

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra ekonomiky a řízení ve stavebnictví

# DIPLOMOVÁ PRÁCE

Zadání DP (v jednom výtisku originál, v druhém kopie)

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně, pouze za odborného vedení vedoucího Ing. Viléma Berky, Ph.D.

Dále prohlašuji, že veškeré podklady, ze kterých jsem čerpala, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

V Praze dne 6. 1. 2016

.....  
Bc. Radka Nová

**Klasifikace energeticky úsporných opatření a verifikace návratnosti  
investice do vybrané metody rekonstrukce rodinného domu**

Classification of energy saving measures and verification of return on  
investment in selected method of the family house reconstruction

## **Anotace**

Cílem diplomové práce je výběr ekonomicky a energeticky nejvýhodnější metody rekonstrukce rodinného domu. Práce obsahuje základní teoretické informace týkající se energeticky úsporných opatření stávajících rodinných domů, popis metodického postupu a následné praktické řešení. U konkrétního rodinného domu klasifikuji stavební opatření s použitím různých materiálů a technologií a vybraná opatření následně energeticky a ekonomicky hodnotím. Ekonomicky jsou zhodnoceny investice do opatření bez dotace a s dotací z programu Nová zelená úsporám. Výsledkem práce je doporučení nejvhodnější metody rekonstrukce.

**Klíčová slova:** energeticky úsporné opatření, tepelná ztráta, Nová zelená úsporám, náklady na vytápění, ekonomické hodnocení.

## **Annotation**

The goal of this thesis is the selection of the most useful methods of a family house reconstruction from the economic and energetic perspective. The thesis contains basic theoretical information about the energy-saving measures of present family houses, description of methodology and an example of a practical solution. I provide a classification of the construction measures using various materials and technologies on an existing family house. On the selected measures, the economic and energetic evaluation is performed. The economic evaluation is based on investments using and not using the grant of the New Green Savings Programme. The result of the thesis is a recommendation of the most suitable reconstruction method.

**Keywords:** energy-saving measures, heat loss, New Green Savings Programme, heating costs, economic evaluation.

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Pojmy a zkratky .....</b>	<b>4</b>
2.1	Slovník pojmů .....	4
2.2	Význam zkratek .....	6
<b>3</b>	<b>Energeticky úsporná opatření .....</b>	<b>7</b>
3.1	Energie a budovy .....	7
3.1.1	Spotřeba energie v domácnostech .....	7
3.1.2	Hodnocení energetické náročnosti budov .....	9
3.1.3	Výpočtový software .....	13
3.2	Opatření ke snížení spotřeby energie v domácnostech .....	14
3.2.1	Uživatelská opatření .....	14
3.2.2	Stavební opatření .....	15
3.2.3	Technologická opatření .....	19
3.3	Vytápění a příprava teplé vody .....	23
3.3.1	Vytápění a větrání .....	24
3.3.2	Ohřev vody .....	30
3.3.3	Náklady na vytápění a ohřev vody .....	33
3.4	Ekonomické hodnocení energeticky úsporných opatření .....	34
3.4.1	Prostá doba návratnosti .....	34
3.4.2	Diskontovaná doba návratnosti .....	35
3.4.3	Čistá současná hodnota .....	35
3.4.4	Vnitřní výnosové procento .....	36
3.5	Programy podpory a dotace .....	36
3.5.1	Nová Zelená úsporám .....	37
3.5.2	Společný program pro výměnu kotlů .....	42
<b>4</b>	<b>Popis metodiky .....</b>	<b>44</b>
4.1	Stávající a referenční stav .....	44
4.2	Klasifikace navržených stavebních opatření .....	45
4.3	Energetické a ekonomické hodnocení .....	46
<b>5</b>	<b>Příklad aplikace navržené metodiky .....</b>	<b>47</b>
5.1	Stávající a referenční stav rodinného domu .....	47
5.1.1	Skladby konstrukcí obálky budovy a jejich součinitele prostupu tepla .....	48
5.1.2	Tepelné ztráty a potřeba tepla na vytápění – stávající budova .....	50
5.1.3	Tepelné ztráty a potřeba tepla na vytápění – referenční budova .....	51
5.1.4	Zhodnocení stávajícího stavu .....	52
5.2	Klasifikace navržených stavebních opatření .....	53
5.2.1	Zateplení obvodových stěn .....	53
5.2.2	Zateplení segmentu střechy .....	54
5.2.3	Zateplení stěn v podkroví .....	56

5.2.4	Zateplení podlahy v podkroví.....	57
5.2.5	Zateplení podlah 1.NP.....	59
5.2.6	Výměna oken a dveří.....	61
5.3	Stavební opatření s nejnižší klasifikační známkou.....	62
5.3.1	Energetické hodnocení .....	63
5.3.2	Ekonomické hodnocení .....	65
5.4	Zvolená metoda rekonstrukce (kombinace stavebních opatření) .....	70
5.4.1	Bez dotace NZÚ .....	70
5.4.2	S dotací NZÚ .....	72
<b>6</b>	<b>Shrnutí práce .....</b>	<b>75</b>
<b>7</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>76</b>
<b>8</b>	<b>Seznam zdrojů .....</b>	<b>77</b>
<b>9</b>	<b>Seznam obrázků.....</b>	<b>81</b>
<b>10</b>	<b>Seznam tabulek.....</b>	<b>82</b>
<b>11</b>	<b>Seznam příloh .....</b>	<b>84</b>

# 1 Úvod

Rekonstrukce obytných budov snižující jejich energetickou náročnost jsou z důvodu finanční úspory za platby energií a minimalizace produkce škodlivých emisí stále aktuálnějším tématem. Opatření vedoucí k úspoře energie jsou za určitých podmínek podporována motivačními nástroji, které mají za úkol kompenzovat vyšší pořizovací náklady těchto opatření. V České republice je příkladem takového motivačního nástroje dotační program Nová zelená úsporám.

Investor stojí před samotnou rekonstrukcí před nelehkým rozhodnutím, do jakých opatření investovat a jaké materiály a technologie využít. Cílem této diplomové práce je navržení metodiky výběru nejvhodnější kombinace stavebních opatření s ohledem na ekonomickou efektivnost investice. Navržená metodika je aplikována na konkrétní stávající rodinný dům. U nejvhodnějších variant rekonstrukce jednotlivých konstrukcí obálky budovy jsou počítány energetické a ekonomické parametry, na základě kterých je doporučena finální metoda rekonstrukce rodinného domu. Ekonomická hodnotící kritéria jsou počítána pro metodu bez dotace a s dotací z programu Nová Zelená úsporám.



## 2 Pojmy a zkratky

### 2.1 Slovník pojmů

<b>Biomasa</b>	Biologicky rozložitelná část výrobků, odpadů a zbytků ze zemědělství (včetně rostlinných a živočišných látek), lesnictví a souvisejících průmyslových odvětví, a rovněž biologicky rozložitelná část průmyslového a komunálního odpadu.
<b>Diskontní míra</b>	Procentní sazba, kterou se diskontují budoucí výnosy nebo náklady v jednotlivých obdobích na současnou hodnotu.
<b>Energetická bilance</b>	Proces porovnání energetických vstupů a energetických výstupů řízeného systému.
<b>Energetická náročnost budovy</b>	Množství energie spotřebované zejména na vytápění, přípravu teplé vody, chlazení, úpravu vnitřního prostředí větráním nebo klimatizačním systémem a osvětlením.
<b>Energetický specialista</b>	Fyzická osoba zapsaná do seznamu energetických specialistů vedeného Ministerstvem průmyslu a obchodu ČR.
<b>Energonositel</b>	Hmota nebo jev, které mohou být použity k výrobě mechanické práce nebo tepla nebo na ovládání chemických nebo fyzikálních procesů.
<b>Kotlíková dotace</b>	Společný program na výměnu kotlů v rámci operačního programu Životní prostředí MŽP.
<b>Neobnovitelný zdroj energie</b>	Zdroj energie, jehož vyčerpání je očekáváno v horizontu maximálně stovek let, ale jeho případné obnovení by trvalo mnohonásobně déle (uhlí, ropa, zemní plyn ...).
<b>Nízkoenergetický dům</b>	Běžná stavba, která má spotřebu energie na vytápění v rozmezí 15-50 kWh/m <sup>2</sup> za rok.
<b>Obálka budovy</b>	Všechny konstrukce na systémové hranici budovy, které jsou vystaveny venkovnímu nebo nevytápěnému prostředí.
<b>Obnovitelný zdroj energie</b>	Zdroje, které v lidském časovém měřítku téměř neubývají (sluneční záření, větrná energie, vodní energie, energie přílivu, geotermální energie, biomasa ...).
<b>Pasivní dům</b>	Běžná stavba, která má spotřebu energie na vytápění v rozmezí do 15 kWh/m <sup>2</sup> za rok.
<b>Potřeba tepla</b>	Plánovaná (vypočtená) hodnota množství tepla potřebného pro vytápění a ohřev vody.

<b>Primární energie</b>	Energie, která neprošla žádným procesem přeměny; celková primární energie je součtem obnovitelné a neobnovitelné primární energie.
<b>Referenční budova</b>	Výpočtově definovaná budova téhož druhu, avšak s referenčními hodnotami vlastností budovy, jejích konstrukcí a technických systémů budovy.
<b>Rekuperace</b>	Zpětné získávání jakékoliv formy energie.
<b>Spotřeba tepla</b>	Skutečná (změřená) hodnota množství tepla potřebného pro vytápění a ohřev vody.
<b>Systémová hranice</b>	Plocha tvořená vnějším povrchem konstrukcí ohraničujících vytápěnou zónu.
<b>Tepelná ztráta</b>	Okamžitá hodnota tepelné energie (přesněji tepelný tok), která z domu uniká prostupem tepla, zářením skrz průsvitné konstrukce a větráním.
<b>Tepelný most</b>	Místo konstrukce, kterým je umožněn zvýšený únik tepelné energie z interiéru do okolního prostředí (více na str. 26).
<b>Tepelný zisk</b>	Teplo, které vzniká uvnitř místnosti nebo do vytápěné místnosti vniká a které je z jiných zdrojů, než je vytápěcí zařízení.
<b>Účinnost</b>	Procentuální poměr mezi výkonem a příkonem.
<b>Větrání infiltrací</b>	Samovolné větrání závislé na těsnosti oken a dveří vůči pronikání vzduchu a na povětrnostních podmínkách.
<b>Vytápěná zóna</b>	Celá budova nebo její ucelená část, v níž je zajišťován požadovaný stav vnitřního prostředí (požadovaná teplota).

