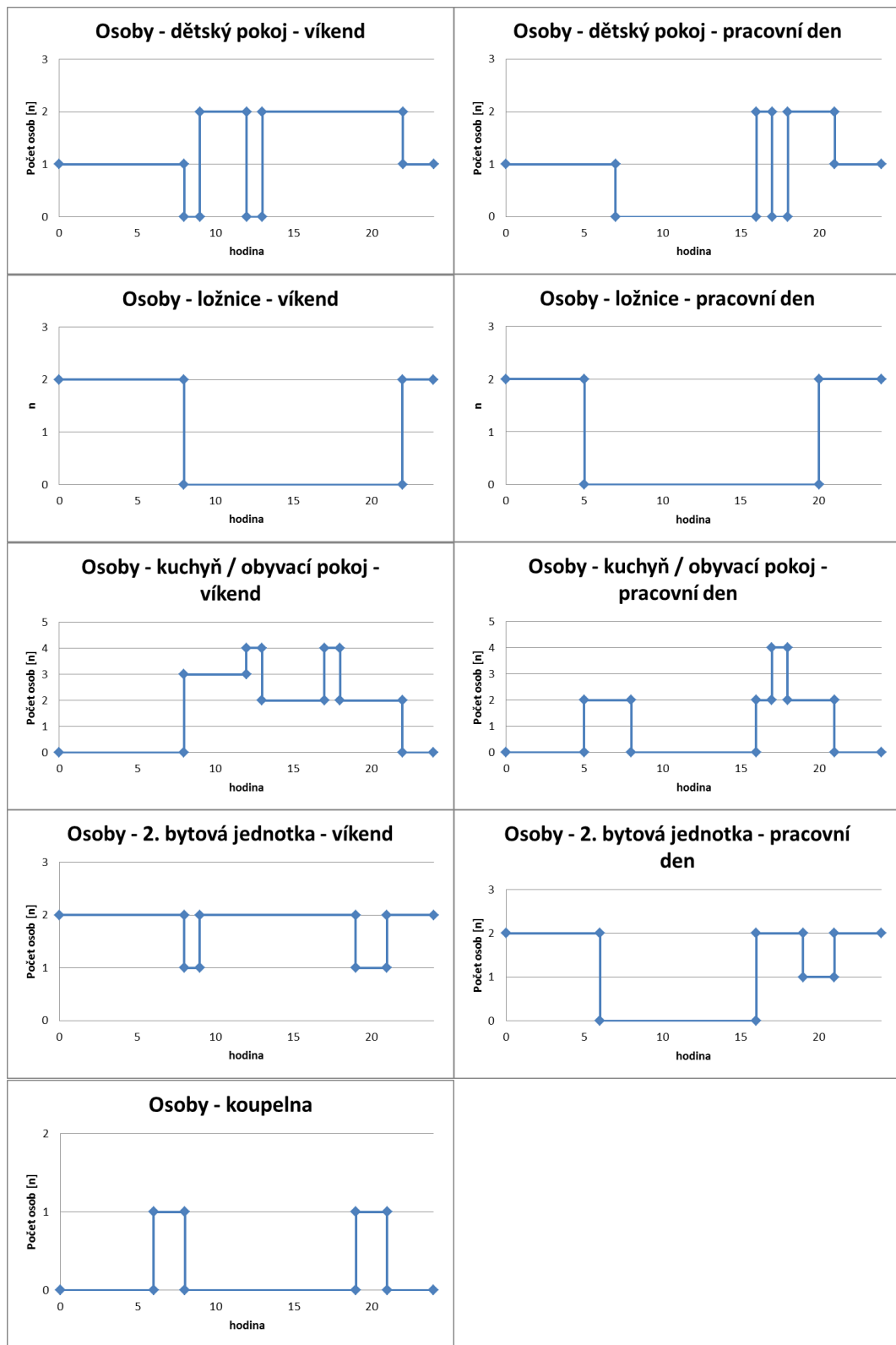
Větrání je nastaveno na stálou výměnu  $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$ , a to u dětských pokojů, ložnic a obývacích pokojů. V kuchyních je výměna vzduchu větráním nastavena  $n = 1,5 \text{ h}^{-1}$ . Vzduch je poté veden přes chodby a odsáván na WC, v koupelně a u zděné stavby rovněž v prádelně.

### Infiltrace

Infiltrace je u místností sousedících s venkovním prostředím nastavena na stálou hodnotu  $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$ . U dřevostavby je u garáže a v nevytápěných prostorech pod střechou nastavena na  $n = 1 \text{ h}^{-1}$ .

### Osoby

K určení tepelných zisků od přítomnosti osob v místnostech byly nastaveny řídicí profily přítomnosti osob na obr. 4.4. U obou staveb byla uvažována přítomnost čtyřčlenné rodiny (dva dospělí, dvě děti), u zděného domu byly uvažovány dvě osoby navíc v menší bytové jednotce.



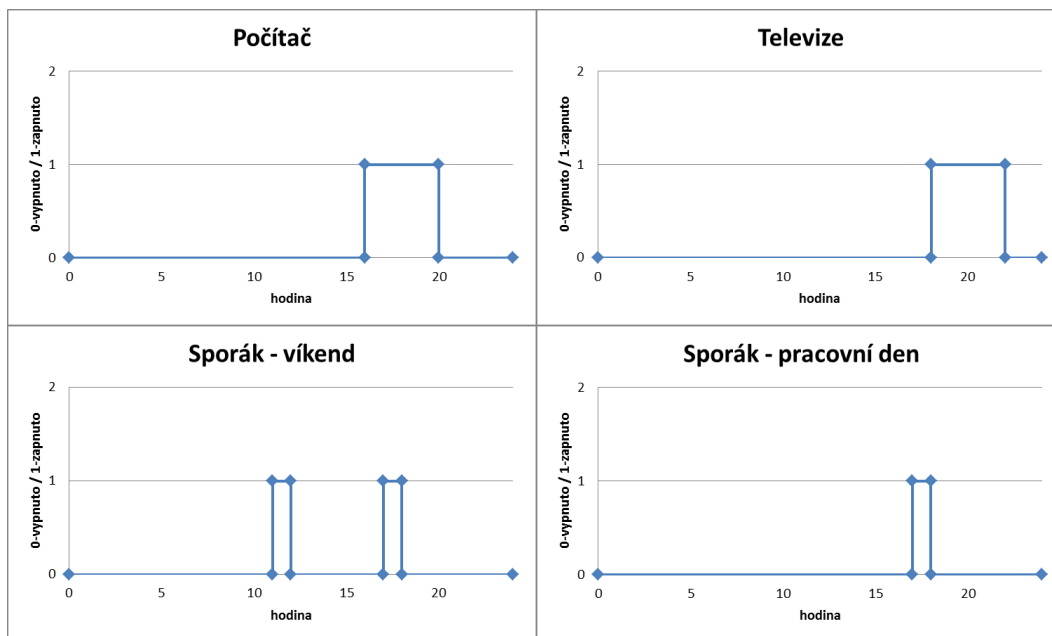
Obr. 4.4 - Řídicí profily přítomnosti osob v místnostech

Hodnoty tepelných zisků od přítomných osob byly použity z nabídky programu TRNBuild (dle ISO 7730), jako součet vázaného a citelného tepla, následovně:

- **Pokoj** – odpočinek 100 W - protože TRNBuild nedovoluje nastavit více činností v místnosti. Hodnotou jedné osoby je simulován spánek a hodnotou dvou osob pak aktivní činnost této osoby.
- **Ložnice** – odpočinek 100 W
- **Kuchyně** – lehká práce ve stoje 185 W
- **2. Bytová jednotka** – lehká práce ve stoje 185 W
- **Koupelna** – lehká práce vsedě 150 W

### Vnitřní zisky od spotřebičů

V obou stavbách byly uvažovány tyto spotřebiče a jejich spínání bylo řízeno podle profilů na obr. 4.5.



Obr. 4.5 – Řídicí profily spínání spotřebičů

**Počítač** – výkon 230 W dle hodnoty v TRNBuild

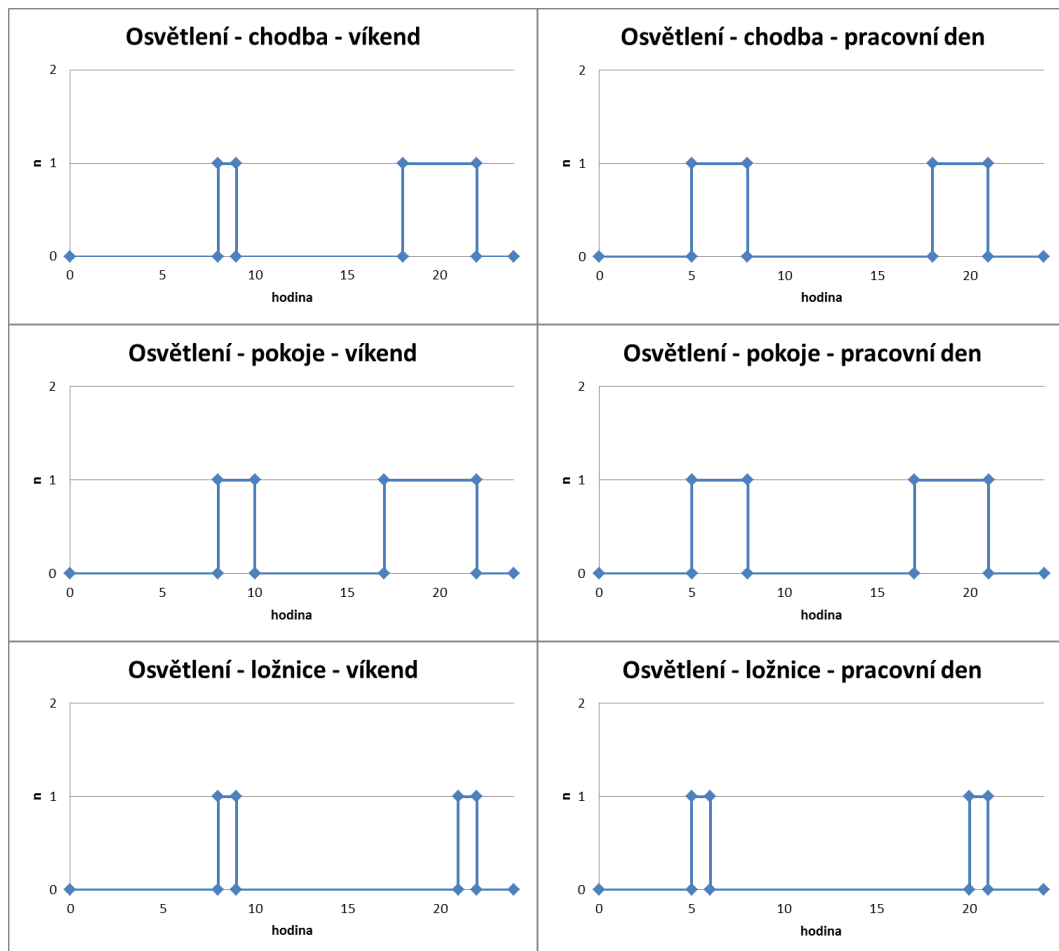
**Televize** – výkon 150 W [19]

**Sporák** – výkon 7000 W [20]

**Lednice** – stálý výkon 500 W [20]

### Umělé osvětlení

Měrný výkon umělého osvětlení byl nastaven na  $10 \text{ W/m}^2$  s 40% podílem konvektivní složky (přednastavené hodnoty v programu TRNBuild) ve všech místnostech. Spínání osvětlení bylo řízeno profily na obr. 4.6.



Obr. 4.6 – Řídicí profily spínání osvětlení

### Tepelný komfort

Programem TRNSYS je možné určit index PMV a PPD ze zadaných parametrů odporu oděvu  $R_{CL}$  a tělesné činnosti  $M$  a relativního proudění vzduchu  $v$ . K vyhodnocení tepelného komfortu v obývacím pokoji, dětských pokojích a ložnici byly zadány hodnoty podle [4]:

Obývací pokoj	$R_{CL} = 1 \text{ clo}$	$M = 1,5 \text{ met}$
Dětské pokoje	$R_{CL} = 1,2 \text{ clo}$	$M = 1,2 \text{ met}$
Ložnice	$R_{CL} = 2 \text{ clo}$	$M = 0,8 \text{ met}$
2. bytová jednotka (pouze zděná stavba)	$R_{CL} = 1 \text{ clo}$	$M = 1,5 \text{ met}$

U všech místností byla relativní rychlost nastavena na hodnotu  $v = 0,1 \text{ m/s}$ .



## 5 VÝSLEDKY SIMULACÍ

U obou staveb bylo řešeno celkem šestnáct variant simulací, a to ve třech konfiguracích izolací pro výchozí parametry izolace, zvýšené parametry izolace a parametry izolace pro pasivní domy. U parametrů pro pasivní dům byla navíc provedena simulace zpětného získávání tepla výměníkem o účinnosti 60 %. Každá tato simulace byla řešena se dvěma variantami výplní stavebních otvorů pro určení vlivu zasklení na solární zisky. Pro posouzení vlivu vnitřní teploty na tepelné ztráty byly uvažovány dvě různé převažující vnitřní výpočtové teploty. Přehled jednotlivých variant simulace je uveden v tab. 5.1

Tab. 5.1 – Řešené varianty a jejich označení

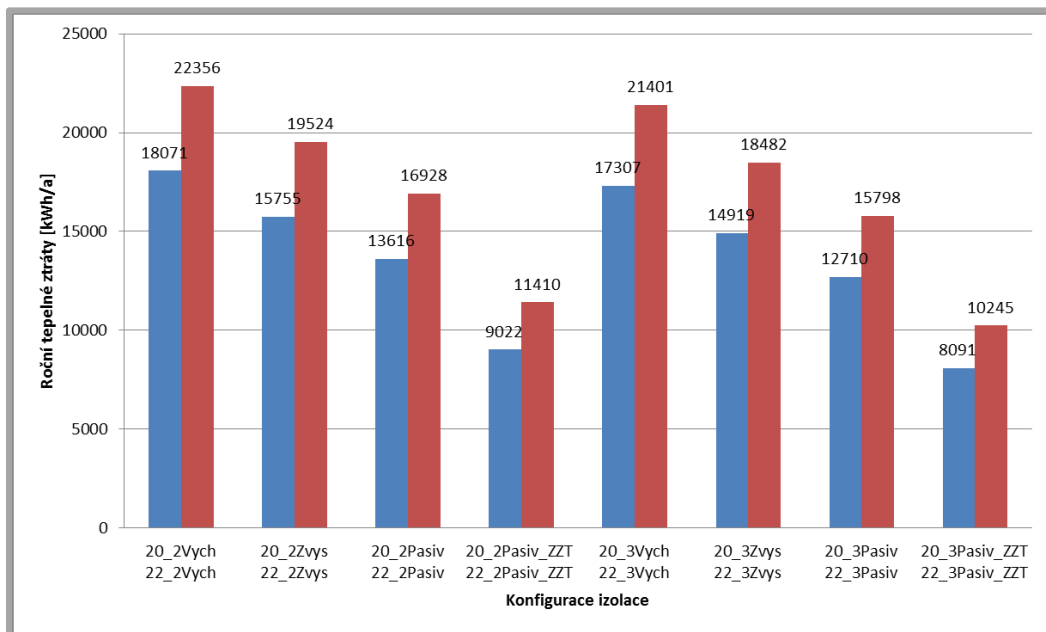
převažující vnitřní výpočtová teplota	20 °C		22 °C	
	dvojsklo	trojsklo	dvojsklo	trojsklo
Výchozí parametry izolace	20_2Vych	20_3Vych	22_2Vych	22_3Vych
Zvýšené parametry izolace	20_2Zvys	20_3Zvys	22_2Zvys	22_3Zvys
Parametry izolace pro pasivní domy	20_2Pasiv	20_3Pasiv	22_2Pasiv	22_3Pasiv
Parametry izolace pro pasivní domy + ZZT	20_2Pasiv_ZZT	20_3Pasiv_ZZT	22_2Pasiv_ZZT	22_3Pasiv_ZZT

Výsledkem simulací byly celoroční energetické nároky na vytápění budovy, celoroční spotřeba energie na chlazení (pro vnitřní teplotu do 26 °C), solární zisky okny během celého roku a index PMV.