## 2.2 Význam zkratek

<b>CO<sub>2</sub></b>	Oxid uhličitý
<b>CF</b>	Cashflow <i>Tok hotovosti</i>
<b>DPP</b>	Discounted Payback Period <i>Diskontovaná doba návratnosti</i>
<b>ENB</b>	Energetická náročnost budovy
<b>EPBD</b>	Energy Performance of Buildings Directive <i>Směrnice o energetické náročnosti budov</i>
<b>EPS</b>	Expanded polystyrene <i>Pěnový polystyren</i>
<b>ETICS</b>	External thermal insulation composite system <i>Vnější kontaktní zateplovací systém</i>
<b>EUA</b>	European Union Allowance <i>Emisní povolenky Evropské unie</i>
<b>IROP</b>	Integrovaný regionální operační program
<b>IRR</b>	Internal Rate of Return <i>Vnitřní výnosové procento</i>
<b>MŽP</b>	Ministerstvo životního prostředí
<b>NAPEE</b>	National Action Plan for Energy Efficiency <i>Národní akční plán energetické účinnosti</i>
<b>NKN</b>	Národní kalkulační nástroj
<b>NPV</b>	Net Present Value <i>Čistá současná hodnota</i>
<b>NZÚ</b>	Nová zelená úsporám
<b>PENB</b>	Průkaz energetické náročnosti budovy
<b>PP</b>	Payback Period <i>Prostá doba návratnosti</i>
<b>TZB</b>	Technické zařízení budov
<b>U</b>	Součinitel prostupu tepla
<b>WACC</b>	Weighted Average Cost of Capital <i>Vážený průměr nákladů na kapitál</i>
<b>ZZT</b>	Zpětné získávání tepla

### 3 Energeticky úsporná opatření

Nejvýznamnější motivací vlastníků rodinných domů k aplikaci energeticky úsporných opatření je finanční úspora za platby energií. Realizace těchto opatření často vyžaduje vysoké vstupní investice, s jejichž snížením mohou významně pomoci dotační programy. Pro zhodnocení aktuálního stavu budovy a navržení nejvhodnější metody rekonstrukce domu je nutné znát principy tepelně-technických výpočtů a způsoby ekonomického hodnocení investic.

#### 3.1 Energie a budovy

Ze studie Evropské unie (EU) z roku 2009 o možnostech úspor energie [1] je patrné, že spotřeba energie v obytných domech tvoří téměř 40 % veškeré spotřebované energie v rámci států EU. Úsporou energie v domácnostech je tedy možné výrazně snížit produkci emisí, především tolik diskutovaných skleníkových plynů. Pomocí jednoduchých opatření, jako je například zateplení stávajících budov, výměna oken a dveří, nebo využitím obnovitelných zdrojů energie, můžeme výrazně přispět jak ke snížení celkové spotřeby energie, tak ke snížení produkce CO<sub>2</sub>.

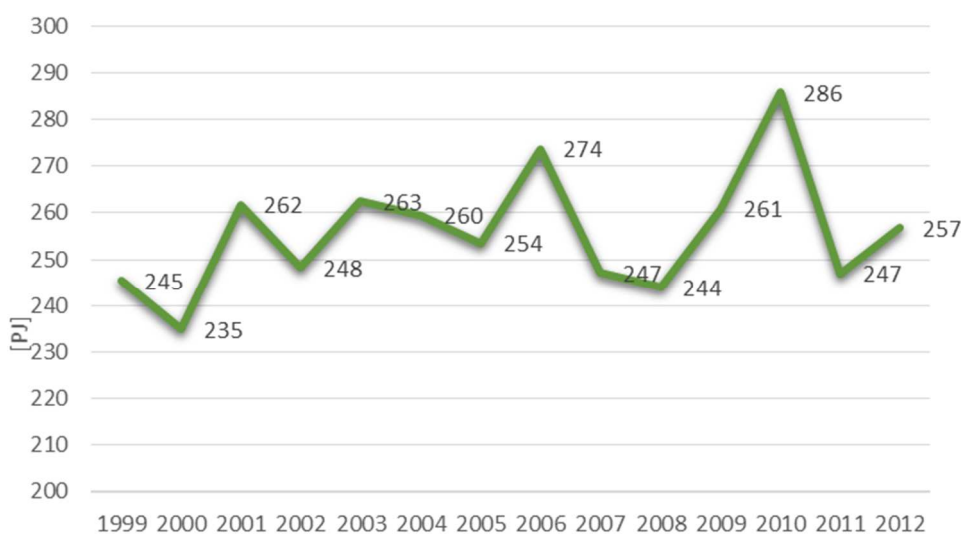
Výsledky výše uvedené studie ukazují, že v klimatickém pásu České republiky je možné energeticky úspornými opatřeními snížit spotřebu energie v obytných domech až na třetinu. Průměrná roční spotřeba energie starých domů je 269 kWh/m<sup>2</sup> ročně, u novostaveb či rekonstrukcí průměrně 74 až 113 kWh/m<sup>2</sup> a u pasivních domů se dostáváme až na hodnotu 30 kWh/m<sup>2</sup>.

Evropská unie na základě této studie vyzvala všechny členské státy, aby své obyvatele motivovali k vhodným úpravám stávajících obytných domů a k výstavbě nových energeticky úsporných budov. Motivační nástroje (např. granty, výhodné půjčky, daňové úlevy, dotační programy) mají za úkol snížit nebo kompenzovat vyšší náklady na energeticky úsporná opatření. Tomu, jak na tuto výzvu reagovala Česká republika, se budu věnovat v kapitole Programy podpory a dotace.

##### 3.1.1 Spotřeba energie v domácnostech

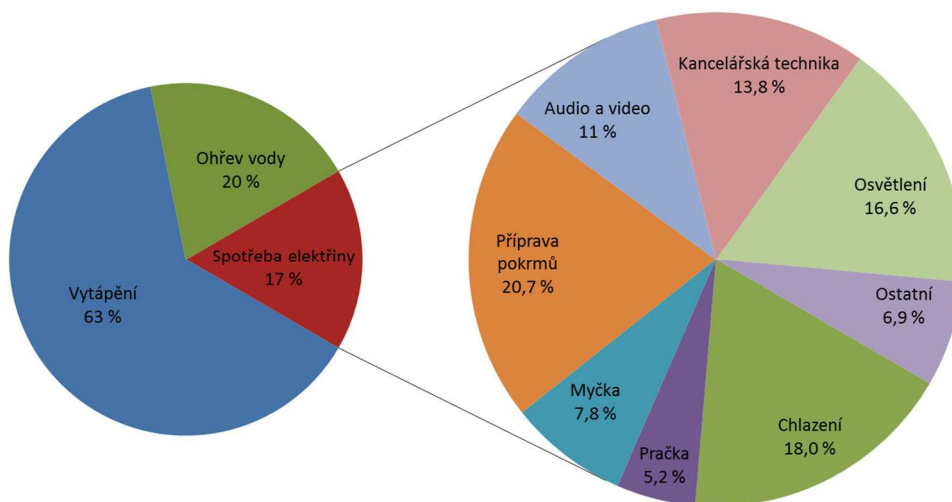
Jak již bylo řečeno, spotřeba energie v domácnostech tvoří podstatnou část celkové spotřeby energie. Z grafu (*Graf 1*) je patrné, že spotřeba energie v českých domácnostech lehce kolísá. Tato tendence je zapříčiněna na jednu stranu zvyšujícím se průměrným počtem

elektrospotřebičů v jedné domácnosti, na straně druhé investicemi do energeticky úsporných opatření z důvodu zdražujících se energií.



Graf 1: Vývoj spotřeby energie v domácnostech v ČR [PJ] (Zdroj: ČSÚ, 2013)

Dle grafu (Graf 2) je patrné, že největší podíl ve spotřebě energie v domácnostech, více jak 60 %, je využito na vytápění. Ohřev teplé vody zaujímá druhé místo s hodnotou okolo 20 % a méně jak 20 % zbývá na elektrospotřebiče. Rozložení spotřeby elektřiny se liší v závislostech na velikosti domácnosti, počtu obyvatel a mnoha dalších faktorech. V grafu (Graf 2) je znázorněné rozložení spotřeby energie v modelové domácnosti, tj. ve tříčlenné domácnosti v městském bytě o rozloze 80 m<sup>2</sup>, kde žijí dva dospělí a jedno dítě (zahrnuta je elektřina pro spotřebiče i teplo pro vytápění a ohřev vody nezávisle na tom, jakým způsobem se teplo pro vytápění nebo ohřev vody zajistí).



Graf 2: Rozložení spotřeby energie v modelové domácnosti [kWh/rok, %] (Zdroj: PRE, 2013)

### 3.1.2 Hodnocení energetické náročnosti budov

Před návrhem energeticky úsporných opatření je třeba zjistit a vyhodnotit aktuální energetickou náročnost budovy. Energetickou náročností je myšleno množství energie skutečně spotřebované nebo předpokládané pro splnění různých potřeb spojených se standardizovaným užíváním budovy [2]. V české legislativě způsob hodnocení budov z hlediska energetické spotřeby stanovuje Zákon 406/2000 Sb. o hospodaření s energií.

#### PRŮKAZ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY (PENB):

Průkaz energetické náročnosti budovy vychází z evropské směrnice EU EPBD II. Na národní úrovni je tato směrnice implementována Zákonem 406/2000 Sb. o hospodaření s energií a požadavky na PENB jsou blíže specifikovány ve vyhlášce 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov [3].