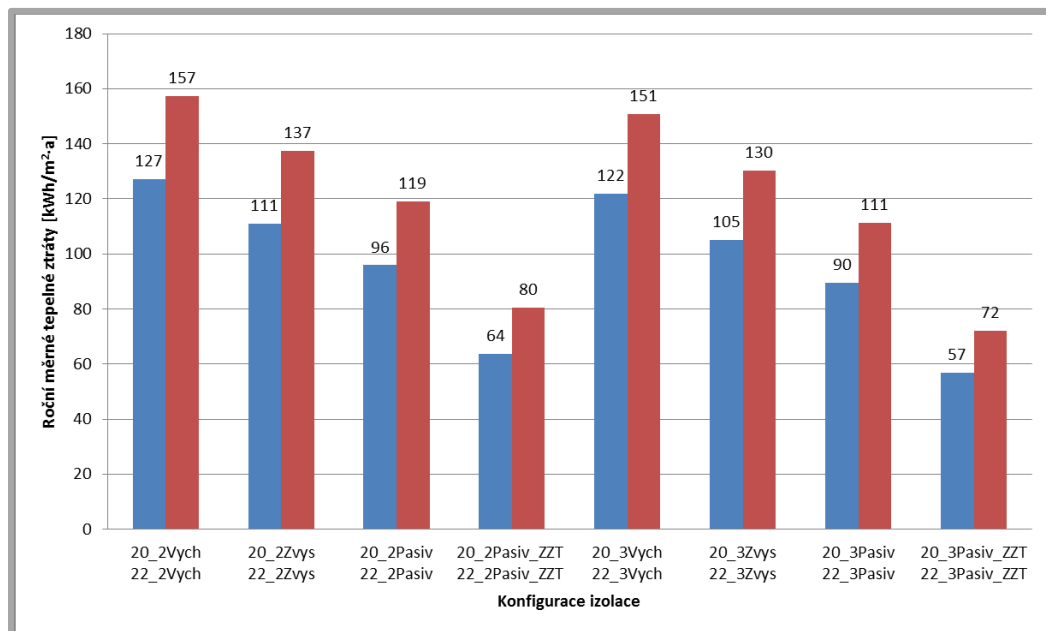
### 5.1 Energetické posouzení zděné stavby

#### Vliv izolace a vnitřní teploty na tepelné ztráty zděné stavby

Na tepelné ztráty zděné stavby mají vliv parametry izolací, výplní stavebních otvorů a vnitřní teplota. Jak je patrné z obr. 5.2, měrné tepelné ztráty neklesly pod 20 kWh/m<sup>2</sup>·a, tudíž se ani v případě parametrů izolace pro pasivní domy, podle normy ČSN 73 0540-2, nejedná o pasivní stavbu.

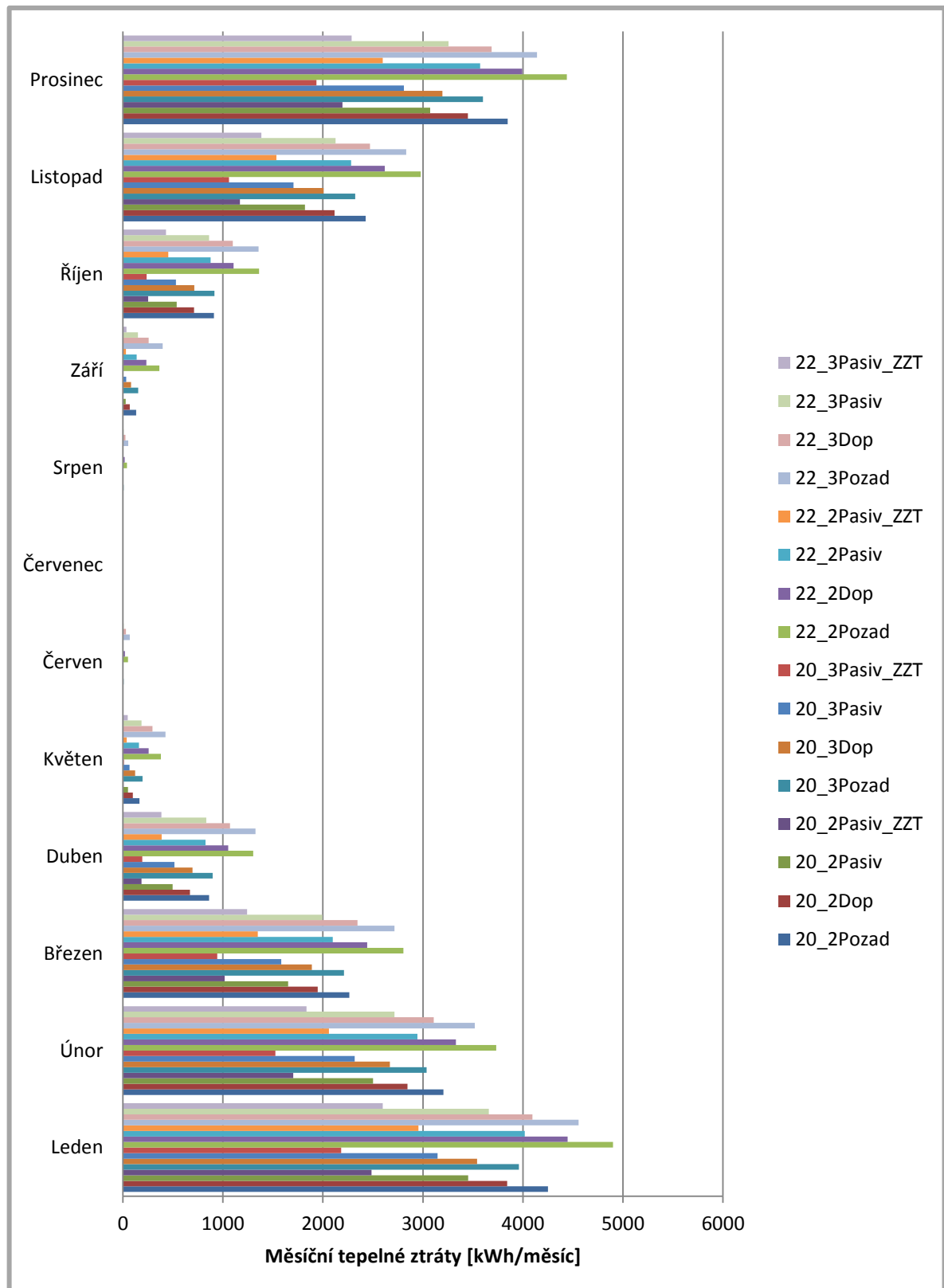


Obr. 5.1 – Roční tepelné ztráty v závislosti na konfiguraci izolace a převažující vnitřní výpočtové teplotě zděné stavby.



Obr. 5.2 – Roční měrné tepelné ztráty v závislosti na konfiguraci izolace a převažující vnitřní výpočtové teplotě vztažená na obytnou plochu zděné stavby.

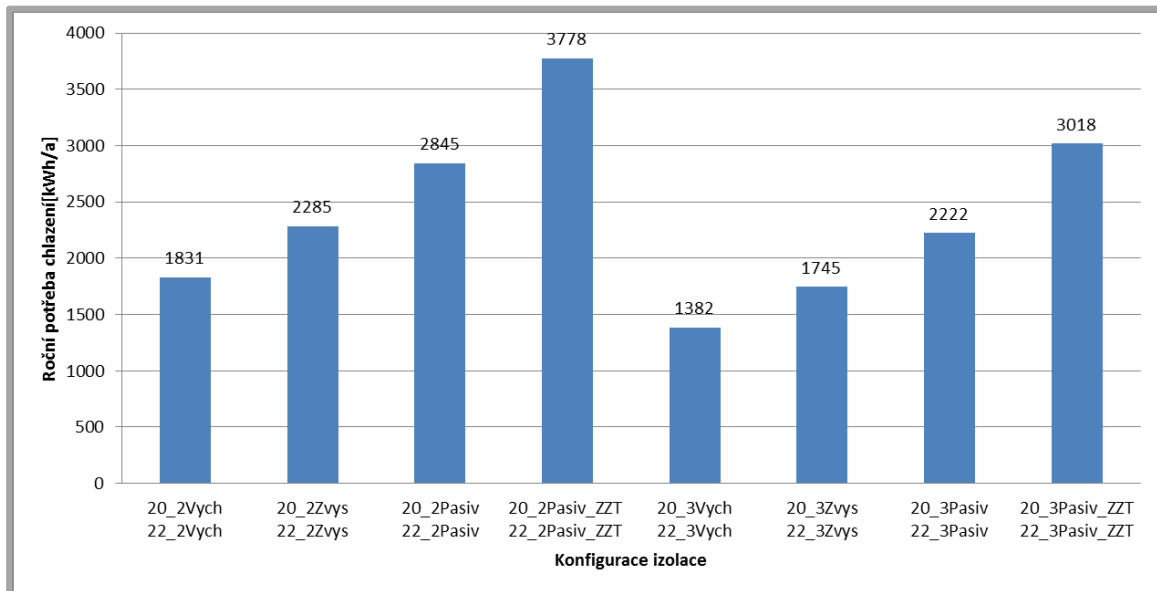




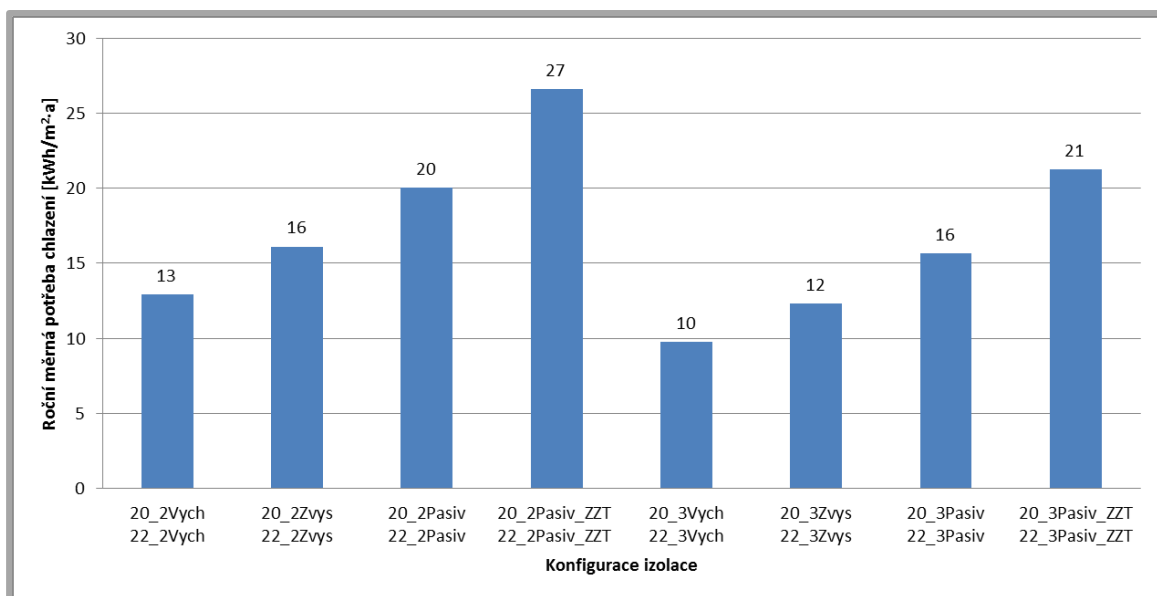
Obr. 5.3 – Měsíční tepelné ztráty v závislosti na konfiguraci izolace a převažující vnitřní výpočtové teplotě zděné stavby.

### Vliv izolace na energetickou náročnost chlazení zděné stavby

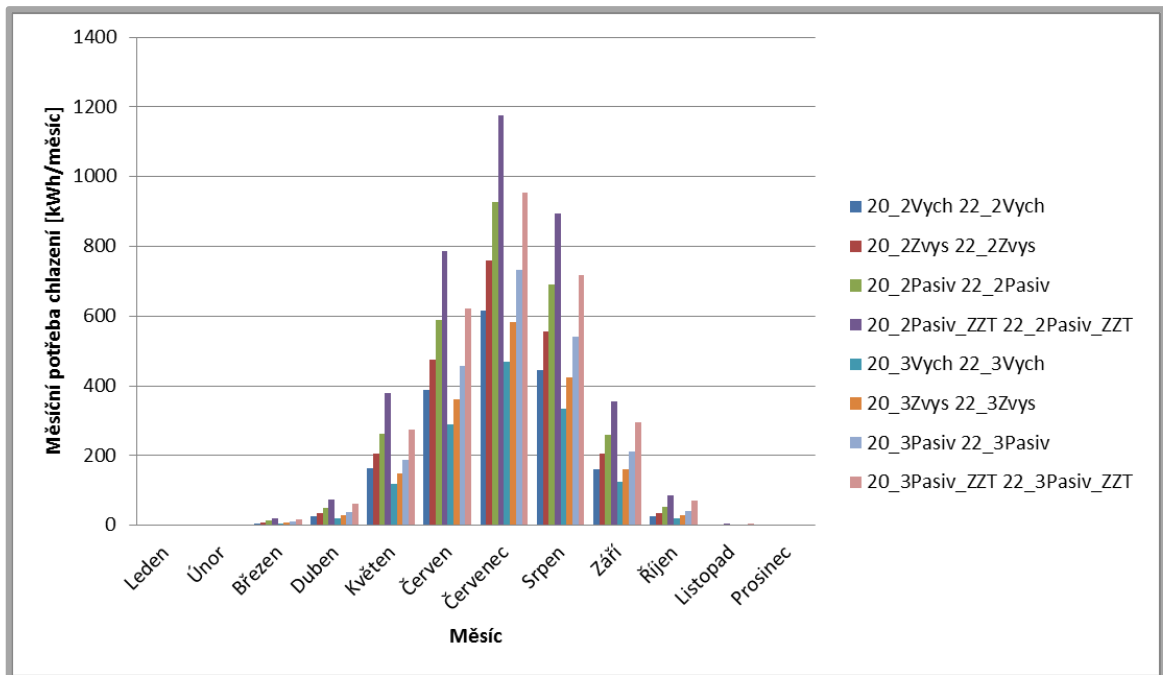
Na energetickou náročnost chlazení zděné stavby měla převažující vnitřní výpočtová teplota vliv v řádu jednotek kWh/a, proto byly posuzovány pouze vlivy parametrů izolací a výplní stavebních otvorů.



Obr. 5.4 – Roční potřeba chlazení v závislosti na konfiguraci izolace zděné stavby.



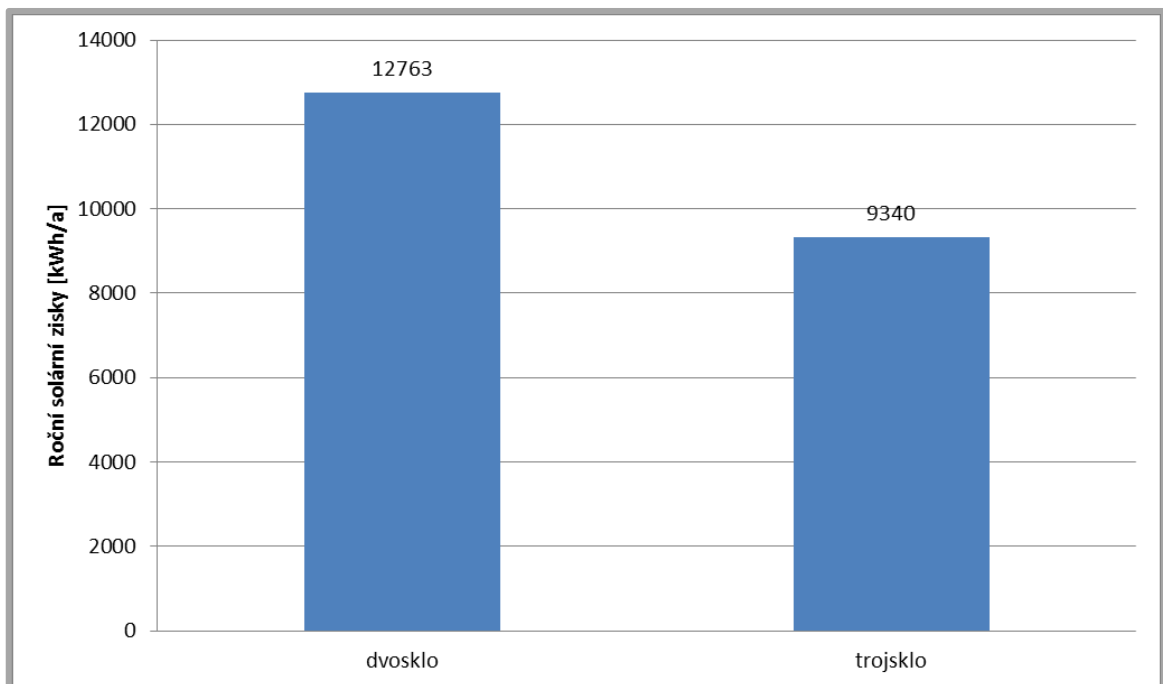
Obr. 5.5 – Roční měrná potřeba chlazení v závislosti na konfiguraci izolace vztážená na obytnou plochu zděné stavby.



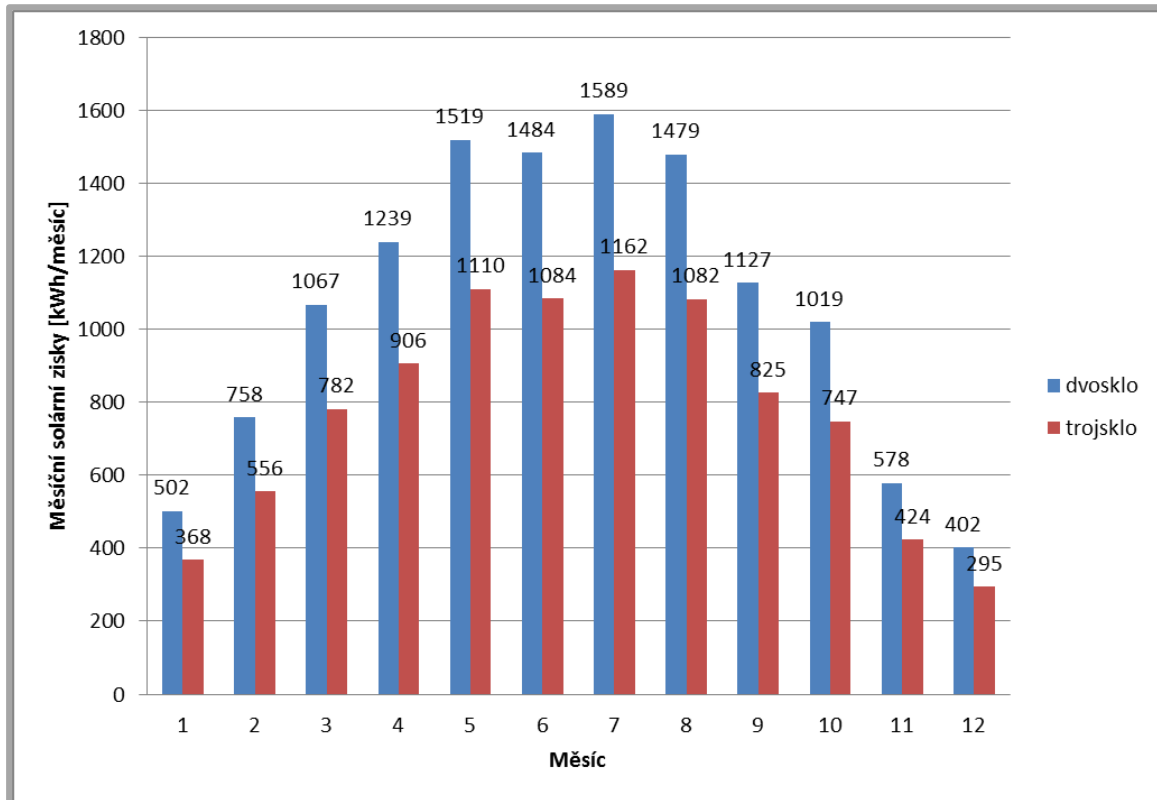
Obr. 5.6 – Měsíční potřeba chlazení v závislosti na konfiguraci izolace zděné stavby

#### Vliv zasklení na solární tepelné zisky zděné stavby

Na solární zisky zděné stavby měly vliv pouze parametry výplní stavebních otvorů.



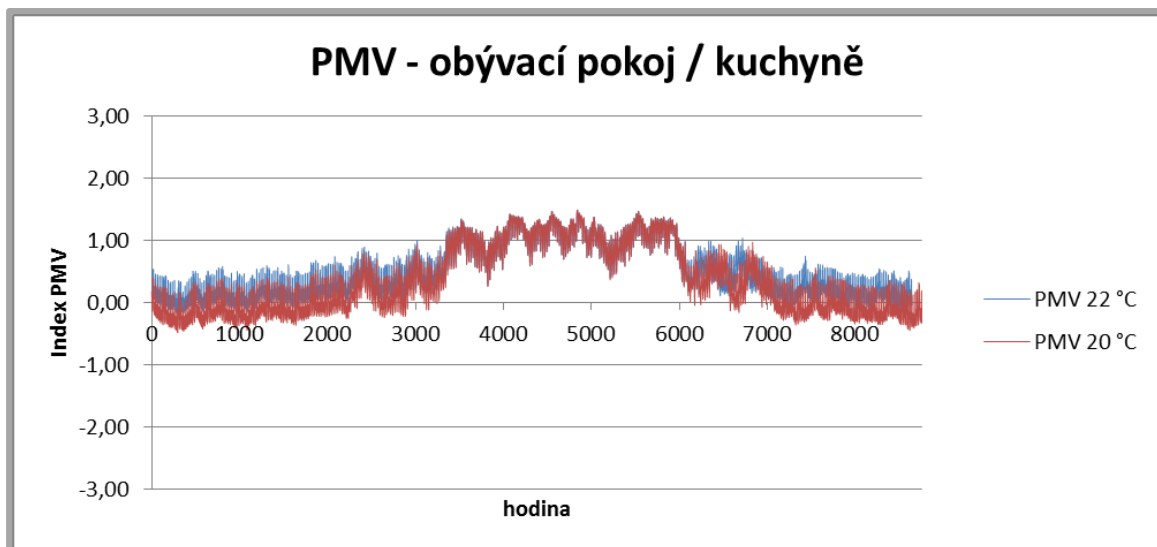
Obr. 5.7 – Vliv zasklení na roční solární zisky zděné stavby



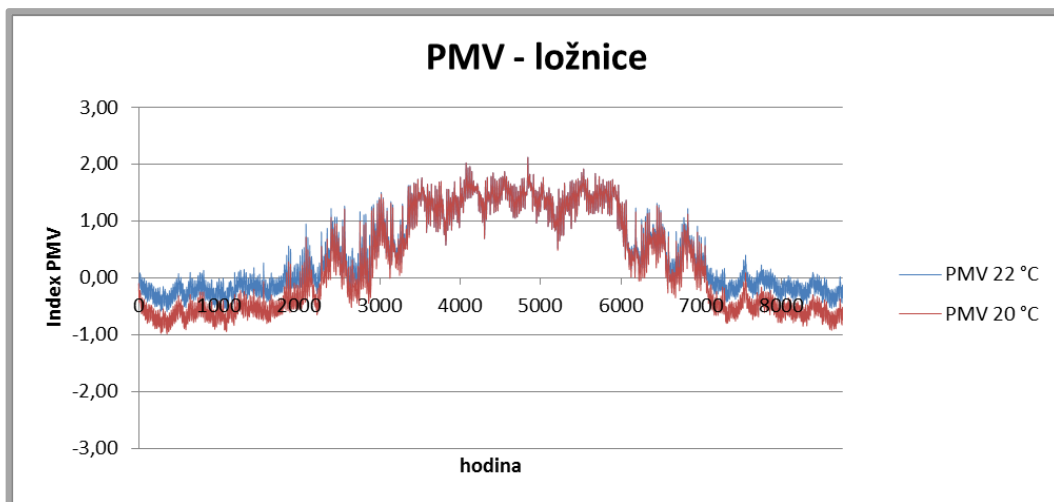
Obr. 5.8 – Vliv zasklení na měsíční solární tepelné zisky zděné stavby

### Index PMV místností zděné stavby

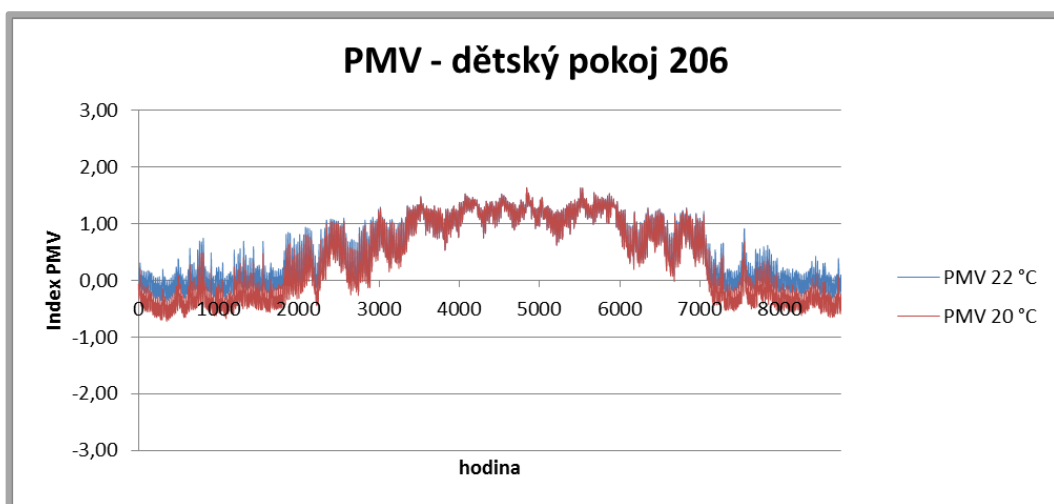
Na index PMV místností zděné stavby měla změna parametrů izolace malý vliv, proto byl posuzován pouze vliv převažující vnitřní výpočtové teploty.



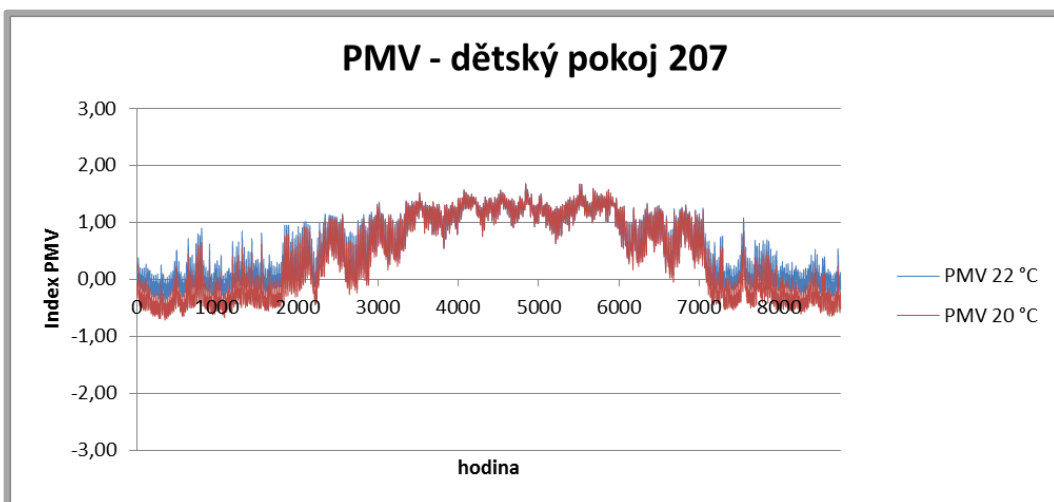
Obr. 5.9 – Index PMV obývacího a kuchyně pokoje 1.NP zděné stavby



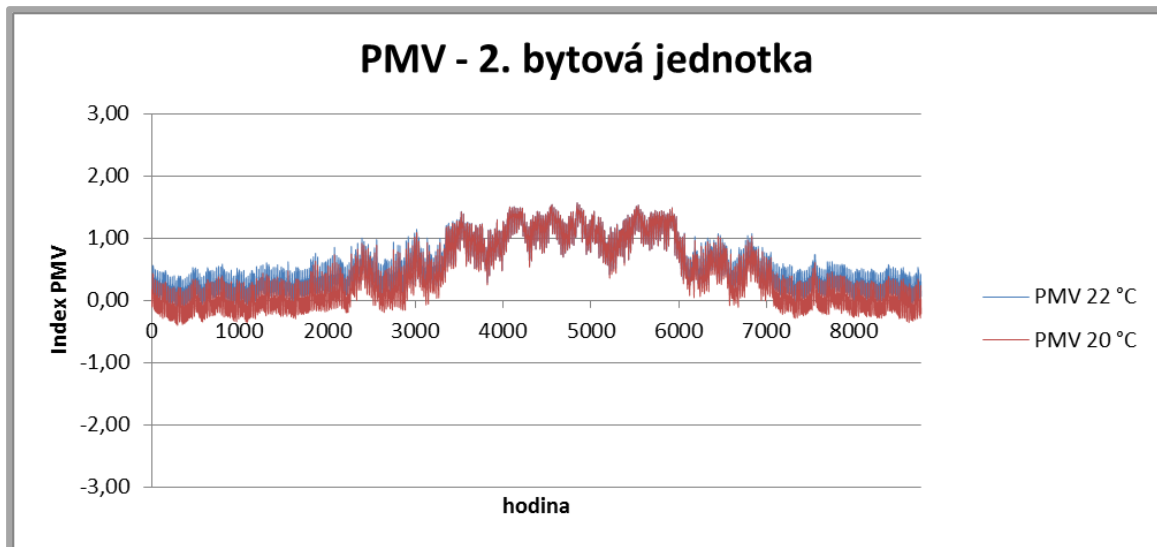
Obr. 5.10 – Index PMV ložnice 2.NP zděné stavby



Obr. 5.11 - Index PMV dětského pokoje 206 2.NP zděné stavby



Obr. 5.12 - Index PMV dětského pokoje 207 2.NP zděné stavby



Obr. 5.13 - Index PMV 2. bytové jednotky 1.NP zděné stavby

## 5.2 Ekonomické posouzení zděné stavby

K posouzení ekonomického hlediska simulovaných opatření byly použity ceny energií aktuální k 7. 4. 2013.

Cena elektrické energie [21]

$C_{EL} = 4,83$  Kč/kWh

Cena plynu [21]

$C_{PL} = 1,66$  Kč/kWh

Cena tepla [21]

$C_{TP} = 1,91$  Kč/kWh

### Investiční náklady na okna a dveře zděné stavby:

Ceny byly aktuální k 23. 3. 2013.

Orientační cena oken a dveří s dvojsklem [22]

$C_{DS} = 302\,150$  Kč

Orientační cena oken a dveří s trojsklem [22]

$C_{TS} = 342\,021$  Kč

### Rozdíl ceny oken a dveří

$$\Delta C_{OD} = C_{TS} - C_{DS} = 342\,021 - 302\,150 = 39\,871 \text{ Kč} \quad (5.1)$$

### Výpočet investičních nákladů zděné stavby:

K posouzení investičních nákladů byly použity ceny izolačních materiálů aktuální k 7. 4. 2013. Pro výpočet ceny izolačních materiálů je použit vztah.

$$C_i = S \cdot C_{iz} \quad (5.2)$$

Kde  $C_i$  celková cena v Kč,  $S$  plocha izolace v  $m^2$  a  $C_{iz}$  je cena za  $m^2$  izolace.

### Obvodová stěna zděné stavby

Plocha obvodových stěn

$$S = 261 \text{ m}^2$$

Tab. 5.2 – Ceny izolace obvodové stěny zděné stavby [7]

Cena polystyrénu EPS 70 F			
tloušťka [cm]	10	14	28
cena [Kč/m <sup>2</sup> ]	196	274	548
celková cena [Kč]	51 156,-	71 514,-	143 028,-

**Střecha zděné stavby**

Plocha střechy  $S = 164 \text{ m}^2$

Tab. 5.3 – Ceny izolace střechy zděné stavby [7]

Cena polystyrénu EPS 100 S			
tloušťka [cm]	14	22	32
cena [Kč/m <sup>2</sup> ]	346	543	790
celková cena [Kč]	56 744,-	89 052,-	129 560,-

**Podlaha zděné stavby**

Plocha podlahy  $S = 131 \text{ m}^2$

Tab. 5.4 – Ceny izolace podlahy zděné stavby [7]

Cena polystyrénu EPS 70 S			
tloušťka [cm]	8	12	18
cena [Kč/m <sup>2</sup> ]	149	224	336
celková cena [Kč]	19 519,-	29 344,-	44 016,-

**Jednotka zpětného získávání tepla**

Cena jednotky ZZT [23]  $C_{ZZT} = 37\,389 \text{ Kč}$

**Celkové ekonomické náklady na jednotlivá opatření zděné stavby**Tab. 5.5 – Celkové ceny  $I_i$  jednotlivých opatření zděné stavby

	Výchozí parametry izolace	Zvýšené parametry izolace	Parametry izolace pro pasivní domy	Parametry izolace pro pasivní domy + ZZT
dvojsklo	429 569,-	492 060,-	618 754,-	656 143,-
trojsklo	469 440,-	531 931,-	658 625,-	696 014,-

Do celkové ceny byly započítány jen ceny materiálu, protože cena práce, kotvicích prvků a omítky je již zahrnuta v samotné výstavbě domu.