PENB využívá pouze výpočtové (standardizované) hodnocení. Kvalita budovy se tedy hodnotí pouze pomocí teoretického výpočtu, čímž je eliminován vliv uživatele na spotřebu. Vypočtené indikátory se porovnávají s tzv. referenční budovou. Indikátory energetické náročnosti budov jsou:

- a) celková primární energie za rok,
- b) neobnovitelná primární energie za rok,
- c) celková dodaná energie za rok,
- d) dílčí dodané energie pro technické systémy vytápění, chlazení, větrání, úpravu vlhkosti vzduchu, přípravu teplé vody a osvětlení za rok,
- e) průměrný součinitel prostupu tepla,
- f) součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí na systémové hranici,
- g) účinnost technických systémů.

Hodnoty referenční budovy odpovídají nejvyšším dovoleným hodnotám pro novostavby a rekonstrukce rodinných domů, a zároveň tvoří hranici energetických tříd C a D. Do výpočtu spotřeby energie je zahrnuta pouze energie spotřebovaná na vytápění, chlazení, větrání, přípravu teplé vody, osvětlení a příslušné pomocné energie (čerpadla, ventilátory). Elektrické spotřebiče nejsou v PENB zohledňovány. Ve výpočtu se využívají jednotné klimatické okrajové podmínky pro celou ČR dle TNI 73 0331. Z tabulky níže je patrné, jaké indikátory energetické náročnosti musí nové a rekonstruované budovy splňovat. U rekonstrukcí je možný výběr z více kombinací ukazatelů [4].

Indikátor ENB	Požadavky na splnění indikátoru ENB				
	Novostavba	Rekonstrukce			
		A	B	C	D
Neobnovitelná primární energie	x	x			
Celková dodaná energie	x		x		
U průměrný	x	x	x		
Účinnost měněných prvků TZB				x	
Dílčí U měněných prvků					x

Tabulka 1: Požadavky na splnění ukazatele energetické náročnosti, (Zdroj: [4])

PENB je povinný pro všechny nové budovy a větší zásahy do stávajících budov. Většími zásahy se rozumí takové zásahy, které mají dopad na energetickou náročnost budovy. Průkaz musí být dále zhotoven před prodejem nebo nájmem budov. Povinnost zpracovat a na veřejně přístupném místě vystavit průkaz energetické náročnosti budovy mají všechny budovy přístupné pro veřejnost. Průkaz je také vyžadován některými dotačními programy, které jsou zaměřeny na úspory energie.

Obrázek 1: Průkaz energetické náročnosti budovy (Zdroj: fluk.cz)

PENB obsahuje 2 strany průkazu (Obrázek 1) a přibližně 10 stran protokolu přesně definovaného vyhláškou. Forma je uzpůsobena tak, aby byla co nejvíce srozumitelná i laikům. Na první straně průkazu je v levé části zobrazena spotřeba energie pro stávající

(resp. projektovaný) stav budovy, v pravé části hodnotí vliv provozu budovy na životní prostředí neboli spotřebu neobnovitelné primární energie. Na druhé straně průkazu nalezneme doporučená opatření pro stávající budovy, rozdělení dodané energie dle energonositelů a rozdělení dodané energie na vytápění, chlazení, větrání, úpravu vlhkosti, přípravu teplé vody a osvětlení.

V ČR existuje pouze jeden typ průkazu pro nové i rekonstruované budovy, pro prodej i pronájem i pro všechny typy budov (obytné, administrativní, veřejné apod.). Používá se jednotná metodika výpočtu, a to výpočtové (standardizované) hodnocení popisované v druhém odstavci této kapitoly. PENB se vydává jen pro celou budovu, nikoliv jen pro její části (například byty) a může být vydán pouze energetickým specialistou v kategorii PENB. Cena průkazu je v řádech tisíců korun a platnost je 10 let, případně do významnější změny budovy.

#### ENERGETICKÝ AUDIT A ENERGETICKÝ POSUDEK:

Energetický audit byl definován již v původním znění Zákona o hospodaření energií č. 406/2000 Sb. K podrobnostem zpracování energetického auditu slouží vyhláška č. 480/2012 Sb. o energetickém auditu a o energetickém posudku [5].

Energetický audit zjišťuje způsob a míru využívání energie v daném objektu, identifikuje potenciál úspor energie, navrhuje možná opatření k jejich dosažení a hodnotí ekonomickou návratnost těchto opatření. Využívá provozního hodnocení, hodnotí se tedy jak kvalita budovy, tak i způsob jejího užívání včetně vlivu chování uživatelů. Výpočty jsou založeny na skutečných (měřených) spotřebách, nejprve je tedy prováděna detailní analýza stavu, a v potaz jsou brány veškeré spotřebiče energie. Podklady a vstupy potřebné pro provedení auditu jsou:

- a) data ve fyzikálních a peněžních jednotkách o spotřebách energií za aktuální 3 roky (elektřina, teplo, plyn a další paliva) a za vodu,
- b) projektová dokumentace,
- c) prohlídky objektu a fotodokumentace,
- d) komunikace se správou budovy nebo vlastníkem o provozu dané budovy.

Audit je možné provádět pro jakýkoliv typ budov, vzhledem k vyšší pracnosti a ceně se většinou neprovádí pro menší objekty, jako jsou rodinné domy. Povinný je pro veřejné budovy s roční spotřebovanou energií nad 1 500 GJ, pro privátně vlastněné objekty s roční spotřebou energie nad 35 000 GJ a dále pro některé dotační programy.



Obvyklý rozsah energetického auditu je 40 – 150 stran a pouze jeho osnova a povinné tabulky jsou definovány vyhláškou. Základní struktura výsledné zprávy je následující:

- a) identifikační údaje (předmět auditu, vlastník, auditor),
- b) popis stávajícího stavu objektu,
- c) vyhodnocení stávajícího stavu včetně energetické bilance a energetického štítku obálky budovy (hodnocení obalových konstrukcí dle ČSN 73 0540),
- d) návrh energeticky úsporných opatření a jejich seskupení do variant včetně energetických bilancí a vyhodnocení energetické náročnosti výsledných variant,
- e) vyhodnocení ekonomických a environmentálních parametrů,
- f) doporučení vhodné varianty, evidenční list.

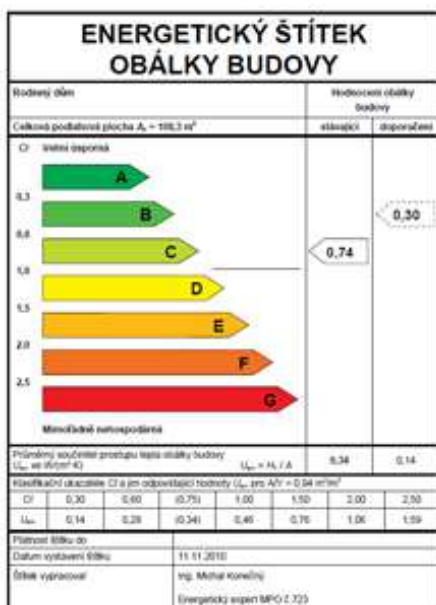
Cena energetického auditu je v řádech desítek tisíc korun a doba platnosti není v zákoně definována. Audit může být zpracován pouze energetickým specialistou zapsaným v seznamu energetických auditorů Ministerstva průmyslu a obchodu ČR.

Energetický posudek má obdobnou strukturu i účel jako energetický audit, je však kratší a jednodušší. Není zaměřen na posouzení veškerých energetických toků, ale posuzuje pouze předem vybrané a zadané parametry. Posudek se podle vyhlášky povinně zpracovává především v případech:

- a) posouzení technické, ekonomické a ekologické proveditelnosti alternativních systémů dodávek energie při větší změně dokončené budovy, má-li objekt instalovaný výkon zdroje energie vyšší než 200 kW,
- b) posouzení proveditelnosti projektů v rámci jakéhokoliv programu, kde jde o finanční podporu na snížení energetické náročnosti vyplácenou z veřejných prostředků (např. dotační program Nová zelená úsporám).

#### ENERGETICKÝ ŠTÍTEK OBÁLKY BUDOVY:

Pojem energetický štítek obálky budovy je často nesprávně zaměňován s PENB. Pojem je jednoznačně definován v ČSN 730540-2 [6]. Energetický štítek slouží pro zhodnocení budovy z hlediska prostupu tepla obálkou budovy a obsahuje vždy dvě části – protokol a grafické znázornění (*Obrázek 2*). Zařazení do konkrétní klasifikační třídy se provádí porovnáním vypočítaného průměrného součinitele prostupu tepla a normou požadovanou hodnotou průměrného součinitele prostupu tepla [7].



Klasif. třída	Prům. součinitel prostupu tepla U <sub>em</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	Slovní vyjádření
A	$U_{em} \leq 0,5 \cdot U_{em,N}$	Velmi úsporná
B	$0,5 \cdot U_{em,N} < U_{em} \leq 0,75 \cdot U_{em,N}$	Úsporná
C	$0,75 \cdot U_{em,N} < U_{em} \leq 1,0 \cdot U_{em,N}$	Vyhovující
D	$U_{em,N} < U_{em} \leq 1,5 \cdot U_{em,N}$	Nevyhovující
E	$1,5 \cdot U_{em,N} < U_{em} \leq 2,0 \cdot U_{em,N}$	Nehospodárná
F	$2,0 \cdot U_{em,N} < U_{em} \leq 2,5 \cdot U_{em,N}$	Velmi nehospodárná
G	$U_{em} > 2,5 \cdot U_{em,N}$	Mimořádně nehospodárná

Obrázek 2: Energetický štítek obálky budovy (Zdroj: eprukazy.cz)

### 3.1.3 Výpočtový software

K hodnocení energetické náročnosti jsou k dispozici komerční výpočtové softwary (např. Protech – modul ENB, Svoboda software - Energie) i nástroje a kalkulačky dostupné zdarma.

Bezplatný Národní kalkulační nástroj II (NKN II) slouží ke zpracování průkazu energetické náročnosti budov podle zákona 406/200 Sb. a vyhlášky č. 78/2013 Sb. a ke klasifikaci budovy do příslušné energetické třídy [8]. Současně lze výpočetní nástroj využít pro analýzu energetických potřeb budovy bez ohledu na princip hodnocení energetické náročnosti budov. Software zpracovala Katedra technických zařízení budov Fakulty stavební – ČVUT v Praze. Nástroj je určený ke zpracování energetické bilance budov a stanovení dílčích dodaných energií na vytápění, chlazení, nucené větrání, přípravu teplé vody a osvětlení. Využívá okrajových podmínek výpočtu definovaných v TNI 730331 – Energetická náročnost budov – Typické hodnoty pro výpočet.