**Výchozí varianta parametrů izolace zděné stavby**

Výchozí parametry izolace, okna a dveře s dvojitým zasklením a převažující vnitřní teplota 22 °C, byly určeny jako výchozí varianta, ke které bude počítána doba návratnosti investic.

Výchozí varianta izolací má tyto hodnoty:

$I = 429\,569$  Kč – Náklady na tento stav

$E_{VP} = 22\,356$  kWh/a – Roční spotřeba energie na vytápění

$E_{CHP} = 1831$  kWh/a – Roční potřeba energie na chlazení

### **Nárůst investic oproti výchozí variantě zděné stavby**

$$\Delta I = I - I_i \quad \text{Kč} \quad (5.3)$$

Tab. 5.6 – Nárůst investic  $\Delta I$  oproti výchozí variantě zděné stavby

	Výchozí parametry izolace	Zvýšené parametry izolace	Parametry izolace pro pasivní domy	Parametry izolace pro pasivní domy + ZZT
dvojsklo	0,-	62 491,-	189 185,-	226 574,-
trojsklo	39 871,-	102 362,-	229 056,-	266 445,-

### **Výpočtové vztahy pro určení prosté doby návratnosti**

**Roční rozdíl potřeby energie na vytápění**

$$\Delta E_V = E_{VP} - E_{Vi} \quad \text{kWh/a} \quad (5.4)$$

**Roční rozdíl potřeby energie na chlazení**

$$\Delta E_C = E_{CHP} - E_{CHi} \quad \text{kWh/a} \quad (5.5)$$

**Roční rozdíl energie potřebné na chlazení**

$$\Delta E_{CH} = \frac{\Delta E_C}{\varepsilon_0} \quad \text{kWh/a} \quad (5.6)$$

Kde:  $\varepsilon_0 = 3,5$  chladicí faktor klimatizace zvolen dle [24]

**Rozdíl nákladů na vytápění**

El. energie

$$\Delta U_V = \Delta E_V \cdot C_{EL} \quad \text{Kč} \quad (5.7)$$

Plyn

$$\Delta U_V = \Delta E_V \cdot C_{PL} \quad \text{Kč} \quad (5.8)$$

Teplo

$$\Delta U_V = \Delta E_V \cdot C_{TP} \quad \text{Kč} \quad (5.9)$$

**Rozdíl nákladů na chlazení**

El. energie

$$\Delta U_{CH} = \Delta E_{CH} \cdot C_{EL} \quad \text{Kč} \quad (5.10)$$

**Celkový rozdíl nákladů na topení a chlazení**

$$\Delta U = \Delta U_V + \Delta U_{CH} \quad \text{Kč} \quad (5.11)$$



**Výpočet prosté doby návratnosti investice**

$$N_{inv} = \frac{\Delta I}{\Delta U_V + \Delta U_{CH}} \quad \text{rok} \quad (5.12)$$

**Ekonomický rozbor jednotlivých opatření zděné stavby**

Za použití vztahu 5.4 až 5.12 a hodnot z obr. 5.1 a obr. 5.4.

**Pro výchozí parametry izolace zděné stavby**

Tab. 5.7 – Energetická úspora oproti výchozímu stavu

Energetická úspora $\Delta E$ [kWh/a]				
Spotřeba energie	20 °C		22 °C	
	dvojsklo	trojsklo	dvojsklo	trojsklo
Topení $\Delta E_V$	4284	5049	0	955
Chlazení $\Delta E_{CH}$	0	128	0	128

Tab. 5.8 – Ekonomická úspora v závislosti na druhu použité energie

Ekonomická úspora $\Delta U$ [Kč]				
Použitá energie topení + chlazení	20 °C		22 °C	
	dvojsklo	trojsklo	dvojsklo	trojsklo
El. + El.	20 694,-	25 005,-	0,-	5232,-
Plyn + El.	7103,-	8989,-	0,-	2203,-
Teplo + El.	8177,-	10 255,-	0,-	2442,-

Tab. 5.9 – Prostá doba návratnosti v závislosti na použité energii

Prostá doba návratnosti investic $N_{inv}$ [rok]				
Použitá energie topení + chlazení	20 °C		22 °C	
	dvojsklo	trojsklo	dvojsklo	trojsklo
El. + El.	0	1,6	0	7,6
Plyn + El.	0	4,4	0	18,1
Teplo + El.	0	3,9	0	16,3

**Pro zvýšené parametry izolace zděné stavby**

Tab. 5.10 – Energetická úspora oproti výchozímu stavu

Energetická úspora $\Delta E$ [kWh/a]				
Spotřeba energie	20 °C		22 °C	
	dvojsklo	trojsklo	dvojsklo	trojsklo
Topení $\Delta E_V$	6600	7437	2831	3874
Chlazení $\Delta E_{CH}$	-130	25	-130	25

Tab. 5.11 – Ekonomická úspora v závislosti na použité energii

Ekonomická úspora $\Delta U$ [Kč/a]				
Použitá energie topení + chlazení	20 °C		22 °C	
	dvojsklo	trojsklo	dvojsklo	trojsklo
El. + El.	31 254,-	36 041,-	13 050,-	18 829,-
Plyn + El.	10 317,-	12 449,-	4068,-	6541,-
Teplo + El.	11 972,-	14 313,-	4778,-	7513,-

Tab. 5.12 – Prostá doba návratnosti v závislosti na použité energii

Prostá doba návratnosti investic $N_{inv}$ [rok]				
Použitá energie topení + chlazení	20 °C		22 °C	
	dvojsklo	trojsklo	dvojsklo	trojsklo
El. + El.	2,0	2,8	4,8	5,4
Plyn + El.	6,1	8,2	15,4	15,6
Teplo + El.	5,2	7,2	13,1	13,6

**Pro parametry izolace pasivních domů zděné stavby**

Tab. 5.13 – Energetická úspora oproti výchozímu stavu

Energetická úspora $\Delta E$ [kWh/a]				
Spotřeba energie	20 °C		22 °C	
	dvojsklo	trojsklo	dvojsklo	trojsklo
Topení $\Delta E_V$	8740	9646	5428	6558
Chlazení $\Delta E_{CH}$	-290	-112	-290	-112

Tab. 5.14 – Ekonomická úspora v závislosti na použité energii

Ekonomická úspora $\Delta U$ [Kč/a]				
Použitá energie topení + chlazení	20 °C		22 °C	
	dvojsklo	trojsklo	dvojsklo	trojsklo
El. + El.	40 815,-	46 052,-	24 819,-	31 136,-
Plyn + El.	13 091,-	15 453,-	7600,-	10 333,-
Teplo + El.	15 282,-	17 871,-	8961,-	11 977,-

Tab. 5.15 – Prostá doba návratnosti v závislosti na použité energii

Prostá doba návratnosti investic $N_{inv}$ [rok]				
Použitá energie topení + chlazení	20 °C		22 °C	
	dvojsklo	trojsklo	dvojsklo	trojsklo
El. + El.	4,6	5,0	7,6	7,4
Plyn + El.	14,5	14,8	24,9	22,2
Teplo + El.	12,4	12,8	21,1	19,1

**Pro parametry izolace pasivních domů s jednotkou ZTZ zděné stavby**

Tab. 5.16 – Energetická úspora oproti výchozímu stavu

Energetická úspora $\Delta E$ [kWh/a]				
Spotřeba energie	20 °C		22 °C	
	dvojsklo	trojsklo	dvojsklo	trojsklo
Topení $\Delta E_V$	13 334	14 265	10 946	12 111
Chlazení $\Delta E_{CH}$	-556	-339	-556	-339

Tab. 5.17 – Ekonomická úspora v závislosti na použité energii

Ekonomická úspora $\Delta U$ [Kč/a]				
Použitá energie topení + chlazení	20 °C		22 °C	
	dvojsklo	trojsklo	dvojsklo	trojsklo
El. + El.	61 719,-	67 260,-	50 181,-	56 857,-
Plyn + El.	19 420,-	22 011,-	15 460,-	18 440,-
Teplo + El.	22 763,-	25 588,-	18 204,-	21 477,-

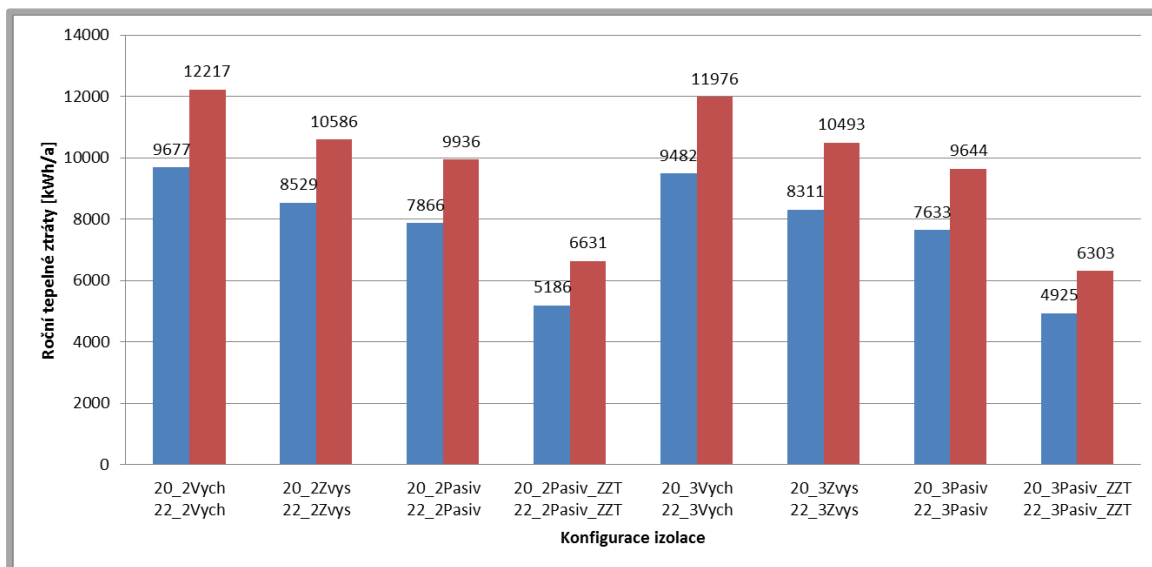
Tab. 5.18 – Prostá doba návratnosti v závislosti na použité energii

Prostá doba návratnosti investic $N_{inv}$ [rok]				
Použitá energie topení + chlazení	20 °C		22 °C	
	dvojsklo	trojsklo	dvojsklo	trojsklo
El. + El.	3,7	4,0	4,5	4,7
Plyn + El.	11,7	12,1	14,7	14,4
Teplo + El.	10,0	10,4	12,4	12,4

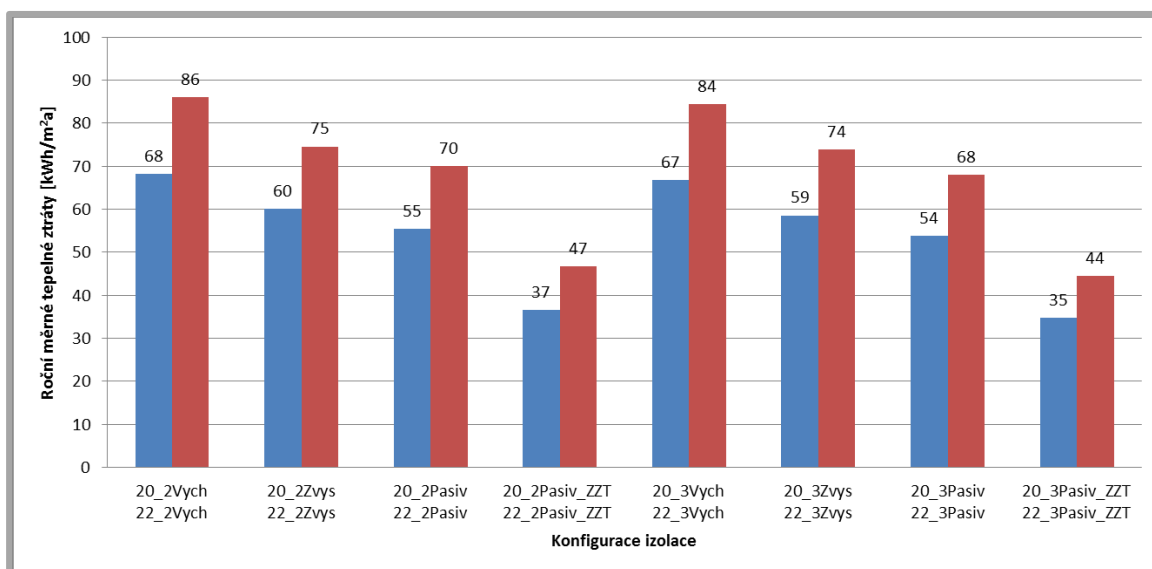
### 5.3 Energetické posouzení dřevostavby

Stejně jako u zděné stavby na tepelné ztráty dřevostavby měly vliv parametry izolací, výplní stavebních otvorů a vnitřní teplota. Jak je patrné z obr. 5.15 měrné tepelné ztráty neklesly pod 20 kWh/m<sup>2</sup>·a, tudíž se ani v případě parametrů izolace pro pasivní domy, podle normy ČSN 73 0540-2, nejedná o pasivní stavbu.

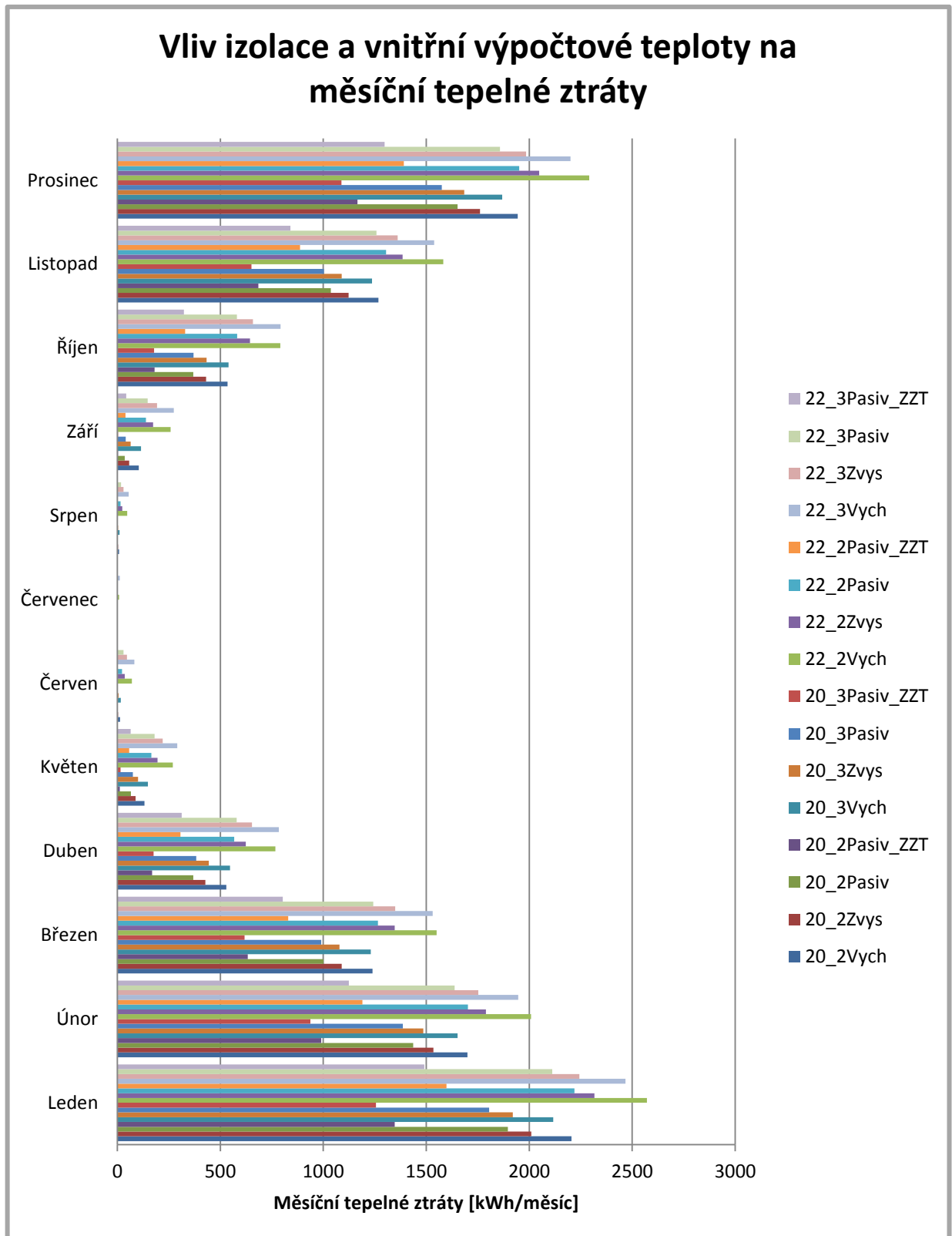
#### Vliv izolace na tepelné ztráty dřevostavby



Obr. 5.14 – Roční tepelné ztráty v závislosti na konfiguraci izolace a převažující vnitřní výpočtové teplotě dřevostavby.



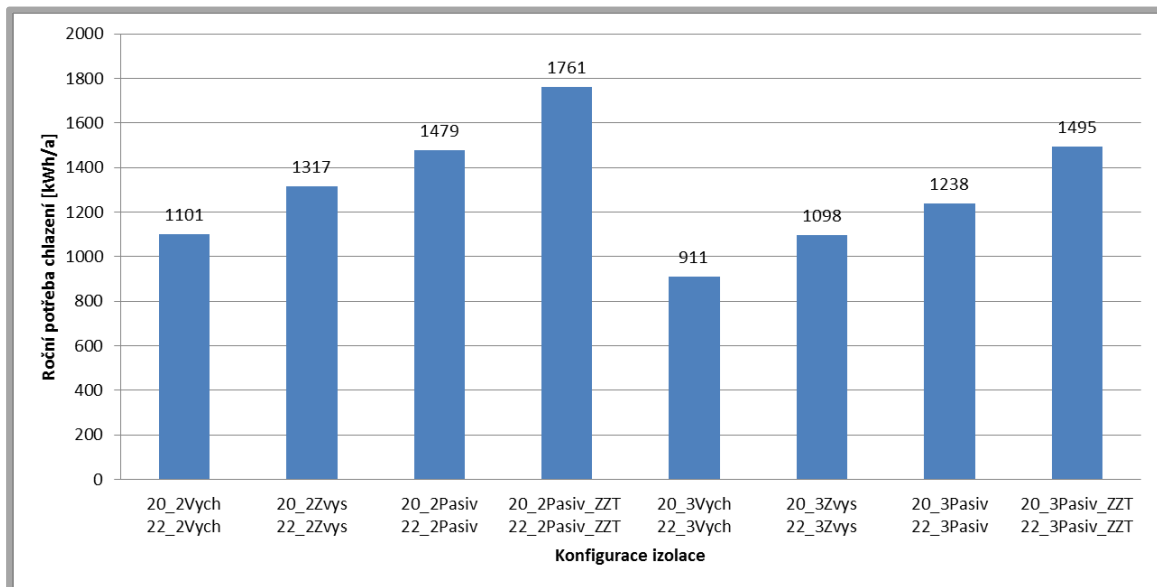
Obr. 5.15 – Roční měrné tepelné ztráty v závislosti na konfiguraci izolace a převažující výpočtové teplotě vtažená na obytnou plochu dřevostavby.



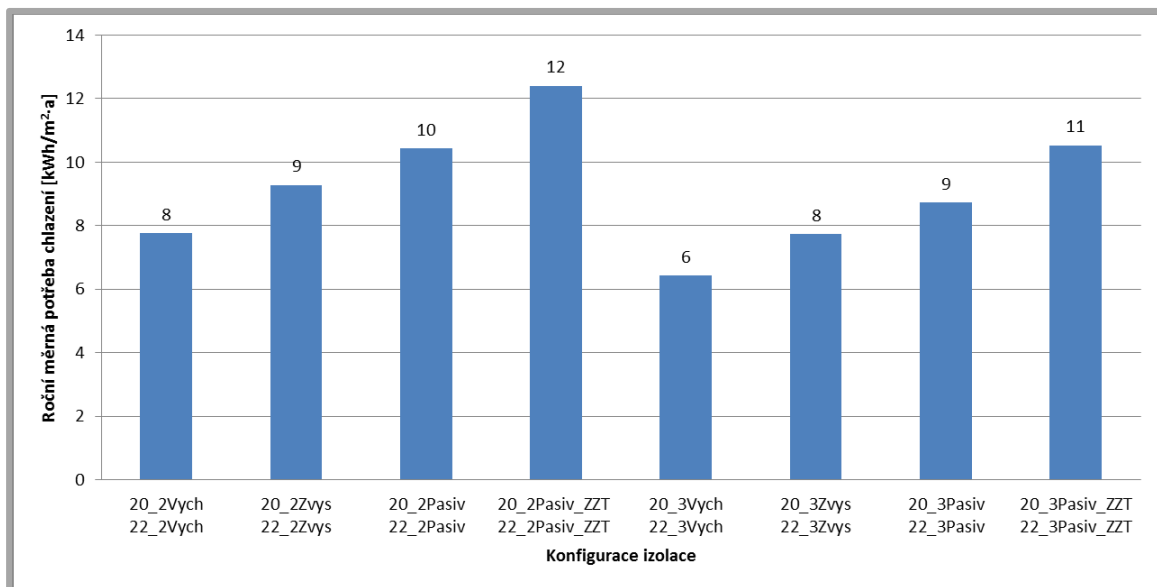
Obr. 5.16 – Měsíční tepelné ztráty v závislosti na konfiguraci izolace a převažující vnitřní výpočtové teplotě dřevostavby

### Vliv izolace na energetickou náročnost chlazení dřevostavby

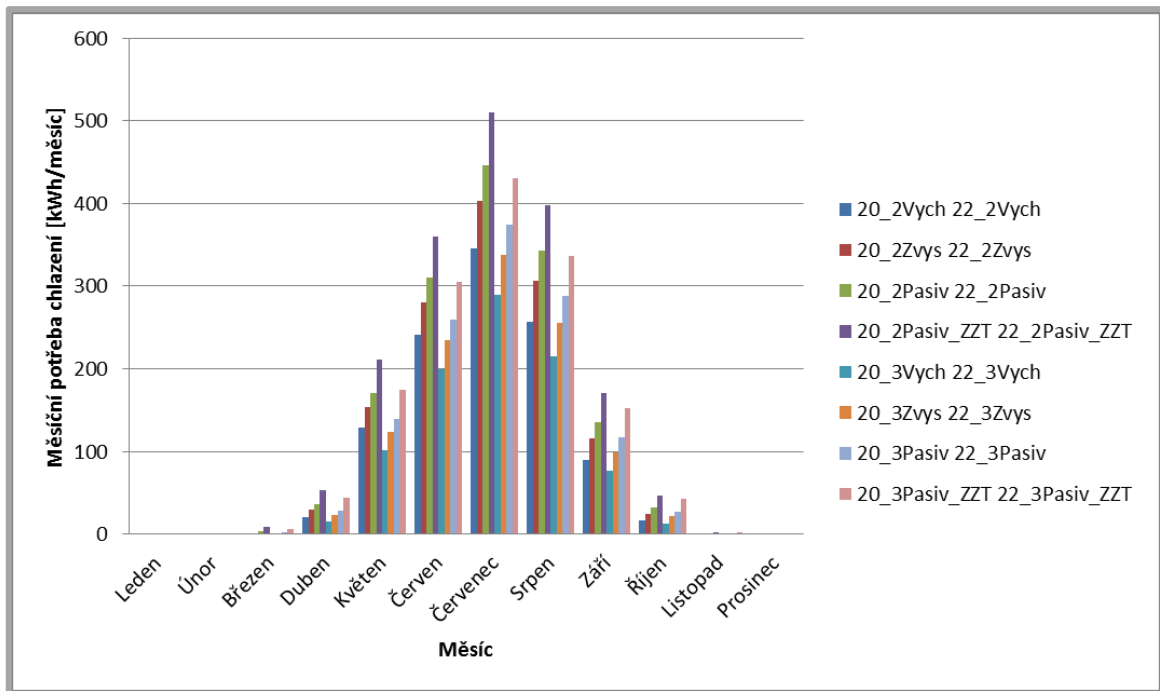
Stejně jako u zděné stavby, na energetickou náročnost chlazení dřevostavby měla převažující vnitřní výpočtová teplota vliv v řádu jednotek kWh/a, proto byly posuzovány pouze vlivy parametrů izolací a výplní stavebních otvorů.



Obr. 5.17 – Roční potřeba chlazení v závislosti na konfiguraci izolace dřevostavby.



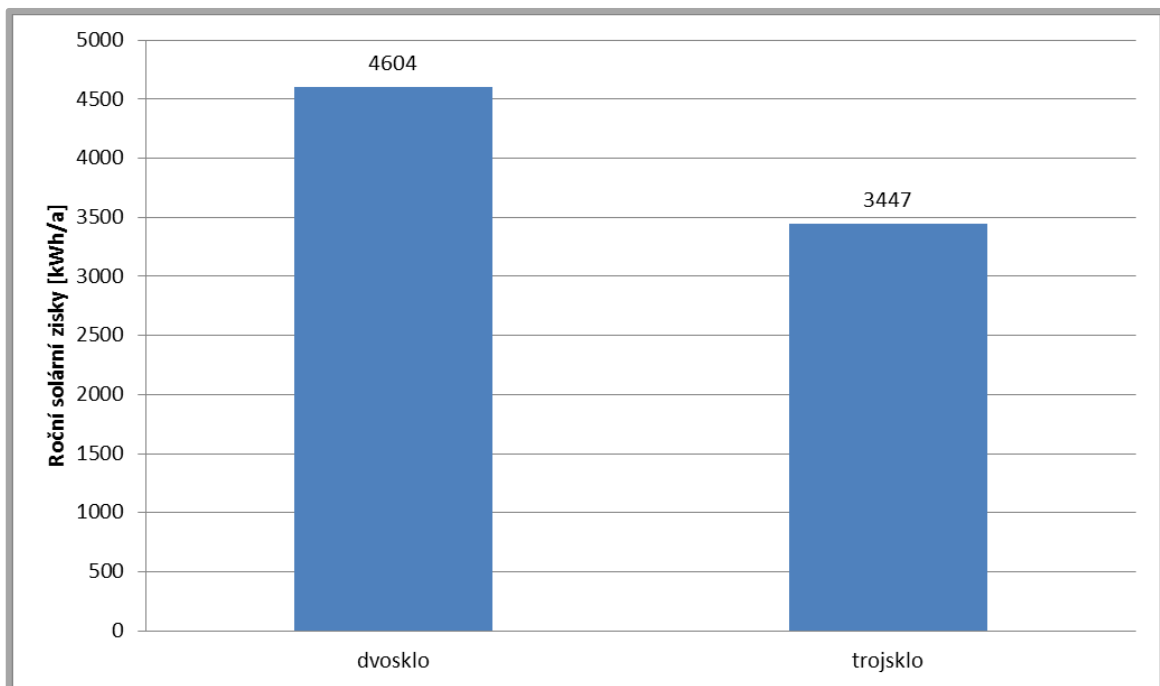
Obr. 5.18 – Roční měrná potřeba chlazení v závislosti na konfiguraci izolace vztahovaná na obytnou plochu dřevostavby.



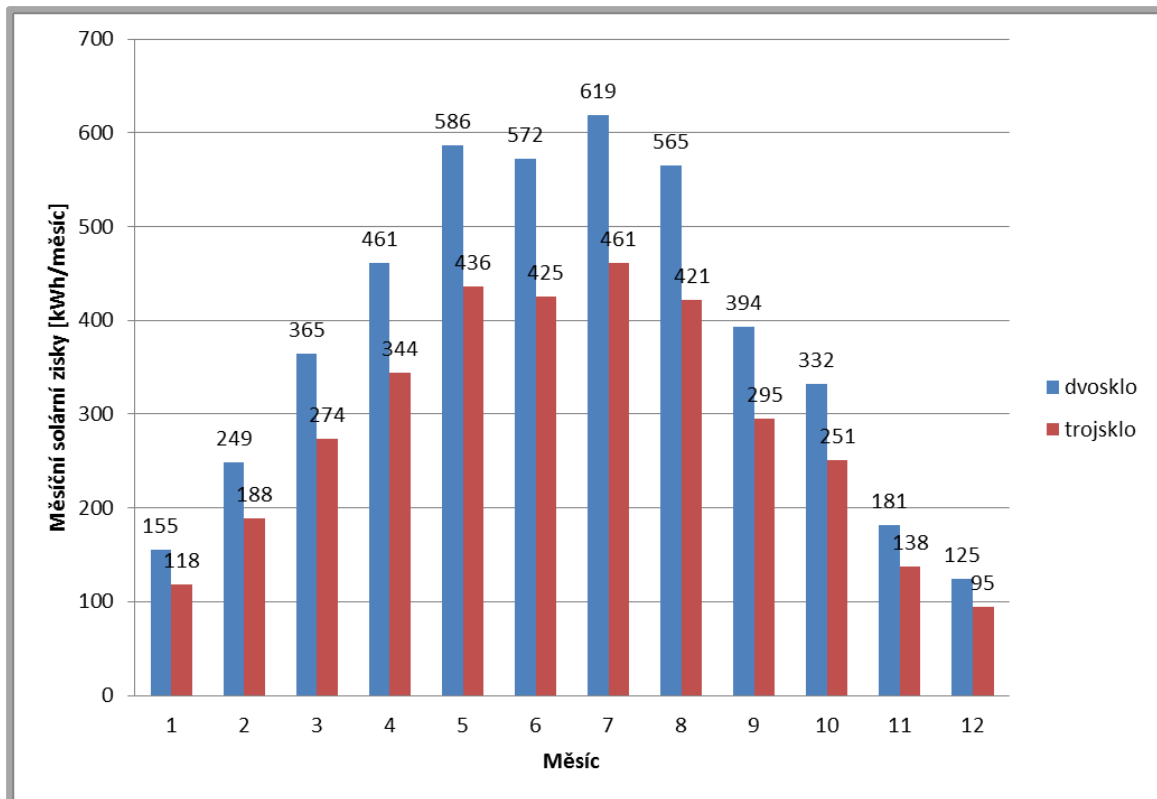
Obr. 5.19 – Měsíční potřeba chlazení v závislosti na konfiguraci izolace dřevostavby

#### Vliv zasklení na solární tepelné zisky dřevostavby

Stejně jako u zděné stavby na solární zisky dřevostavby měly vliv pouze parametry výplní stavebních otvorů.



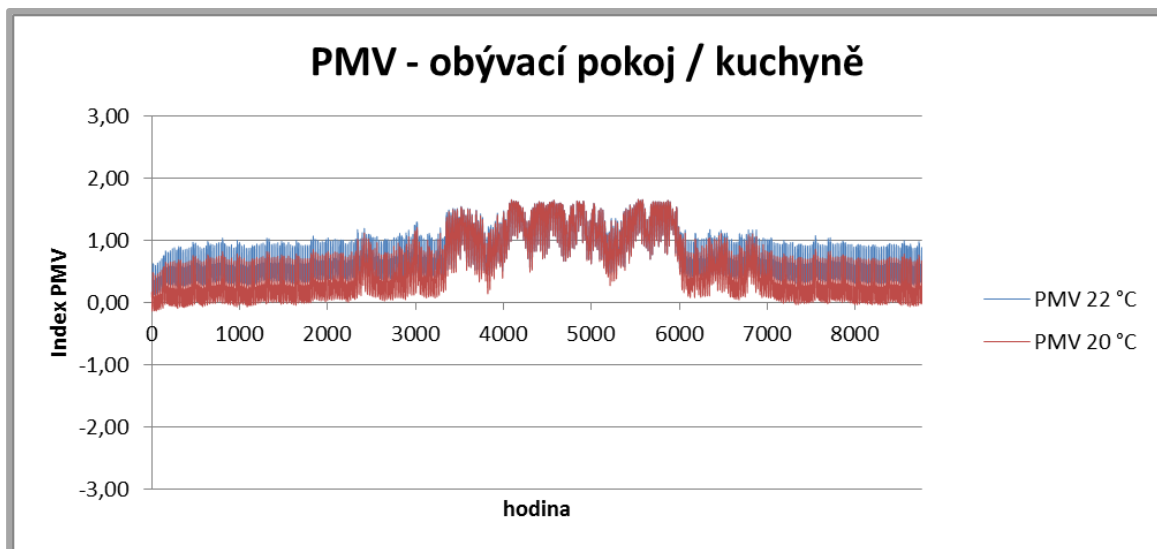
Obr. 5.20 – Vliv zasklení na roční solární zisky dřevostavby.