Nástroj začal být zpracováván na základě zadání Ministerstva průmyslu a obchodu ČR ze srpna 2006 v rámci státního programu na podporu úspor energie a využití obnovitelných zdrojů energie. Národní metodika výpočtu ENB doznala díky vývoji a testování NKN podstatných změn, a to ve smyslu výpočetního postupu.

Volně dostupné kalkulačky určené pro dílčí výpočty hodnocení energetické náročnosti budovy jsou k dispozici na webových stránkách <http://www.tzb-info.cz/>.

## 3.2 Opatření ke snížení spotřeby energie v domácnostech

K provádění energeticky úsporných opatření v domácnostech motivuje vlastníky rodinných domů nejčastěji snižování výdajů za energie. Důvodem bývá také šetrnost k životnímu prostředí či zlepšení pohody vnitřního prostředí. Zateplením domu, správnou volbou otopných těles či větráním se zpětným získáváním tepla můžeme totiž i podstatně zvýšit kvalitu vnitřního prostředí. Zajištění pohody a zdravého klimatu v místnostech je důležitým faktorem, jelikož kvalitu prostředí vnímáme každý den a přímo působí na naše zdraví.

Opatření pro úsporu energie v domácnostech dělím do tří základních skupin, kterým se budu věnovat v následujících kapitolách. Jsou to:

- a) uživatelská opatření,
- b) stavební opatření,
- c) technologická opatření.

### 3.2.1 Uživatelská opatření

Uživatelská opatření jsou taková opatření, kterých je možné dosáhnout za velmi nízké či nulové investiční náklady, a to bez nutnosti větších zásahů do stavebních konstrukcí domu a jeho technologických zařízení. Aplikace těchto opatření často znamená pokles životního standardu, což snižuje jejich reálné využívání v praxi.

Největší množství energie je využíváno na vytápění domácností, této oblasti můžeme nejvíce ušetřit. Nejpodstatnější je dodržování optimální tepelné pohody, tzn. nepřetápět, správně větrat a zajistit optimální vlhkost vzduchu. Velkou roli hrají také překážky před a nad tepelnými zdroji, dlouhé záclony a závěsy. Ztráty otopné soustavy snížíme zaizolováním teplovodního potrubí v nevytápěných prostorech.

Druhou největší položkou ve spotřebě energie v modelové domácnosti je příprava teplé vody. Dosáhnout nižší spotřeby lze upřednostněním sprchování (40 – 75 l vody) před koupáním ve vaně (v průměru 160 l vody), výběrem sprchové hlavice evokující větší proud vody a vhodným nastavením termostatického směšovače.

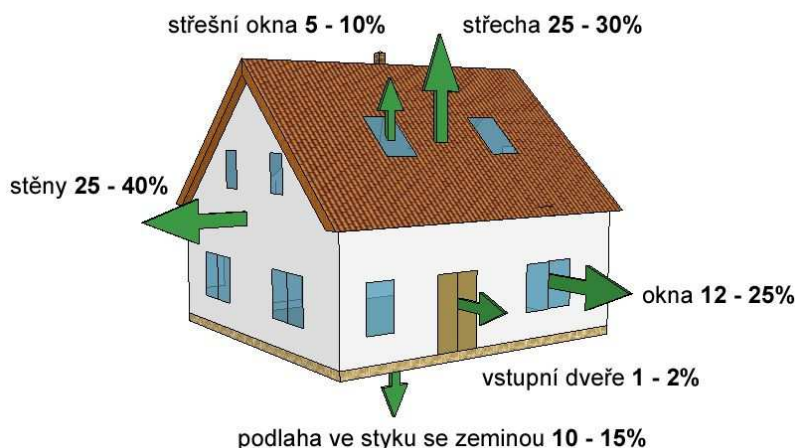
Volba účinných zdrojů světla a svícení pouze v nutných případech a v potřebném množství pozitivně ovlivňuje spotřebu elektrické energie. Její spotřebu snížíme i výběrem domácích spotřebičů a elektroniky s vysokou energetickou účinností. Úspory energie lze

dosáhnout v kuchyni požíváním pokličky, volbou správné velikosti hrnce dle velikosti plotýnky či používáním jen nezbytného množství vody.

Uživatelských opatření je celá řada a výše uvedené příklady nejsou rozhodně jejich celým výčtem. Slouží spíše jako ukázka, že není ihned potřeba investovat statisíce nebo miliony, abychom mohli i výrazně snížit spotřebu energie v domácnosti a tím snížit náklady na energie.

### 3.2.2 Stavební opatření

Stavební opatření jsou taková opatření, která vyžadují stavební úpravy budovy. Je nutné u nich počítat s větší počáteční investicí. Tato opatření mají za cíl snížit tepelné ztráty obálkou budovy, a tím minimalizovat potřebu tepla na vytápění. Každou ze ztrát znázorněných na obrázku (*Obrázek 3*) můžeme různými způsoby snížit. Otázkou je, která z možných variant je tou nejvhodnější. Odpověď se pokusím nalézt v praktické části práce u konkrétního rodinného domu.



*Obrázek 3: Srovnání podílů různých konstrukcí na tepelné ztrátě domu (Zdroj: EkoWATT)*

#### OKNA A DVEŘE:

Okna jsou významná z důvodu vizuálního propojení vnitřního a vnějšího prostředí a jsou nepostradatelným prvkem domu z hlediska osvětlení a větrání. Stále rostoucí trend velkoryse prosklených budov přirozeně vede i k růstu požadavků na tepelně-izolační vlastnosti těchto ploch. V technologii skla i v jeho zarámování došlo k razantnímu vývoji, s tepelně izolačními skly a trojitým zasklením se můžeme dostat až na hodnotu součinitele prostupu tepla  $U = 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

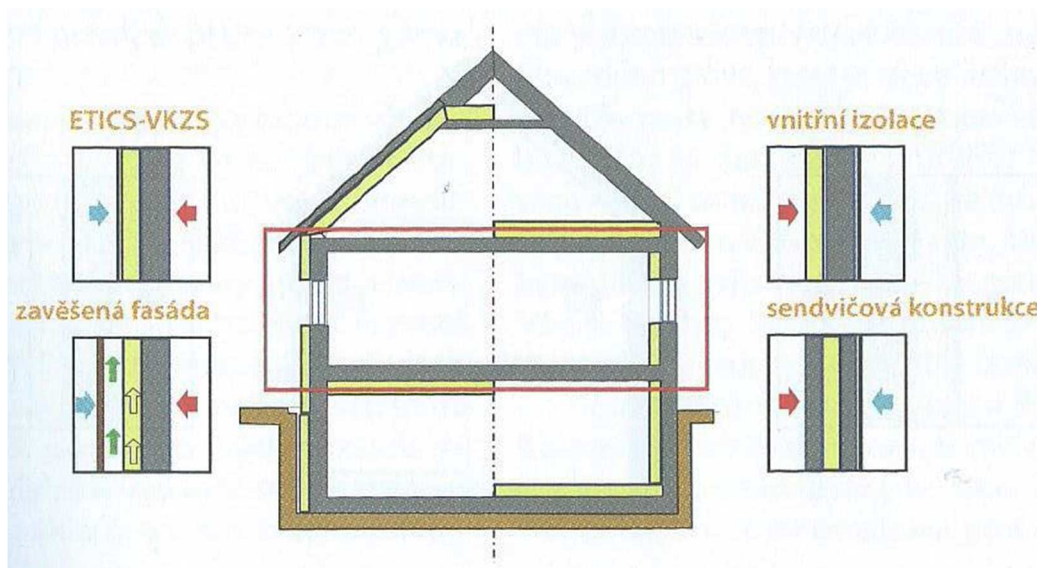
Snížení tepelných ztrát okny můžeme dosáhnout jejich výměnou za nová, možností je však i repase stávajících oken v případě jejich dobrého stavu. Repase může z tepelně-izolačního hlediska spočívat ve výměně vnitřního skla za sklo s tzv. tvrdým pokovením, některé rámy oken umožňují i výměnu jednoho ze skel za dvojsklo. Styk rámu s okenním křídlem lze utěsnit silikonovým těsněním do frézované drážky.

Důležitou roli hrají rámy oken a jejich osazení. V případě nedůsledné izolace ostění a nadpraží vznikají okolo oken tepelné mosty, kterými teplo uniká. V těchto místech může docházet ke kondenzaci a růstu plísní. Tomu lze předcházet tepelnou izolací přesahující alespoň částečně i přes rám okna.

Není dobré opomenout ani domovní dveře, dveře na terasu a do suterénu, kterými rovněž může unikat podstatné množství tepla. Zde můžeme, jako u repase oken, použít těsnění do vyfrézované drážky, nebo dveře vyměnit za nové s lepšími tepelně izolačními vlastnostmi.

#### OBVODOVÉ STĚNY:

Obvodové stěny tvoří největší plochu obálky budovy, z toho důvodu jsou tepelné ztráty touto konstrukcí velice významné. Obvodovou stěnu nelze lehce vyměnit jako okna, zde musíme volit vhodnou izolační vrstvu, kterou ke stávající konstrukci přidáme. Když opomenu nepřeberné množství izolačních materiálů, existují v zásadě čtyři možné způsoby zateplení obvodových stěn (*Obrázek 4*) – vnější kontaktní zateplovací systém (ETICS), provětrávaná/zavěšená fasáda, vnitřní izolace a sendvičová konstrukce.



Obrázek 4: Přehled možností zateplení fasády (Zdroj: [33])

Vnější izolace představují ze stavebně-fyzikálního hlediska nejméně problematické řešení, jelikož je u nich nejmenší pravděpodobnost, že bude na stěně docházet ke kondenzaci

vlhkosti. Nejčastějším řešením zateplení fasády je v dnešní době kontaktní zateplovací systém neboli ETICS (External Thermal Insulation Contact System), který lze využít ve většině případů. Izolační materiál se může připevňovat hmoždinkami nebo lepit na původní fasádu, případně kombinovat oba způsoby. Kontaktní zateplovací systém vyžaduje pevný a únosný podklad a neměl by být aplikován na vlhké zdivo.