Obr. 5.21 – Vliv zasklení na měsíční solární tepelné zisky dřevostavby

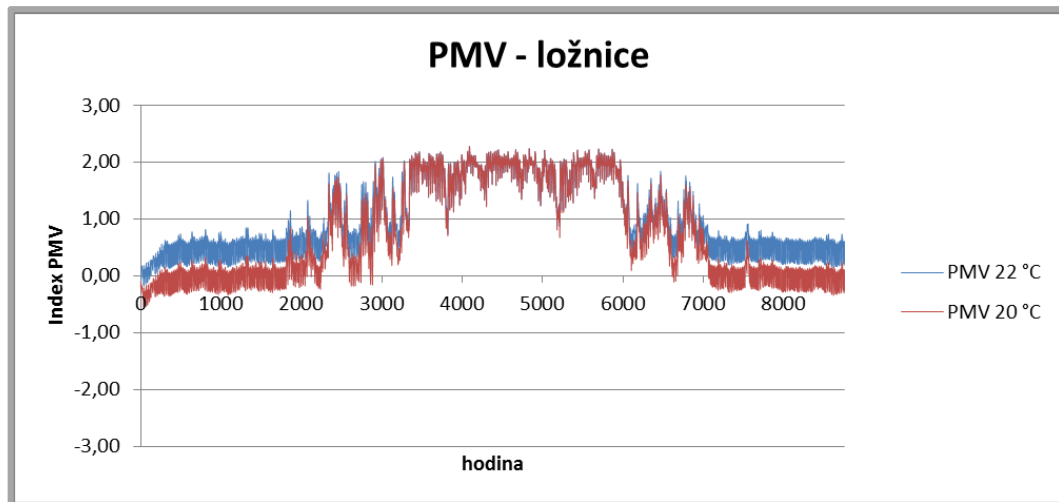
### Index PMV pro místnosti dřevostavby

Stejně jako u zděné stavby na index PMV místností dřevostavby měla změna parametrů izolace malý vliv, proto byl posuzován pouze vliv převažující vnitřní výpočtové teploty.

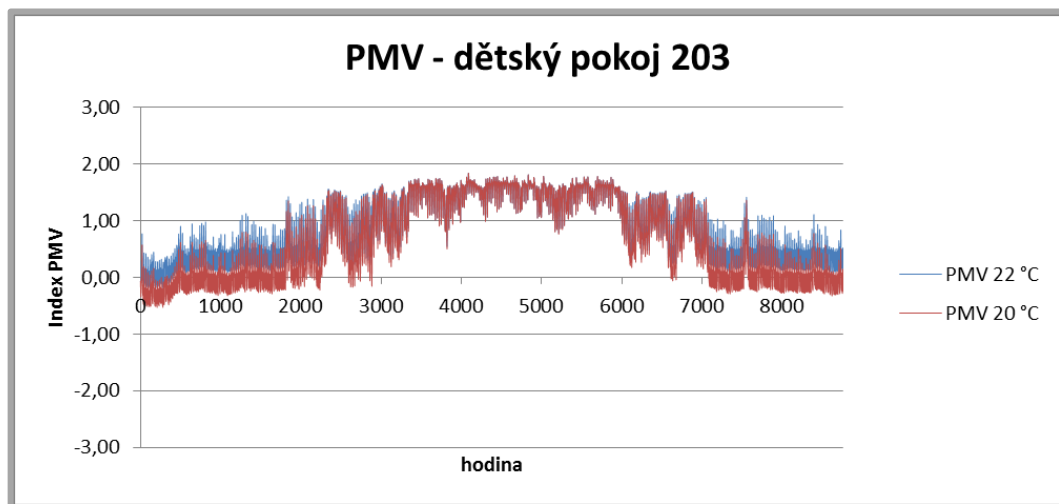


Obr. 5.22 – Index PMV obývacího pokoje 1.NP dřevostavby

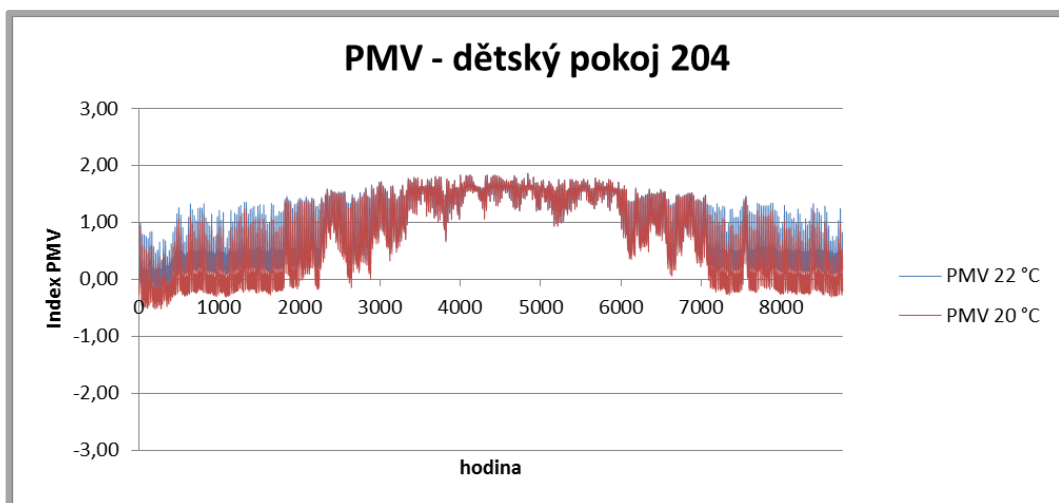




Obr. 5.23 - Index PMV ložnice 2.NP dřevostavby



Obr. 5.24 - Index PMV dětského pokoje 203 2.NP dřevostavby



Obr. 5.25 - Index PMV dětského pokoje 204 2.NP dřevostavby

## 5.4 Ekonomické posouzení dřevostavby

K posouzení ekonomického hlediska simulovaných opatření byly použity ceny energií aktuální k 7.4.2013.

Cena elektrické energie [21]	$C_{EL} = 4,83 \text{ Kč/kWh}$
Cena plynu [21]	$C_{PL} = 1,66 \text{ Kč/kWh}$
Cena tepla [21]	$C_{TP} = 1,91 \text{ Kč/kWh}$

### Investiční náklady na okna a dveře dřevostavby:

Ceny byly aktuální k 23.3.2013.

Orientační cena oken a dveří s dvojsklem [22]	$C_{DS} = 117\,276 \text{ Kč}$
Orientační cena oken a dveří s trojsklem [22]	$C_{TS} = 132\,878 \text{ Kč}$

### **Rozdíl ceny oken a dveří dřevostavby**

$$\Delta C_{OD} = C_{TS} - C_{DS} = 132\,878 - 117\,276 = 15\,602 \text{ Kč} \quad (6.12)$$

### Výpočet investičních nákladů dřevostavby:

K posouzení investičních nákladů byly použity ceny izolačních materiálů aktuální k 7.4.2013. Pro výpočet ceny izolačních materiálů je použit vztah.

$$C_i = S \cdot C_{iz} \quad (6.13)$$

Kde  $C_i$  celková cena v Kč,  $S$  plocha izolace v  $\text{m}^2$  a  $C_{iz}$  je cena za  $\text{m}^2$  izolace.

### **Obvodová stěna dřevostavby**

Plocha obvodových stěn dřevostavby  $S = 177,5 \text{ m}^2$

Tab. 5.19 – Ceny izolace obvodové stěny dřevostavby [7]

Cena polystyrénu EPS 70 F			
tloušťka [cm]	0	6	12
cena [Kč/m <sup>2</sup> ]	0	147+400	296+400
celková cena [Kč]	0,-	97 093,-	123 540,-

### **Střecha dřevostavby**

Plocha střechy dřevostavby  $S = 67,5 \text{ m}^2$

Tab. 5.20 – Ceny izolace střechy dřevostavby [7]

Cena ISOVER ORSIK			
tloušťka [cm]	4	10	12
cena [Kč/m <sup>2</sup> ]	65	162	195
celková cena [Kč]	4388,-	10 935,-	13 163,-

**Podlaha dřevostavby**

Plocha podlahy dřevostavby  $S = 77 \text{ m}^2$

Tab. 5.21 – Ceny izolace podlahy dřevostavby [7]

Cena polystyrénu EPS Perimeter			
tloušťka [cm]	8	12	16
cena [Kč/m <sup>2</sup> ]	339	411	678
celková cena [Kč]	26 103,-	31 647,-	52 206,-

**Jednotka zpětného získávání tepla**

Cena jednotky ZZT [23]  $C_{ZZT} = 37\,389 \text{ Kč}$

**Celkové ekonomické náklady na jednotlivá opatření dřevostavby**Tab. 5.22 – Celkové ceny  $I_i$  jednotlivých opatření dřevostavby

	Výchozí parametry izolace	Zvýšené parametry izolace	Parametry izolace pro pasivní domy	Parametry izolace pro pasivní domy + ZZT
dvojsklo	147 767,-	256 951,-	306 185,-	343 574,-
trojsklo	163 369,-	272 553,-	321 787,-	359 176,-

U obvodových zdí byla navíc započítána cena práce a kotevnic prvků 400 Kč/m<sup>2</sup> [8], protože v základním stavu se nepočítá s dodatečnou izolací polystyrénem. U ostatních ploch je započítána pouze cena izolačního materiálu.

**Výchozí varianta parametrů izolace dřevostavby**

Výchozí parametry izolace, okna a dveře s dvojitým zasklením a převažující vnitřní teplota 22 °C byly určeny jako výchozí varianta, ke které bude počítána doba návratnosti investic.

Výchozí varianta izolací dřevostavby má tyto hodnoty:

$I = 30\,491 \text{ Kč}$  – Náklady na tento stav

$E_{VP} = 12\,217 \text{ kWh/a}$  – Roční spotřeba energie na vytápění

$E_{CHP} = 1101 \text{ kWh/a}$  – Roční spotřeba energie na chlazení

**Nárůst investic oproti výchozí variantě dřevostavby**Tab. 5.23 – Nárůst investic  $\Delta I$  oproti výchozí variantě dřevostavby

	Výchozí parametry izolace	Zvýšené parametry izolace	Parametry izolace pro pasivní domy	Parametry izolace pro pasivní domy + ZZT
dvojsklo	0,-	109 184,-	158 418,-	195 807,-
trojsklo	15 602,-	124 786,-	174 020,-	211 409,-

**Ekonomický rozbor jednotlivých opatření dřevostavby**

Za použití vztahu 5.4 až 5.12 a hodnot z obr. 5.14 a obr. 5.17

**Pro výchozí parametry izolace dřevostavby**

Tab. 5.24 – Energetická úspora oproti výchozímu stavu

Energetická úspora $\Delta E$ [kWh/a]				
Spotřeba energie	20 °C		22 °C	
	dvojsklo	trojsklo	dvojsklo	trojsklo
Topení $\Delta E_V$	2540	2735	0	241
Chlazení $\Delta E_{CH}$	0	54	0	54

Tab. 5.25 – Ekonomická úspora v závislosti na použité energii

Ekonomická úspora $\Delta U$ [Kč/a]				
Použitá energie topení + chlazení	20 °C		22 °C	
	dvojsklo	trojsklo	dvojsklo	trojsklo
El. + El.	12 270,-	13 471,-	0,-	1427,-
Plyn + El.	4211,-	4796,-	0,-	662,-
Teplo + El.	4848,-	5482,-	0,-	723,-

Tab. 5.26 – Prostá doba návratnosti v závislosti na použité energii

Prostá doba návratnosti investic $N_{inv}$ [rok]				
Použitá energie topení + chlazení	20 °C		22 °C	
	dvojsklo	trojsklo	dvojsklo	trojsklo
El. + El.	0	1,2	0	10,9
Plyn + El.	0	3,3	0	23,6
Teplo + El.	0	2,8	0	21,6

**Pro zvýšené parametry izolace dřevostavby**

Tab. 5.27 – Energetická úspora oproti výchozímu stavu

Energetická úspora $\Delta E$ [kWh/a]				
Spotřeba energie	20 °C		22 °C	
	dvojsklo	trojsklo	dvojsklo	trojsklo
Topení $\Delta E_V$	3688	3906	1631	1724
Chlazení $\Delta E_{CH}$	-62	1	-62	1

Tab. 5.28 – Ekonomická úspora v závislosti na použité energii

Ekonomická úspora $\Delta U$ [Kč/a]				
Použitá energie topení + chlazení	20 °C		22 °C	
	dvojsklo	trojsklo	dvojsklo	trojsklo
El. + El.	17 515,-	18 870,-	7580,-	8331,-
Plyn + El.	5816,-	6480,-	2406,-	2862,-
Teplo + El.	6741,-	7459,-	2815,-	3295,-

Tab. 5.29 – Prostá doba návratnosti v závislosti na použité energii

Prostá doba návratnosti investic $N_{inv}$ [rok]				
Použitá energie topení + chlazení	20 °C		22 °C	
	dvojsklo	trojsklo	dvojsklo	trojsklo
El. + El.	6,2	6,6	14,4	15,0
Plyn + El.	18,8	19,3	45,4	43,6
Teplo + El.	16,2	16,7	38,8	37,9

**Pro parametry izolace pasivních domů dřevostavby**

Tab. 5.30 – Energetická úspora oproti výchozímu stavu

Energetická úspora $\Delta E$ [kWh/a]				
Spotřeba energie	20 °C		22 °C	
	dvojsklo	trojsklo	dvojsklo	trojsklo
Topení $\Delta E_v$	4351	4583	2281	2572
Chlazení $\Delta E_{CH}$	-108	-39	-108	-39

Tab. 5.31 – Ekonomická úspora v závislosti na použité energii

Ekonomická úspora $\Delta U$ [Kč/a]				
Použitá energie topení + chlazení	20 °C		22 °C	
	dvojsklo	trojsklo	dvojsklo	trojsklo
El. + El.	20 492,-	21 949,-	10 496,-	12 235,-
Plyn + El.	6691,-	7409,-	3260,-	4075,-
Teplo + El.	7782,-	8559,-	3832,-	4720,-

Tab. 5.32 – Prostá doba návratnosti v závislosti na použité energii

Prostá doba návratnosti investic $N_{inv}$ [rok]				
Použitá energie topení + chlazení	20 °C		22 °C	
	dvojsklo	trojsklo	dvojsklo	trojsklo
El. + El.	7,7	7,9	15,1	14,2
Plyn + El.	23,7	23,5	48,6	42,7
Teplo + El.	20,4	20,3	41,3	36,9

**Pro parametry izolace pasivních domů s jednotkou ZZT dřevostavby**

Tab. 5.33 – Energetická úspora oproti výchozímu stavu

Energetická úspora $\Delta E$ [kWh/a]				
Spotřeba energie	20 °C		22 °C	
	dvojsklo	trojsklo	dvojsklo	trojsklo
Topení $\Delta E_V$	7030	7291	5586	5914
Chlazení $\Delta E_{CH}$	-188	-113	-188	-113

Tab. 5.34 – Ekonomická úspora v závislosti na použité energii

Ekonomická úspora $\Delta U$ [Kč/a]				
Použitá energie topení + chlazení	20 °C		22 °C	
	dvojsklo	trojsklo	dvojsklo	trojsklo
El. + El.	33 046,-	34 674,-	26 069,-	28 020,-
Plyn + El.	10 745,-	11 545,-	8350,-	9261,-
Teplo + El.	12 508,-	13 373,-	9750,-	10 743,-

Tab. 5.35 – Prostá doba návratnosti v závislosti na použité energii

Prostá doba návratnosti investic $N_{inv}$ [rok]				
Použitá energie topení + chlazení	20 °C		22 °C	
	dvojsklo	trojsklo	dvojsklo	trojsklo
El. + El.	5,9	6,1	7,5	7,5
Plyn + El.	18,2	18,3	23,5	22,8
Teplo + El.	15,7	15,8	20,1	19,7

## **6 POSOUZENÍ VLIVU JEDNOTLIVÝCH FAKTORŮ NA SPOTŘEBU ENERGIE**

### **6.1 Vliv parametrů tepelné izolace**

Parametry izolace měly vliv na tepelné ztráty a energetickou potřebu chlazení. V případě tepelných ztrát (obr. 5.1 a obr. 5.2 zděná stavba, obr. 5.14 a obr. 5.15 dřevostavba) měly zlepšující se parametry izolací pozitivní vliv. V případě zlepšení parametrů z výchozích na zvýšené a při stejné vnitřní teplotě byla úspora energie na vytápění přibližně 13 % u obou staveb. Další zlepšení parametrů izolace ze zvýšených na parametry izolace pasivních domů vedlo k úsporám energie na vytápění o 24 % v případě zděné stavby a o 19 % u dřevostavby. Tento rozdíl je pravděpodobně zapříčiněn lehkou konstrukcí dřevostavby, která nedokáže akumulovat teplo. V případě použití jednotky ZZT, úspora energie na vytápění vzrostla na 49 % v případě zděné stavby a na 45 % v případě dřevostavby. Zde je vidět podobný rozdíl jako bez použití jednotky ZZT.

Na rozdíl od tepelných ztrát má zlepšování parametrů tepelných izolací negativní vliv na energetickou náročnost chlazení (obr. 5.4 a obr. 5.5 zděná stavba, obr. 5.17 a obr. 5.18 dřevostavba). Zlepšení parametrů izolací z výchozích na zvýšené parametry, vede k nárůstu energetické náročnosti chlazení o 25 % u zděné stavby a o 20 % u dřevostavby. Dalším zlepšením parametrů izolací až na parametry pasivního domu vzrůstá energetická náročnost chlazení o 55 % v případě zděné stavby a 36 % v případě dřevostavby oproti výchozí variantě. Rozdíl v nárůstu energetické náročnosti chlazení zděné stavby a dřevostavby je patrně zapříčiněn hmotností zděné stavby, díky které akumuluje teplo během dne a poté jej emituje do vnitřních prostor během noci, nebo větším poměrem zasklených ploch, který vede k větším solárním tepelným ziskům. Při použití jednotky ZZT byl nárůst spotřeby energie na chlazení o 100 % v případě zděné stavby a o 60 % v případě dřevostavby oproti výchozím parametrům. Negativní vliv jednotky ZZT na potřebu chlazení je pravděpodobně způsoben špatným nastavením simulace, kdy se neuvažuje letní bypass výměníku ZZT.

### **6.2 Vliv parametrů výplní stavebních otvorů**

Parametry výplní stavebních otvorů měly vliv na tepelné ztráty, energetickou potřebu chlazení a solární tepelné zisky. V případě tepelných ztrát (obr. 5.1 a obr. 5.2 zděná stavba, obr. 5.14 a obr. 5.15 dřevostavba) se pohybovaly úspory energie na vytápění v rozpětí 4 až 10 % v případě zděné stavby a 2 až 5 % v případě dřevostavby, s tím, že procentuální vliv parametrů zasklení na úsporu energie na vytápění vzrůstal se zlepšujícími se parametry izolací. Rozdíl v energetické úspoře zděného domu a dřevostavby vlivem zlepšených parametrů výplní stavebních otvorů lze přičíst většímu poměru zasklených ploch v případě zděné stavby.

V případě energetické náročnosti chlazení měly zlepšené parametry výplní stavebních otvorů pozitivní vliv (obr. 5.4 a obr. 5.5 zděná stavba, obr. 5.17 a obr. 5.18 dřevostavba). Energetická úspora chlazení se v případě zděné stavby pohybovala okolo 30 % a v případě dřevostavby okolo 20 %.

Parametry výplní stavebních otvorů měly jako jediné vliv na solární tepelné zisky (obr. 5.7 a obr. 5.8 zděná stavba, obr. 5.20 a obr. 5.21 dřevostavba), kdy se vlivem zlepšení parametrů výplní stavebních otvorů pohybovalo snížení solárních tepelných zisků kolem 25 % u obou staveb.

### 6.3 Vliv vnitřní teploty

Rozdílná vnitřní teplota měla vliv na tepelné ztráty a komfort, který byl zjišťován v obytných místnostech. Ukázalo se, že pouhým snížením vnitřní teploty o 2 °C lze docílit úspory energie (tab. 6.1 a tab. 6.2) v případě zděné stavby v průměru o 20 % a v případě dřevostavby v průměru o 21 %.

Tab. 6.1 – Úspora energie na vytápění snížením vnitřní teploty – zděná stavba

Parametry izolace a výplní stavebních otvorů	Výchozí parametry izolace, dvojsklo	Zvýšené parametry izolace, dvojsklo	Parametry izolace pro pasivní domy, dvojsklo	Parametry izolace pro pasivní domy + ZZT, dvojsklo
ztráty pro 20 °C [kWh/a]	18071	15755	13616	9022
ztráty pro 22 °C [kWh/a]	22356	19524	16928	11410
Úspora energie [%]	<b>19,2</b>	<b>19,3</b>	<b>19,6</b>	<b>20,9</b>
Parametry izolace	Výchozí parametry izolace, trojsklo	Zvýšené parametry izolace, trojsklo	Parametry izolace pro pasivní domy, trojsklo	Parametry izolace pro pasivní domy + ZZT, trojsklo
ztráty pro 20 °C [kWh/a]	17307	14919	12710	8091
ztráty pro 22 °C [kWh/a]	21401	18482	15798	10245
Úspora energie [%]	<b>19,1</b>	<b>19,3</b>	<b>19,5</b>	<b>21,0</b>

Tab. 6.2 – Úspora energie na vytápění snížením vnitřní teploty – dřevostavba

Parametry izolace a výplní stavebních otvorů	Výchozí parametry izolace, dvojsklo	Zvýšené parametry izolace, dvojsklo	Parametry izolace pro pasivní domy, dvojsklo	Parametry izolace pro pasivní domy + ZZT, dvojsklo
ztráty pro 20 °C [kWh/a]	9677	8529	7866	5186
ztráty pro 22 °C [kWh/a]	12217	10586	9936	6631
Úspora energie [%]	<b>20,8</b>	<b>19,4</b>	<b>20,8</b>	<b>21,8</b>
Parametry izolace	Výchozí parametry izolace, trojsklo	Zvýšené parametry izolace, trojsklo	Parametry izolace pro pasivní domy, trojsklo	Parametry izolace pro pasivní domy + ZZT, trojsklo
ztráty pro 20 °C [kWh/a]	9482	8311	7633	4925
ztráty pro 22 °C [kWh/a]	11976	10493	9644	6303
Úspora energie [%]	<b>20,8</b>	<b>20,8</b>	<b>20,9</b>	<b>21,9</b>

Index PMV (obr. 5.9 až obr. 5.13 zděná stavba a obr. 5.22 až obr. 5.25 dřevostavba) byl výrazněji ovlivněn jen nastavením nižší vnitřní teploty a to během zimního období, kdy index klesl v průměru o 0,3 u všech posuzovaných místností.



## DISKUZE

Druh izolace u obou staveb byl volen na základě podkladů investora. K posouzení vlivu různých parametrů izolací byly jejich tloušťky navrženy tak, aby splňovaly požadované parametry (výchozí parametry izolace), doporučené parametry (zvýšené parametry izolace) a doporučené parametry pro pasivní domy (parametry izolace pro pasivní domy) součinitele prostupu tepla dle normy ČSN 73 0540-2 (tab. 4.1). Tloušťky izolací s parametry izolace pro pasivní domy byly voleny shodně s podklady od investora (tab. 4.2 až tab. 4.10). Jako výplně stavebních otvorů byly zvoleny plastová pětikomorová okna a dveře s dvojitým zasklením (součinitel prostupu tepla  $U = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ ), resp. šestikomorová s trojitým zasklením (součinitel prostupu tepla  $U = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ ). Dále byla jako proměnný parametr zvolena vnitřní výpočtová teplota (výchozí stav  $22 \text{ }^\circ\text{C}$  během dne a  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  během nočního útlumu vs. snížená teplota  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  během dne a  $18 \text{ }^\circ\text{C}$  během nočního útlumu.).

Dotaci z programu Nová Zelená úsporám není možné na tato opatření čerpat, z důvodu nesplnění podmínky pasivního domu [2], která je dle ČSN 73 0540-2 pro rodinné domy  $20 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{a}$  [13]. Nejblíže k této hodnotě dosáhlo opatření s parametry izolace pro pasivní domy spolu s jednotkou ZZT a sníženou vnitřní teplotou, kdy měrná spotřeba tepla dosahovala hodnot  $57 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{a}$  v případě zděné stavby (obr. 5.2) a  $35 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{a}$  v případě dřevostavby (obr. 5.15). Z tohoto hlediska by byla nutná další investice do alternativních zdrojů tepla (solární kolektory, zemní výměník atp.).

Jako určující znak pro porovnání efektivnosti vynaložených nákladů na zlepšení parametrů izolací a výplní stavebních otvorů byla počítána prostá doba návratnosti investic, přičemž nebyl uvažován budoucí vývoj cen energií. Z tohoto pohledu vychází nejlépe komplexní opatření zahrnující parametry izolace pasivních domů, dvojitě zasklení stavebních otvorů a jednotku ZZT u obou hodnocených staveb, kdy doba návratnosti činila 4,5 roků (tab. 5.18) v případě zděné stavby a 7,5 roků (tab. 5.35) v případě dřevostavby.

Další faktor, který významně ovlivňuje dobu návratnosti investic je cena energie použité na vytápění. V případě, že je k dispozici levný zdroj energie na vytápění, nevyplatí se investovat pouze do zateplení stavby, ale je nutná další investice do jednotky ZZT, ale ani v tomto případě doba návratnosti neklesne pod 14 let (tab. 5.18) v případě zděné stavby, respektive pod 22 let (tab. 5.35) v případě dřevostavby.

Pokud přihlídneme k životnosti izolačních materiálů, která se pohybuje v rozpětí 30 až 50 let v případě polystyrénu a minerální vlny [25], ukazují se jako neefektivně vynaložené náklady, kdy doba návratnosti investic přesahuje 30 let (tab. 5.29 tab. 5.32).

Z hlediska komfortu měly změny parametrů izolací malý vliv, který index PMV ovlivnil v řádu setin, největší vliv na index PMV měla snížená vnitřní teplota a to pouze v zimním období, kdy došlo k poklesu indexu PMV v průměru o 0,3. Samotný index PMV se za celý rok pohyboval mezi hodnotami -0,5 až 2,0 v případě obývacího pokoje / kuchyně a dětských pokojů (obr. 5.9, obr. 5.11, obr. 5.12, obr. 5.13, zděná stavba a obr. 5.22, obr. 5.24, obr. 5.25 dřevostavba) a hodnotami -0,5 až 2,2 v případě ložnic (obr. 5.10, obr. 5.23) u obou posuzovaných staveb.



## ZÁVĚR

Cílem práce bylo pomocí energetické simulace zpracovat rozbor tepelných ztrát a zisků (včetně solárních) dvou novostaveb rodinných domů (klasické zděné stavby a lehké dřevostavby), posoudit vliv jednotlivých složek a navrhnout optimální skladbu opatření ke snížení spotřeby energie na vytápění a chlazení a posoudit, jaký vliv mají jednotlivá opatření na energetickou a ekonomickou stránku.

U obou rodinných domů bylo simulováno šestnáct kombinací opatření, spočívajících ve třech konfiguracích izolací pro výchozí parametry izolace, zvýšené parametry izolace a parametry izolace pro pasivní domy. U parametrů pro pasivní dům byla navíc provedena simulace zpětného získávání tepla výměníkem o účinnosti 60 %. Každá tato simulace byla řešena se dvěma variantami výplní stavebních otvorů pro určení vlivu zasklení na solární zisky. Pro posouzení vlivu vnitřní teploty na tepelné ztráty byly uvažovány dvě různé převažující vnitřní výpočtové teploty (tab. 5.1). Investiční náklady se pohybovaly v rozpětí 39 871 až 266 445 Kč (tab. 5.6) v případě zděné stavby a 15 602 až 211 409 Kč (tab. 5.23) v případě dřevostavby. Do investičních nákladů na zlepšení parametrů izolací dřevostavby se negativně projeví náklady spojené s montáží dodatečné izolace na obvodovou stěnu, které činí 400 Kč/m<sup>2</sup> [8] celkově pak 71 000 Kč.

Jako zásadní vliv pro rozhodnutí, zda investovat do lepších parametrů izolace, se ukázala cena energie použité pro vytápění. Z tohoto pohledu se nevyplatí investovat do zlepšení parametrů izolace v případě levného zdroje energie na vytápění, kdy doba návratnosti může vzrůst až za hranici životnosti izolačních materiálů (tab. 5.29 tab. 5.32).

Při porovnání obou staveb mezi sebou vychází z energetického hlediska lépe lehká dřevostavba, u které se roční měrné tepelné ztráty pohybují v rozsahu 35 až 86 kWh/m<sup>2</sup>·a (obr. 5.15) v závislosti na opatření, oproti zděné stavbě kde se tyto ztráty pohybují v rozsahu 57 až 157 kWh/m<sup>2</sup>·a (obr. 5.2). V případě roční měrné potřeby chlazení se nároky dřevostavby pohybují v rozsahu 6 až 12 kWh/m<sup>2</sup>·a (obr. 5.18) v závislosti na opatření a v případě zděné stavby pak v rozsahu 10 až 27 kWh/m<sup>2</sup>·a (obr. 5.5) v závislosti na opatření.