Provětrávaná fasáda je vnější konstrukce chránící nosnou vrstvu s izolací před srážkami, povětrnostními vlivy a je od ostatních vrstev oddělena vzduchovou mezerou. Tento vzduchový prostor slouží k vysychání zdiva a k odvádění kondenzátu. Nevýhodou tohoto systému je jeho celková tloušťka a obvykle s jeho použitím dochází k výrazné změně vzhledu budovy.

K realizaci vnitřního zateplení by mělo docházet pouze v případech, ve kterých existují závažné důvody proti použití předchozích variant (například u historických budov). U interiérového zateplení vznikají tepelné mosty v místě napojení svislých a vodorovných konstrukcí a mezi původní stěnou a izolací vzniká zóna, kde bude s velkou pravděpodobností docházet ke kondenzaci vlhkosti a tím mohou být narušeny nosné prvky. Další nevýhodou vnitřního zateplení je výrazné zmenšení vnitřních prostor.

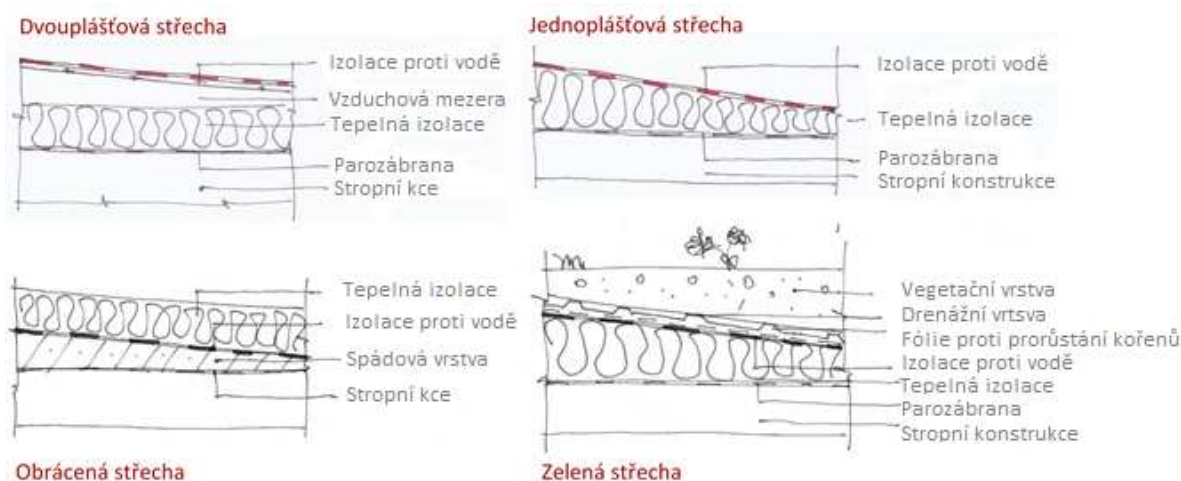
V případě dvouplášťové obvodové konstrukce se vzduchovou mezerou může být tato mezera zaizolována tzv. foukanou izolací. Jádro s izolací musí být udrženo v trvale suchém stavu. Rizikem této metody je sesedání izolačních materiálů.

## STROP/STŘECHA:

U budov bez půdní vestavby by se podkroví mělo od posledního obytného podlaží dobře odizolovat. Izolaci lze provést jednoduše položením izolace na podlahu půdy a v případě potřeby pochozí vrstvy překrýt izolaci záklopem nebo prkennými chodníčky. U trámového stropu se často zaplňují izolační prostory mezi trámy. Tento způsob má výhodu minimálního zásahu do stávající konstrukce, stačí v každém trámovém poli vytvořit otvory pro zafoukání izolace. V místě stropních trámů však vznikají tepelné mosty.

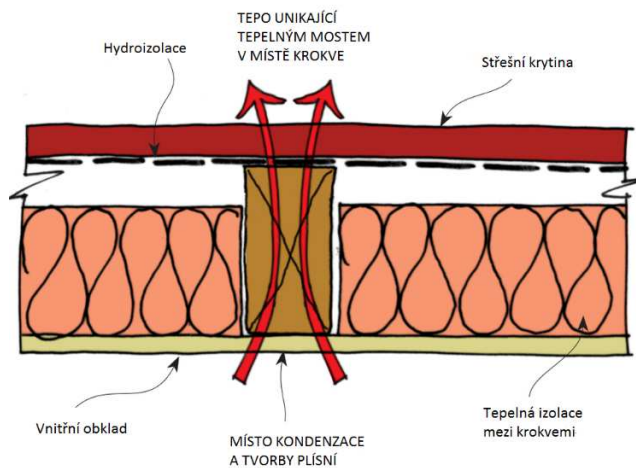
Konstrukce plochých střech se dělí na střechy jednoplášťové a dvouplášťové (*Obrázek 5*). Dvouplášťové střechy mají větranou vzduchovou mezeru mezi horním pláštěm a spodním nosným pláštěm s tepelnou izolací. U této konstrukce máme dvě možnosti zaizolování – demontování střechy a montáž s odpovídající tloušťkou tepelné izolace, nebo zafoukání tepelné izolace do vzduchové mezery. U druhé varianty je třeba většinou dodatečně instalovat parozábranu, aby nedocházelo v konstrukci ke kondenzaci vodních par. Jednoplášťové střechy vzduchovou mezeru pro zafoukání izolace nemají, zde tedy přichází

v úvahu přidání tepelné izolace nebo výměna za novou dostatečnou vrstvu izolace. Z důvodu rizika poškození hydroizolační vrstvy nad tepelnou izolací a pronikání vlhkosti se často používá tzv. obrácených střech. Původní krytina je opravena nebo nahrazena novou a na tuto vrstvu se klade nenasákavá izolační vrstva, která je poté překryta vrstvou kamínek. Velmi často se dnes používají zelené střechy, jež mají velké požadavky na únosnost, a proto nejsou vždy vhodné pro rekonstrukce.



Obrázek 5: Skladby plochých střech (Zdroj: uvp3d.cz)

U šikmých střech máme taktéž více možností jak střešní konstrukci zateplit. Systémy se nazývají podle polohy izolace vůči krokvim – nadkrokevní systém, izolace mezi krokviemi a izolace pod krokviemi. Z tepelně-izolačního hlediska je nejvhodnější nadkrokevní systém, jelikož tvoří souvislou vrstvu, jež není přerušována krokviemi ani vaznicemi, vzniká zde tedy minimum tepelných mostů (Obrázek 6). Takové řešení je vhodné při výměně střešní krytiny, při požadavku na zachování velikosti podkrovní a zachování viditelných prvků krovu v interiéru.



Obrázek 6: Tepelný most v místě krokve (Zdroj: buildmagazine.org.nz)

## PODLAHA/STROP SKLEPA:

K tepelným ztrátám dochází i konstrukcí podlahy na terénu nebo nad nevytápěným prostorem (sklepem). V případě podsklepení objektu můžeme podlahu zateplit zespodu, tedy nalepením izolantu na stop sklepa, u klenutých prostor pak výměnou násypu za násyp tepelně izolační.

U podlahy na terénu je dobré podlahy úplně vybourat a vyhloubit terén tak, aby se do skladby podlahy vešla i dostatečná izolační vrstva. Jestliže tento zásah není možný, je třeba zaizolovat základy, popřípadě přibližně metrový pás pod okapovým chodníčkem, aby nedocházelo k promrzání zeminy, která je v kontaktu s objektem.

### 3.2.3 Technologická opatření

Také v oblasti domovní techniky lze podniknout opatření, jež povedou k energetické úspoře. Zatímco stavební opatření se týkají především vnějšího pláště budovy, technologická opatření naopak vnitřního vybavení domu. Zlepšování tepelně-technických vlastností obálky budovy by mělo časově předcházet úpravám domovní techniky, jelikož zateplováním se mění požadavky na otopnou soustavu a větrání. Technologická opatření dále dělím na opatření v oblastí topení, větrání a ohřevu teplé vody [9].

## TOPENÍ:

Výměnu kotle je nejlepší provádět až po ukončení zateplovacích opatření, a to z důvodu snížení potřeby tepla na vytápění a tím nižšího potřebného výkonu kotle.

Topení dřevem je spojováno s neustálou potřebou přikládat, s nečistotou a zápachem. Dřevo dnes neznamená pouze polena, na trhu jsou k dispozici normované produkty, jako jsou štěpky, palety a brikety. Pro všechny varianty dřevěného paliva jsou vyvinuty techniky, které zaručují účinné, čisté a téměř automatické spalování, a to s minimální produkcí škodlivých látek [9]. Nevýhodou dřeva jako paliva je potřeba velkého skladovacího prostoru. V rodinných domech jsou využívány kotle na kusové dřevo se zplyňováním paliva, téměř bezobslužné paletové kotle, nebo lokální kamna na dřevo a krby, které se většinou používají spíše jako doplněk jinému zdroji tepla.

Velmi komfortním a ekologickým palivem je zemní plyn, který lze využívat s vysokou účinností, jeho dodávka je spolehlivá a kotle se dají velice dobře regulovat. Další výhodou je, že není potřeba skladovacích prostor pro palivo. Nejúčinnějšími kotli na zemní plyn jsou tzv. kondenzační kotle, investiční náklady jsou až dvojnásobné oproti běžným stacionárním a závěsným kotlům na zemní plyn.



Palivo	Kč/kWh
<b>Dřevo</b>	1,17
<b>Palety</b>	1,27
<b>Zemní plyn</b>	1,46
<b>Elektřina</b>	4,83

Tabulka 2: Srovnání cen paliv (Zdroj: cenyenergie.cz)

Topení elektřinou je způsob vytápění s nejvyššími provozními náklady (Tabulka 2). Vyplatit se může u nízkoenergetických domů, a to z důvodu nízkých pořizovacích nákladů na otopnou soustavu a absence potřeby pravidelných revizí. Díky velice přesné regulaci se jedná o jeden z nejkomfortnějších zdrojů vytápění. Z ekologického hlediska však tento zdroj vhodný na vytápění není. Dochází ke spotřebě neobnovitelných zdrojů primární energie a ke ztrátám v distribuční síti. Pro splnění ukazatele spotřeby neobnovitelné primární energie v PENB se elektřina kombinuje například s kotlem na biomasu, nebo je používána k pohonu tepelného čerpadla.

Tepelné čerpadlo (Obrázek 7) produkuje více tepla, než spotřebuje elektřiny, z důvodu čerpání tepla z okolního prostředí. Okolním prostředím může být vzduch, voda a země. Tepelná čerpadla jsou nízkoteplotním topným systémem, do radiátorů nebo do podlahového vytápění vstupuje voda o max. teplotě 45 °C.

Jako doplňkový zdroj tepla na vytápění mohou sloužit solární zařízení, z důvodu nekontinuitnosti slunečního záření se však nemůžeme vzdát některého z předchozích zdrojů. Podobně jako tepelná čerpadla tato zařízení pracují účinně při teplotách do 50 °C, proto jsou vhodná v kombinaci s plošným systémem topení (např. podlahové topení). Solární podpora topení se používá současně se solárním ohřevem vody a nezbytnou součástí solárního systému je akumulční nádrž.



Obrázek 7: Princip tepelného čerpadla země-voda (Zdroj: nibe.cz)

## VĚTRÁNÍ:

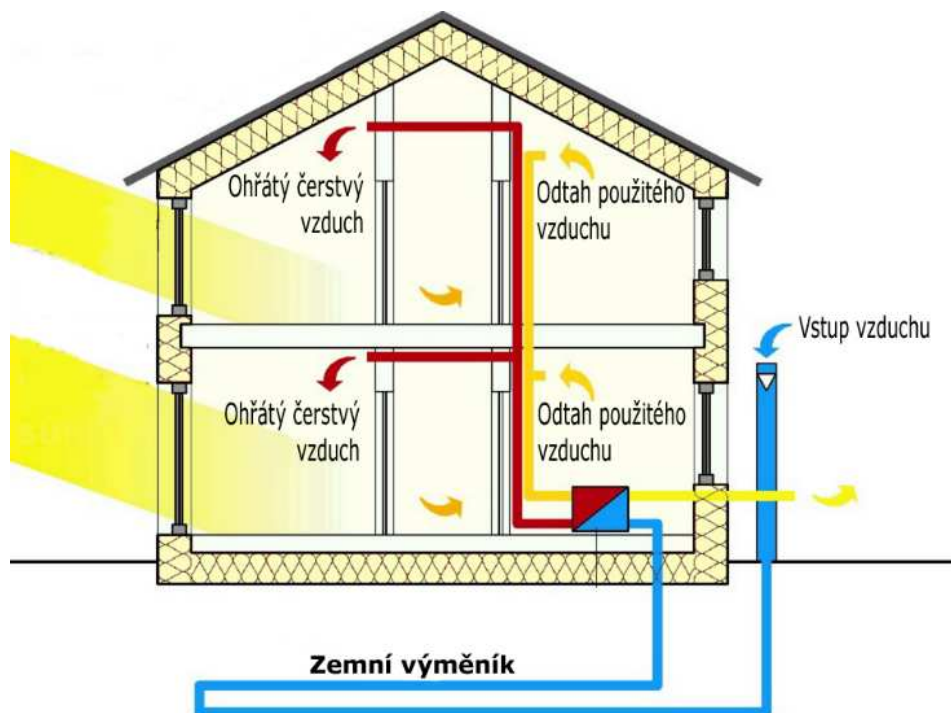
Větrání se také významně podílí na tepelných ztrátách objektu, z hygienických a zdravotních důvodů ho však nelze úplně omezit. Větrání prospívá i konstrukci domu, jelikož snižuje vlhkost způsobenou pobytem lidí a zabraňuje vzniku plísní. U nízkoenergetických a pasivních domů má větrání dokonce největší podíl na tepelných ztrátách objektu, proto je snižování těchto ztrát přikládán stále větší význam.

Většina rodinných domů je větrána přirozeně, tedy nárazově okny a netěsnostmi v plášti budovy (infiltrací). U dobře zateplených domů je větrání infiltrací nedostatečné a nárazové větrání zase závislé na lidském faktoru. Tento způsob větrání funguje dobře jen v případě vysoké disciplinovanosti a osvětě obyvatel domu. Přirozené větrání může být nekomfortní kvůli povětrnostním podmínkám a průvanu, a proto je dnes trendem přecházet spíše na nucené větrání.

Nejjednodušší možností, jak zabezpečit dostatečnou výměnu vzduchu nezávisle na venkovních povětrnostních podmínkách, je instalace zařízení pro odvádění odpadního vzduchu (ventilátory v kuchyni, koupelnách, na WC) a instalace vzduchových propustí do horní třetiny obvodové stěny nad otopné těleso. V tomto případě je odpadní vzduch a s ním i teplo odvedeno bez užitku a přivedený vzduch do místnosti je stále nutné ohřát hlavním zdrojem tepla z venkovní teploty na teplotu vnitřní. Pro předehřátí přiváděného vzduchu můžeme využít tepla vzduchu odpadního, a to zpětným získáváním tepla. Tento systém je dobře využitelný i v létě k ochlazení přiváděného vzduchu.

Ke zpětnému získávání tepla nám slouží rekuperační jednotka s výměníkem tepla, přes kterou je odváděn odpadní vzduch a předává své teplo přiváděnému čerstvému vzduchu. Rekuperace tepla může fungovat centrálně, což vyžaduje rozvody vzduchotechnického potrubí po celém objektu (v podhledech, ve stěnách či podlaze) a prostor pro strojovnu vzduchotechniky, která se většinou kvůli hluku instaluje do sklepa či na půdu. Kvůli rozsahu stavebních prací je centrální systém vhodný pro novostavby nebo pro zásadní rekonstrukce. Zajímavou alternativou centrálních systémů mohou být pro rekonstrukce lokální rekuperační jednotky, které lze instalovat do obvodového pláště v jednotlivých místnostech bez potřeby stavebně náročných vzduchotechnických rozvodů.

Centrální rekuperační systémy se ještě mohou doplnit o zemní kolektor (*Obrázek 8*). Venkovní vzduch je pak nasáván potrubím uloženým v zemi (podobně jako u tepelného čerpadla), kde je v zimě díky stálé teplotě půdy předehříván a v létě ochlazován. Do rekuperační jednotky tedy vstupuje už předehřátý/předchlazený vzduch, který je pak dále upravován ve výměníku tepla.



Obrázek 8: Schéma větrání s rekuperací s předehřevem v zemním výměníku (Zdroj: nibe.cz)

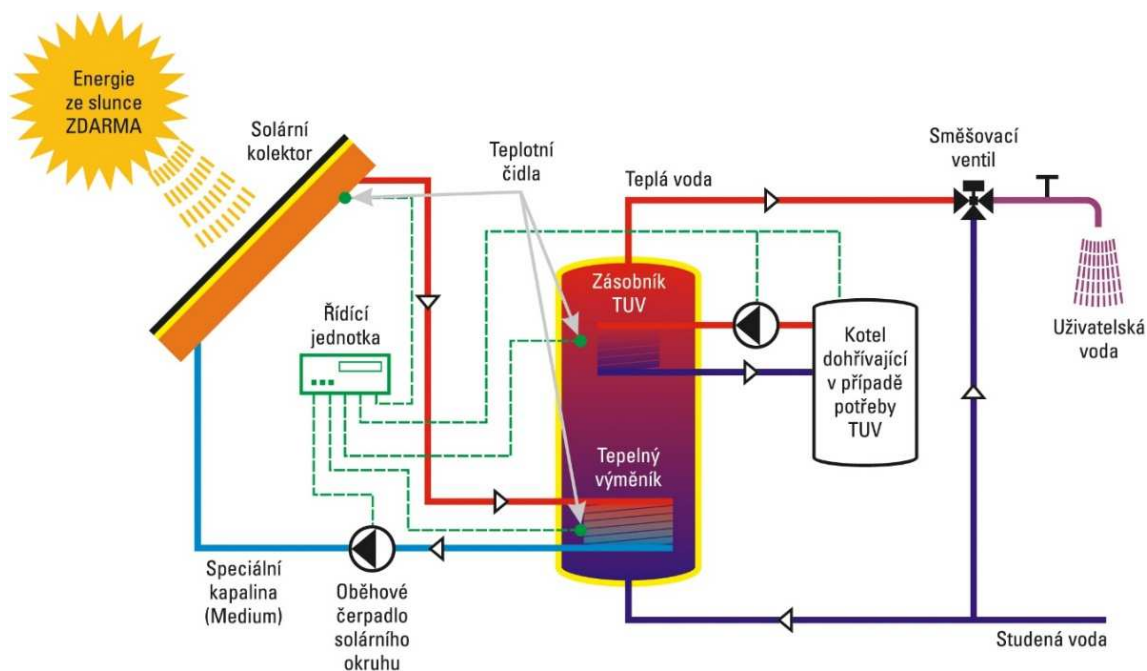
#### PŘÍPRAVA TEPLÉ VODY:

Na ohřev vody je v modelové domácnosti spotřebováváno zhruba 20 % dodané energie (Graf 2 na str. 8). Tuto spotřebu můžeme nejvíce ovlivnit uživatelským přístupem, provozní náklady na ohřev můžeme snížit i volbou vhodného systému, jehož výběr souvisí s vytápěcím systémem [9].

V případě konvenčních zdrojů tepla na vytápění (např. plyn, biomasa) se k tomuto systému navrhuje zásobník pro centrální přípravu teplé vody (přibližně 50 l na osobu). Při vytápění nekonvenčním topným zařízením (např. dálkové teplo) se většinou využívá elektrického ohřevu, který může být zajišťován centrálně (centrální bojler) nebo lokálně (průtokový ohřivač nebo lokální bojler). Při centrálním elektrickém ohřevu vody má domácnost nárok na získání dvoutarifní sazby elektřiny (v době využívání nižšího tarifu tento tarif využívají i ostatní elektrické spotřebiče). U stávajících systémů můžeme snížit tepelné ztráty tepelnou izolací zásobníku teplé vody a rozvodného potrubí.