## ZDROJE

- [1] Spotřeba elektrické energie domácností, predikce a potenciální úspory pomocí BACS. *TZBINFO* [online]. [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://elektro.tzb-info.cz/8570-spotreba-elektricke-energie-domacnosti-predikce-a-potencialni-uspory-pomoci-bacs>
- [2] Nová Zelená úsporám aktuálně. *TZBINFO* [online] [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/zelena-usporam-na-tzb-info/9562-nova-zelena-usporam-aktualnena-tzb-info/9330-nova-zelena-usporam-vyhlasena>
- [3] CHMÚRNY, Ivan. *Tepelná ochrana budov*. 1.vyd. Bratislava: Jaga group, 2003, 214 s. ISBN 80-889-0527-3.
- [4] VAVERKA, Jiří. *Stavební tepelná technika a energetika budov*. Vyd. 1. Brno: VUTIUM, 2006, 648 s. ISBN 80-214-2910-0.
- [5] KULHÁNEK, František. *Stavební fyzika II: stavební tepelná technika*. 5., přeprac. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2011, 157 s. ISBN 978-80-01-04957-0.
- [6] Wikipedie. *Polystyren* [online]. [cit. 2013-05-11]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Polystyren>
- [7] *ISOVER* [online] [cit. 2013-03-22] Dostupné z: <http://www.isover.cz/>
- [8] ŠUBRT, Roman. *Tepelné izolace v otázkách a odpovědích*. 1. vyd. Praha: BEN, 2005, 143 s. Stavitelství. ISBN 80-730-0159-4.
- [9] Wikipedie. *Minerální vata* [online]. [cit. 2013-05-11]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Miner%C3%A1ln%C3%AD\\_vata](http://cs.wikipedia.org/wiki/Miner%C3%A1ln%C3%AD_vata)
- [10] PUR Izolace. [online] [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://www.pur.cz/>
- [11] CHYBÍK, Josef. *Přírodní stavební materiály*. 1. vydání. Praha: Grada Publishing, 2009, 268 s. ISBN 978-80-247-2532-1.
- [12] Wikipedie. *Aerogel* [online] [cit. 2013-05-11]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Aerogel>
- [13] ČSN 73 0540-2. *Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [14] *Mapy.cz* [online]. [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://www.mapy.cz/>
- [15] *TRNSYS - Official Website* [online] [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://sel.me.wisc.edu/trnsys/faq/faq.htm>
- [16] *Hodnoty fyzikálních veličin vybraných stavebních materiálů* [online]. [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/58-hodnoty-fyzikalnich-velicin-vybranych-stavebnich-materialu>
- [17] *Sendwix* [online] [cit. 2013-05-05] Dostupné z: <http://www.sendwix.cz/>
- [18] *Wienerberger cihlářský průmysl* [online] [cit. 2013-05-05] Dostupné z: <http://www.wienerberger.cz/>

- [19] Plazma vs. LCD vs. LED: spotřeba elektrické energie *AVMANIA* [online] [cit. 2013-05-07]. Dostupné z: <http://avmania.e15.cz/plazma-vs-lcd-vs-led-spotreba-elektricke-energie>
- [20] *Kuchyne-levne* [online] [cit. 2013-05-07]. Dostupné z: <http://www.kuchyne-levne.cz>
- [21] *CenyEnergie* [online] [cit. 2013-04-07]. Dostupné z: <http://www.cenyenergie.cz/>
- [22] *Kalkulace plastových oken* [online] [cit. 2013-03-22]. Dostupné z: <http://www.oknapresinternet.cz/kalkulace/>
- [23] *Rekuperální jednotka Sentinel Kinetic B* [online] [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: <http://www.regulus.cz/cz/rekuperacni-jednotka-sentinel-kinetic-b>
- [24] Nástěnné klimatizace. *NEPA* [online] [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: <http://www.nepa.cz/cs/produkty-sinclair/nastenne-klimatizace/>
- [25] PAPADOPOULOS, A.M., A KARAMANOS a A AVGELIS. *ENVIRONMENTAL IMPACT OF INSULATING MATERIALS AT THE END OF THEIR USEFUL LIFETIME* [online]. 2002, č. 4 [cit. 2013-05-10]. Dostupné z: [http://www.fibran.gr/sappek/docs/publications/article\\_4.pdf](http://www.fibran.gr/sappek/docs/publications/article_4.pdf)

## POUŽITÉ SYMBOLY A ZKRATKY

### Použité symboly

$C$	Cena	Kč
$C_{DS}$	Cena výplní stavebních otvorů s dvojsklem	Kč
$C_{EL}$	Cena elektrické energie	Kč/kWh
$C_i$	Celková cena izolace	Kč
$C_{iz}$	Měrná cena izolace	Kč/m <sup>2</sup>
$C_{PL}$	Cena plynu	Kč/kWh
$C_{TP}$	Cena tepla	Kč/kWh
$C_{TS}$	Cena výplní stavebních otvorů s trojsklem	Kč
$C_{ZZT}$	Cena jednotky ZZT	Kč
$d$	Tloušťka vrstvy konstrukce	m
$d_{iz}$	Tloušťka vrstvy izolace	m
$d_{min}$	Minimální tloušťka vrstvy izolace	m
$E_{CHP}$	Energetická náročnost chlazení výchozí varianty	kWh/a
$E_{VP}$	Energetická náročnost topení výchozí varianty	kWh/a
$h_{se}$	Součinitel přestupu tepla na vnější straně	m <sup>2</sup> K/W
$h_{si}$	Součinitel přestupu tepla na vnitřní straně	m <sup>2</sup> K/W
$I$	Investiční náklady	Kč
$I_i$	Celkové investiční náklady na opatření	Kč
$M$	Celkový průměrný energetický výdej	met
$n$	Výměna vzduchu	h <sup>-1</sup>
$N_{inv}$	Prostá doba návratnosti	rok
$p_v$	Skutečný parciální tlak vodní páry	Pa
$q$	Měrný tepelný tok vedením	W/m <sup>2</sup>
$q_e$	Měrný tepelný tok přestupem na vnější straně	W/m <sup>2</sup>
$q_i$	Měrný tepelný tok přestupem na vnitřní straně	W/m <sup>2</sup>
$q_v$	Měrná hustota difuzního toku vodní páry	kg/m <sup>2</sup> s
$R$	Tepelný odpot	W/m <sup>2</sup> K
$R_{cl}$	Tepelný odpor oděvu	clo
$R_{se}$	Tepelný odpor na svislé vnější straně konstrukce	W/m <sup>2</sup> K
$R_{ses}$	Tepelný odpor na vodorovné vnější straně konstrukce	W/m <sup>2</sup> K
$R_{si}$	Tepelný odpor na svislé vnitřní straně konstrukce	W/m <sup>2</sup> K
$R_{sis}$	Tepelný odpor na vodorovné vnitřní straně konstrukce	W/m <sup>2</sup> K
$R_T$	Tepelný odpor konstrukce	W/m <sup>2</sup> K
$S$	Plocha	m <sup>2</sup>
$t_{in}$	Vnitřní teplota	°C
$U$	Součinitel prostupu tepla	m <sup>2</sup> K/W

$U_{n,20}$	Požadovaný součinitel prostupu tepla	$m^2K/W$
$U_{rec,20}$	Doporučený součinitel prostupu tepla	$m^2K/W$
$U_{pas,20}$	Doporučený součinitel prostupu tepla pro pas. Dům	$m^2K/W$
$v$	Relativní rychlost proudění vzduchu	m/s
$\Delta C_{OD}$	Rozdíl cen oken a dveří	Kč
$\Delta E$	Roční rozdíl potřeby energie	kWh/a
$\Delta E_C$	Roční rozdíl potřeby energie na chlazení	kWh/a
$\Delta E_{CP}$	Roční rozdíl potřebné energie na chlazení	kWh/a
$\Delta E_V$	Roční rozdíl potřeby energie na vytápění	kWh/a
$\Delta I$	Rozdíl investic oproti výchozí variantě	Kč
$\delta_p$	Součinitel difuze vodní páry	s
$\Delta U$	Celkový rozdíl nákladů na topení a chlazení	Kč
$\Delta U_{CH}$	Ekonomický rozdíl na chlazení	Kč
$\Delta U_V$	Ekonomický rozdíl na vytápění	Kč
$\theta_e$	Vnější teplota	°C
$\theta_i$	Vnitřní teplota	°C
$\theta_{se}$	Teplota na vnější straně stěny	°C
$\theta_{si}$	Teplota na vnitřní straně stěny	°C
$\varepsilon_0$	Chladicí faktor klimatizace	-
$\lambda$	Součinitel vedení tepla	W/m·K
$\lambda_{iz}$	Součinitel vedení tepla izolace	W/m·K

### **Zkratky**

EPS	Expanded Polystyrene
XPS	Extruded Polystyrene
PUR	Polyurethan
PMV	Predicted Mean Vote
PPD	Predicted Percentage of Dissatisfied
ZZT	Zpětné získávání tepla



## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 0.1 – Rozdělení spotřeby energií v průměrné domácnosti [1] .....	11
Obr. 1.1 – Schéma konstrukce pro odvození tepelného odporu [5] .....	13
Obr. 1.2 – Deska z expandovaného polystyrénu [6] .....	15
Obr. 1.3 – Izolace z minerální vlny [9] .....	16
Obr. 1.4 – Nástřík PUR pěny v podkroví [10] .....	16
Obr. 1.5 – Dřevovláknité desky [11] .....	17
Obr. 1.6 – Korková izolace [11] .....	18
Obr. 1.7 – Izolace z ovčí vlny [11] .....	18
Obr. 1.8 – Rohože konopné izolace [11] .....	19
Obr. 1.9 – Lněná izolace [11] .....	20
Obr. 1.10 – Aerogel [12] .....	20
Obr. 3.1 – Umístění zděné stavby. [14] .....	25
Obr. 3.2 – Půdorys 1.NP hodnocené zděné stavby. ....	26
Obr. 3.3 – Půdorys 2.NP hodnocené zděné stavby. ....	26
Obr. 3.4 – Umístění dřevostavby. [14] .....	27
Obr. 3.5 – Půdorys 1.NP posuzované dřevostavby .....	28
Obr. 3.6 – Půdorys 2.NP posuzované dřevostavby .....	28
Obr. 4.1 – Rozdělení zděné stavby na stavební prvky .....	31
Obr. 4.2 - Rozdělení dřevostavby na stavební prvky .....	32
Obr. 4.3 – Řídicí profily vytápění jednotlivých místností .....	42
Obr. 4.4 - Řídicí profily přítomnosti osob v místnostech .....	43
Obr. 4.5 – Řídicí profily spínání spotřebičů .....	44
Obr. 4.6 – Řídicí profily spínání osvětlení .....	45
Obr. 5.1 – Roční tepelné ztráty v závislosti na konfiguraci izolace a převažující vnitřní výpočtové teplotě zděné stavby. ....	48
Obr. 5.2 – Roční měrné tepelné ztráty v závislosti na konfiguraci izolace a převažující vnitřní výpočtové teplotě vztažená na obytnou plochu zděné stavby. ....	48
Obr. 5.3 – Měsíční tepelné ztráty v závislosti na konfiguraci izolace a převažující vnitřní výpočtové teplotě zděné stavby. ....	49
Obr. 5.4 – Roční potřeba chlazení v závislosti na konfiguraci izolace zděné stavby. ....	50
Obr. 5.5 – Roční měrná potřeba chlazení v závislosti na konfiguraci izolace vztažená na obytnou plochu zděné stavby. ....	50
Obr. 5.6 – Měsíční potřeba chlazení v závislosti na konfiguraci izolace zděné stavby... 51	51

Obr. 5.7 – Vliv zasklení na roční solární zisky zděné stavby .....	51
Obr. 5.8 – Vliv zasklení na měsíční solární tepelné zisky zděné stavby .....	52
Obr. 5.9 – Index PMV obývacího a kuchyně pokoje 1.NP zděné stavby .....	52
Obr. 5.10 – Index PMV ložnice 2.NP zděné stavby .....	53
Obr. 5.11 - Index PMV dětského pokoje 206 2.NP zděné stavby.....	53
Obr. 5.12 - Index PMV dětského pokoje 207 2.NP zděné stavby.....	53
Obr. 5.13 - Index PMV 2. bytové jednotky 1.NP zděné stavby .....	54
Obr. 5.14 – Roční tepelné ztráty v závislosti na konfiguraci izolace a převažující vnitřní výpočtové teplotě dřevostavby. ....	60
Obr. 5.15 – Roční měrné tepelné ztráty v závislosti na konfiguraci izolace a převažující výpočtové teplotě vtažená na obytnou plochu dřevostavby. ....	60
Obr. 5.16 – Měsíční tepelné ztráty v závislosti na konfiguraci izolace a převažující vnitřní výpočtové teplotě dřevostavby .....	61
Obr. 5.17 – Roční potřeba chlazení v závislosti na konfiguraci izolace dřevostavby. ....	62
Obr. 5.18 – Roční měrná potřeba chlazení v závislosti na konfiguraci izolace vztažená na obytnou plochu dřevostavby. ....	62
Obr. 5.19 – Měsíční potřeba chlazení v závislosti na konfiguraci izolace dřevostavby ..	63
Obr. 5.20 – Vliv zasklení na roční solární zisky dřevostavby. ....	63
Obr. 5.21 – Vliv zasklení na měsíční solární tepelné zisky dřevostavby .....	64
Obr. 5.22 – Index PMV obývacího pokoje 1.NP dřevostavby .....	64
Obr. 5.23 - Index PMV ložnice 2.NP dřevostavby .....	65
Obr. 5.24 - Index PMV dětského pokoje 203 2.NP dřevostavby.....	65
Obr. 5.25 - Index PMV dětského pokoje 204 2.NP dřevostavby.....	65

## SEZNAM TABULEK

Tab. 4.1 – Součinitel prostupu tepla dle ČSN 74 0540-2 [13] .....	32
Tab. 4.2 – Vypočtené a zvolené tloušťky izolace obvodové stěny pro zděnou stavbu ..	34
Tab. 4.3 – Vypočtené a zvolené tloušťky izolace střechy 2.NP pro zděnou stavbu.....	35
Tab. 4.4 – Vypočtené a zvolené tloušťky izolace střechy 1.NP pro zděnou stavbu.....	35
Tab. 4.5 – Vypočtené a zvolené tloušťky izolace podhledu 2.NP pro zděnou stavbu ....	36
Tab. 4.6 – Vypočtené a zvolené tloušťky izolace podlah 1NP pro zděnou stavbu .....	37
Tab. 4.7 – Vypočtené a zvolené tloušťky izolace obvodové stěny 1.NP a štítů pro dřevostavbu.....	38
Tab. 4.8 – Vypočtené a zvolené tloušťky izolace obvodové stěny 2.NP přilehlé k nevytápěným prostorům pro dřevostavbu .....	39
Tab. 4.9 – Vypočtené a zvolené tloušťky izolace střechy pro dřevostavbu.....	40
Tab. 4.10 – Vypočtené a zvolené tloušťky izolace podlahy pro dřevostavbu .....	40
Tab. 5.1 – Řešené varianty a jejich označení .....	47
Tab. 5.2 – Ceny izolace obvodové stěny zděné stavby [7] .....	55
Tab. 5.3 – Ceny izolace střechy zděné stavby [7] .....	55
Tab. 5.4 – Ceny izolace podlahy zděné stavby [7] .....	55
Tab. 5.5 – Celkové ceny $I_i$ jednotlivých opatření zděné stavby .....	55
Tab. 5.6 – Nárůst investic $\Delta I$ oproti výchozí variantě zděné stavby.....	56
Tab. 5.7 – Energetická úspora oproti výchozímu stavu .....	57
Tab. 5.8 – Ekonomická úspora v závislosti na druhu použité energie.....	57
Tab. 5.9 – Prostá doba návratnosti v závislosti na použité energii .....	57
Tab. 5.10 – Energetická úspora oproti výchozímu stavu .....	57
Tab. 5.11 – Ekonomická úspora v závislosti na použité energii.....	58
Tab. 5.12 – Prostá doba návratnosti v závislosti na použité energii .....	58
Tab. 5.13 – Energetická úspora oproti výchozímu stavu .....	58
Tab. 5.14 – Ekonomická úspora v závislosti na použité energii.....	58
Tab. 5.15 – Prostá doba návratnosti v závislosti na použité energii .....	58
Tab. 5.16 – Energetická úspora oproti výchozímu stavu .....	59
Tab. 5.17 – Ekonomická úspora v závislosti na použité energii.....	59
Tab. 5.18 – Prostá doba návratnosti v závislosti na použité energii .....	59
Tab. 5.19 – Ceny izolace obvodové stěny dřevostavby [7].....	66
Tab. 5.20 – Ceny izolace střechy dřevostavby [7].....	66
Tab. 5.21 – Ceny izolace podlahy dřevostavby [7] .....	67

Tab. 5.22 – Celkové ceny $I_i$ jednotlivých opatření dřevostavby.....	67
Tab. 5.23 – Nárůst investic $\Delta I$ oproti výchozí variantě dřevostavby.....	67
Tab. 5.24 – Energetická úspora oproti výchozímu stavu .....	68
Tab. 5.25 – Ekonomická úspora v závislosti na použité energii .....	68
Tab. 5.26 – Prostá doba návratnosti v závislosti na použité energii.....	68
Tab. 5.27 – Energetická úspora oproti výchozímu stavu .....	68
Tab. 5.28 – Ekonomická úspora v závislosti na použité energii .....	69
Tab. 5.29 – Prostá doba návratnosti v závislosti na použité energii.....	69
Tab. 5.30 – Energetická úspora oproti výchozímu stavu .....	69
Tab. 5.31 – Ekonomická úspora v závislosti na použité energii .....	69
Tab. 5.32 – Prostá doba návratnosti v závislosti na použité energii.....	69
Tab. 5.33 – Energetická úspora oproti výchozímu stavu .....	70
Tab. 5.34 – Ekonomická úspora v závislosti na použité energii .....	70
Tab. 5.35 – Prostá doba návratnosti v závislosti na použité energii.....	70
Tab. 6.1 – Úspora energie na vytápění snížením vnitřní teploty – zděná stavba .....	72
Tab. 6.2 – Úspora energie na vytápění snížením vnitřní teploty – dřevostavba .....	72

## **PŘÍLOHY**

- Příloha 1**      Stavební výkres 1.NP, č.v. D01, Dřevostavba, formát A2
- Příloha 2**      Stavební výkres 2.NP, č.v. D02, Dřevostavba, formát A2
- Příloha 3**      Stavební výkres 1.NP, č.v. Z01, Zděná stavba, formát A2
- Příloha 4**      Stavební výkres 2.NP, č.v. Z02, Zděná stavba, formát A2
- Příloha 5**      Vybrané simulace (pouze elektronicky na CD)