Solární systém ohřevu vody je systém podporovaný dotačním programem Nová zelená úsporám. Kvalitní solární zařízení může pokrýt až  $\frac{3}{4}$  roční spotřeby teplé vody [10]. Ve slunečním kolektoru (deskové nebo trubicovém) je ohřívána nemrzoucí směs, která díky oběhovému čerpadlu proudí přes topnou spirálu, a ta v bojleru ohřívá vodu. Z důvodu nestálé

intenzity slunečního záření se zásobník teplé vody navrhuje zhruba dvakrát větší než u konvenčních zdrojů tepla a vždy je vybaven druhou topnou spirálou na konvenční zdroj pro případ delší doby bez slunečního svitu. Solární zařízení je možné využít i pro přitápění, především v jarních a podzimních měsících.



Obrázek 9: Schéma solárního ohřevu vody (Zdroj: factorsolar.cz)

Stejně jako pro ohřev topné vody může být i pro ohřev užitkové vody použito tepelné čerpadlo. V případě, že uvažujeme o pořízení tepelného čerpadla na vytápění, je možné jej využít pro přípravu teplé vody. Existují i bojler s integrovaným tepelným čerpadlem typu vzduch/voda, které využívá tepla odpadního vzduchu v domě. Tento bojler se doplňuje solárním kolektorem.

### 3.3 Vytápění a příprava teplé vody

Před výběrem konkrétních energeticky úsporných opatření je třeba zmapovat aktuální stav domu, zjistit, kolik tepla jakými konstrukcemi uniká a jaká je aktuální potřeba tepla na vytápění a ohřev vody. Tato kapitola vysvětluje principy výpočtů, které jsou ke zhodnocení aktuálního i navrhovaného stavu potřeba.

### 3.3.1 Vytápění a větrání

Výpočty tepelných ztrát objektu a tepelných zisků nedodaných otopnou soustavou jsou potřebné pro následné určení potřeby tepla na vytápění. Tepelné ztráty se dělí na ztráty prostupem, tepelnými mosty a větráním. Pasivní zisky jsou dány součtem solárních a interních tepelných zisků.

#### TEPELNÉ ZTRÁTY:

Pro výpočty tepelných ztrát jsou k dispozici volně přístupné webové kalkulátory. Znalost terminologie a principů výpočtů je nezbytná pro správnou práci s výpočetními nástroji. Výsledná tepelná ztráta budovy je sumou tepelných ztrát prostupem ( $Q_p$ ), tepelnými mosty ( $Q_{pm}$ ) a větráním ( $Q_{vv}$ ) [11]:

$$Q = Q_p + Q_{pm} + Q_{vv} [W] \quad (1)$$

Pro porovnatelnost tepelných ztrát jsou k výpočtům používány tzv. výpočtové teploty vzduchu. Pro obytné místnosti se používá vnitřní teplota 20 °C a vnější výpočtové teploty jsou dány tabulkou Venkovní výpočtové teploty a otopná období dle lokalit [12].

Uživatelsky přívětivými nástroji pro výpočty související s tepelnými ztrátami jsou nástroje na webu tzb-info.cz: „Prostup tepla vícevrstvou konstrukcí a průběh teplot v konstrukci“ [13] a „On-line kalkulačka úspor a dotací Zelená úsporám - zjednodušený výpočet potřeby tepla na vytápění a tepelných ztrát obálkou budovy“ [14].

#### *Tepelné ztráty prostupem:*

Tepelná ztráta prostupem je množství tepla, které projde danou konstrukcí domu při daném tepelném rozdílu mezi vnitřní a vnější stranou [15]:

$$Q_p = U \times S \times \Delta t [W] \quad (2)$$

$U$  – součinitel prostupu tepla [ $W.K^{-1}.m^{-2}$ ]

$S$  – plocha konstrukce, přes kterou teplo prochází [ $m^2$ ]

$\Delta t$  – rozdíl teplot vzduchu uvnitř a venku [ $K$ ]

Součtem  $Q_p$  všech konstrukcí obálky budovy dostaneme celkovou tepelnou ztrátu budovy prostupem. K tepelným ztrátám prostupem dochází tepelnou propustností obvodového pláště, přes zeminu a přes nevytápěné prostory.

Součinitel prostupu tepla  $U$  se týká konstrukce jako celku a nižší hodnota znamená nižší tepelnou ztrátu. Stanoví ze vztahu [15]:

$$U = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}} [W/m^2.K] \quad (3)$$

$R_{si}$  – odpor při přestupu tepla na vnitřní straně [ $m^2.K/W$ ]

$R$  – tepelný odpor při přestupu tepla konstrukcí [ $m^2.K/W$ ]

$R_{se}$  - odpor při přestupu tepla na vnější straně [ $m^2.K/W$ ]

V normě ČSN 73 0540-2:2011 [6] jsou definovány požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí pro rekonstrukce budov a novostavby. Ještě přísnější hodnoty pak musí splňovat budovy usilující o zařazení mezi pasivní domy (Tabulka 4).

Tepelný odpor se vztahuje k jednotlivým vrstvám konstrukce a vyšší hodnota znamená nižší tepelné ztráty. Tepelný odpor konstrukce  $R$  je součtem tepelných odporů jednotlivých vrstev  $R_j$  dané konstrukce [15]:

$$R_j = \frac{d}{\lambda_{ekv}} [m^2.K/W] \quad (4)$$

$d$  – tloušťka konstrukce [ $m$ ]

$\lambda_{ekv}$  – tepelná vodivost materiálu [ $W/m.K$ ]

Hodnoty odporů při přestupu tepla na vnitřní a na vnější straně konstrukce jsou dány v normě ČSN 73 0540-2:2011:

<b>Směr toku tepla</b>	<b>nahoru</b>	<b>vodorovně</b>	<b>dolů</b>
$R_{si}$ [ $m^2.K/W$ ]	0,04	0,04	0,04
$R_{se}$ [ $m^2.K/W$ ]	0,10	0,13	0,17

Tabulka 3: Hodnoty  $R_{si}$  a  $R_{se}$  závislé na směru tepelného toku (Zdroj: [6])

Tepelná vodivost  $\lambda_{ekv}$  charakterizuje materiál (cihla, dřevo, polystyren, apod.) a tuto hodnotu nalezneme buď v tabulkách, nebo ji udává výrobce materiálu. Čím je tato hodnota nižší, tím lépe materiál izoluje.

Popis konstrukce	Typ konstrukce	Požadované hodnoty $U_N$	Doporučené hodnoty $U_N$	Součinitel typu konstrukce	Činitel teplotní redukce
		[W/(m <sup>2</sup> ·K)]	[W/(m <sup>2</sup> ·K)]	$e_2$ [-]	$b_1$ [-]
Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně Podlaha nad venkovním prostorem Strop pod nevytápěnou půdou se střechou bez tepelné izolace Podlaha a stěna s vytápěním	lehká	<b>0,24</b>	<b>0,16</b>	0,8	1,00
	těžká	<b>0,30</b>	<b>0,20</b>	0,8	1,00
Stěna venkovní Střecha strmá se sklonem nad 45°	lehká	<b>0,30</b>	<b>0,20</b>	1,0	1,25
	těžká	<b>0,30</b>	<b>0,25</b>	1,0	1,00
Podlaha a stěna přilehlá k zemině (s výjimkou podle poznámky 2) Strop a stěna vnitřní z vytápěného k nevytápěnému prostoru		<b>0,60</b>	<b>0,40</b>	0,8	0,49
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k částečně vytápěnému prostoru		<b>0,75</b>	<b>0,50</b>	0,8	0,40
Stěna mezi sousedními budovami Strop mezi prostory s rozdílem teplot do 10 °C včetně		<b>1,05</b>	<b>0,70</b>	0,8	0,29
Stěna mezi prostory s rozdílem teplot do 10 °C včetně		<b>1,30</b>	<b>0,90</b>	1,0	0,29
Strop vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně		<b>2,2</b>	<b>1,45</b>	0,8	0,14
Stěna vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně		<b>2,7</b>	<b>1,80</b>	1,0	0,14
Okno a jiná výplň otvoru podle 4.6, z vytápěného prostoru (včetně rámu, který má nejvýše 2,0 W/(m <sup>2</sup> ·K))	nová	<b>1,80</b>	<b>1,20</b>	5,5	1,15
	upravená	<b>2,0</b>	<b>1,35</b>	6,0	1,15
Dveře, vrata a jiná výplň otvoru podle 4.6, z částečně vytápěného nebo nevytápěného prostoru vytápěné budovy (včetně rámu)		<b>3,5</b>	<b>2,3</b>	6,0	0,66

Tabulka 4: Požadované hodnoty součinitele prostupu tepla (Zdroj: [6])

#### Tepelné ztráty tepelnými mosty:

Tepelný most je místo, kde je oslabena izolační schopnost konstrukce a tím dochází ke zvýšení tepelných ztrát a často také k poklesu vnitřní povrchové teploty pod hranici rosného bodu a následné kondenzaci vodních par [10]. Tepelné mosty jsou podle povahy děleny na systémové a nahodilé.

Systémové tepelné mosty jsou takové, které se opakují v pravidelném rytmu. Jejich vliv musí být zohledněn ve výpočtu součinitele prostupu tepla konstrukcí. Příkladem jsou krokve pouze s mezilehlou izolací nebo maltové lože u zděných staveb.

Nahodilé tepelné mosty se v konstrukci neopakují, nebo se opakují v nepravidelném rytmu. Ve výpočtech jsou zohledněny buď zvýšením součinitele prostupu tepla, nebo

přesným výpočtem. Tepelné mosty dělíme na lineární a bodové. Lineárním tepelným mostem je například nedostatečně izolovaný železobetonový stropní věnec (Obrázek 10) a typický bodový tepelný most je kovová kotevní hmoždinka zateplovacího systému. Vzorec pro přesný výpočet tepelné ztráty tepelnými mosty je následující [11]:

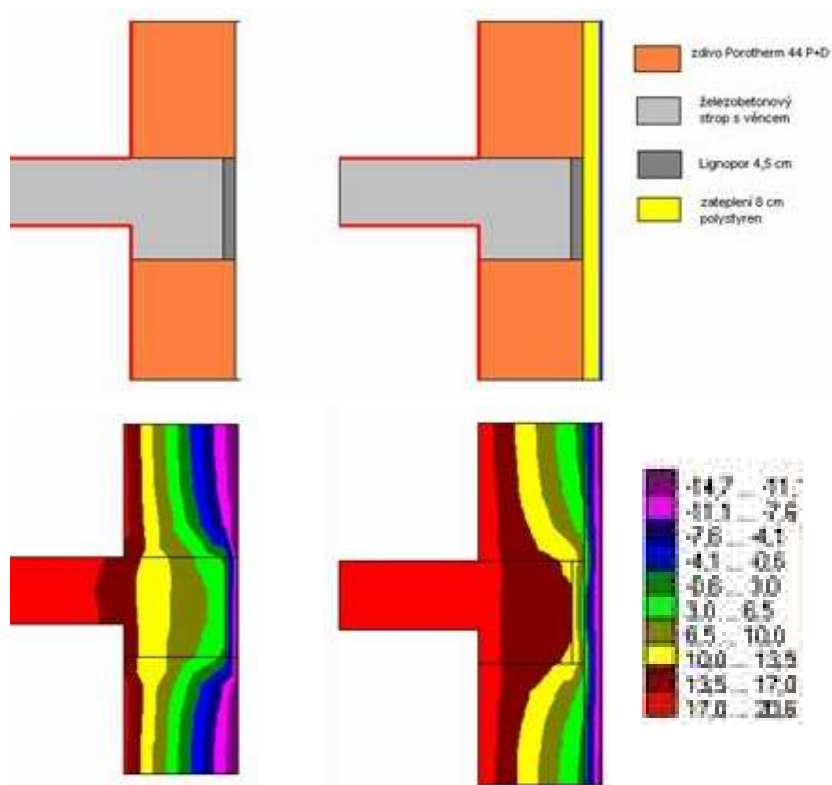
$$Q_{pm} = \sum \psi \cdot l \cdot \Delta t + \sum \chi \cdot \Delta t \quad [W] \quad (5)$$

$\Psi$  - lineární činitel prostupu tepla [W/m.K]

$l$  - délka lineárního tepelného mostu [m]

$\Delta t$  - rozdíl teplot vzduchu uvnitř a venku [K]

$X$  - bodový činitel prostupu tepla [W/m<sup>2</sup>.K]



Obrázek 10: Tepelný most tvořený železobetonovým stropem (Zdroj: [10])

Hodnoty činitelů prostupu tepla jsou určeny v katalogu činitelů v normě ČSN EN ISO 14683. V normě je konstatováno, že hodnoty jsou orientační, ale leží na straně bezpečnosti a při jejich použití nejsou tepelné ztráty tepelnými mosty podceněny.



### *Tepelné ztráty větráním:*

Po zateplení domu a po výměně oken snížíme tepelné ztráty prostupem tepla, z důvodu koncentrace CO<sub>2</sub> a dalších škodlivých látek je však potřeba o to více větrat. V rodinných domech by se měl vzduch v místnosti zcela vyměnit každé dvě hodiny. Dle normy ČSN EN 15665/Z1 je minimální hodnota intenzity větrání 0,3 objemu vzduchu v místnosti za hodinu a doporučenou hodnotou 0,5 objemu vzduchu v místnosti za hodinu. U starých domů s netěsnými okny bývá dostatečné výměny dosaženo tzv. infiltrací, která má nevýhodu nemožnosti regulace (větrá se zbytečně i v případě nepřítomnosti osob). U moderních domů se zatěsněnými okny je však samovolná výměna vzduchu nedostatečná a musíme jí docílit jinými způsoby (viz kapitola stavební opatření). Tepelné ztráty větráním spočítáme z následujícího vztahu [11]:

$$Q_{vv} = \frac{V \cdot n}{3600} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_i - t_p) [W] \quad (6)$$

$$t_p = t_e + U \cdot (t_i - t_e) [K]$$

*V – objem místnosti/budovy [m<sup>3</sup>]*

*n – intenzita větrání [bezrozměrné]*

*ρ – měrná hmotnost vzduchu [kg/m<sup>3</sup>]*

*c – měrná tepelná kapacita vzduchu [J/kg.K]*

*t<sub>i</sub> – teplota vnitřního vzduchu [K]*

*t<sub>p</sub> – teplota přiváděného vzduchu [K]*

*t<sub>e</sub> – teplota venkovního vzduchu [K]*

*U – účinnost zpětného získávání tepla [bezrozměrné]*

### **SOLÁRNÍ A INTERNÍ TEPELNÉ ZISKY:**

K úplné správnosti všech výpočtů by měly být brány v úvahu i tepelné zisky ze slunečního záření, z osob a spotřebičů uvnitř domu. V případě pomnutí těchto složek může být na základě výpočtů navržen zdroj tepla s nepřiměřeným výkonem.

V chladných měsících jsou pasivní solární zisky pomocníkem, díky kterému za vytápění ušetříme. V letních měsících je tomu naopak a ziskům se bráníme stíněním a cloněním z důvodu přehřívání místností. Množství slunečního záření dopadajícího na okna je ovlivněno jejich zastíněním a orientací ke světovým stranám. Stupeň využití solárních zisků

u lehkých konstrukcí (například dřevostaveb nebo půdních vestaveb) je nižší z důvodu menší schopnosti naakumulování tepla do hmoty domu.

Dle vyhlášky č. 291/2001 Sb. Ministerstva průmyslu a obchodu se solární zisky za otopné období (rok) dají zjednodušeně určit pomocí následujícího vzorce [16]:

$$E_{sz} = 0,9 \cdot (3 \cdot V) [kWh/rok] \quad (7)$$

$V$  – objem budovy [ $m^3$ ]

K interním tepelným ziskům patří zisky od osob, přístrojů, osvětlení, z rozvodů vody a kanalizace, procesů atd. Průměrný výkon vnitřních zisků určuje následující vzorec [17]:

$$Q_{vz} = 0,7 \cdot n_{os} \cdot 100 + n_{bj} \cdot 100 [W] \quad (8)$$

$n_{os}$  – počet obyvatel budovy

$n_{bj}$  – počet bytových jednotek

Dalším možným způsobem určení tepelných zisků je zjednodušený výpočet za otopné období dle vyhlášky č. 291/2001 Sb. Ministerstva průmyslu a obchodu [16]:

$$E_{vz} = 0,9 \cdot (6 \cdot V) [kWh/rok] \quad (9)$$

$V$  – objem budovy [ $m^3$ ]

#### POTŘEBA TEPLA NA VYTÁPĚNÍ:

Potřeba tepla na vytápění je hodnotou pro běžného uživatele více vypovídající, jelikož má přímý vztah s vydanými financemi za vytápění. Potřebu tepla na vytápění lze přepočítat na tzv. měrnou potřebu tepla vtaženou na jednotku plochy nebo jednotku objemu. Díky tomuto přepočtu je možné porovnávat různě velké objekty mezi sebou a zařadit je do tříd energetické náročnosti budov.

Výpočet potřeby tepla na vytápění vychází z tzv. energetické bilance vytápění (Obrázek 11). Tepelná ztráta prostupem a větráním se rovná solárním ziskům, interním ziskům a dodané energii na vytápění. Potřeba tepelné energie za rok se tedy určí z následujícího vztahu [11]:

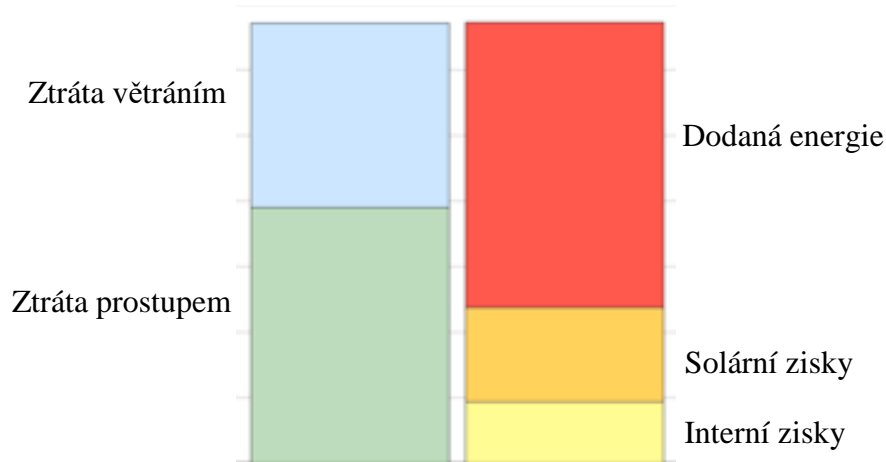
$$E_r = Ev_p + E_{vv} - E_{sz} - E_{vz} [kWh/rok] \quad (10)$$

$E_{vp}$  - roční potřeba en. pro krytí tepelných ztrát prostupem a tepelnými mosty [kWh/rok]

$E_{vv}$  - roční potřeba en. pro krytí tepelných ztrát větráním [kWh/rok]

$E_{sz}$  - roční tepelné zisky ze slunečního záření [kWh/rok]

$E_{vz}$  - roční tepelné zisky z vnitřního prostředí [kWh/rok]



Obrázek 11: Energetická bilance vytápění (Zdroj: přeloženo z schule.sheff-z.de)

Roční potřebu energie pro krytí tepelných ztrát prostupem, tepelnými mosty a větráním vypočteme z následujícího vztahu [11]:

$$E_{vp} + E_{vv} = \frac{[(Q_p + Q_{pm} + Q_{vv}) \cdot \Delta t_1] \cdot 24 \cdot d}{\Delta t_2} \text{ [kWh/a]} \quad (11)$$

$Q_p + Q_{pm} + Q_{vv}$  - tepelné ztráty prostupem, tepelnými mosty a větráním [kW]

$\Delta t_1$  - rozdíl středních teplot interiéru a exteriéru během topného období [K]

$d$  - počet dnů otopné sezóny [dny]

$\Delta t_2$  - rozdíl teplot vzduchu uvnitř a přiváděného vzduchu [K]

K výpočtu potřeby tepla na vytápění existuje volně dostupný výpočtový nástroj na webu tzb.info.cz: “Potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé vody” [18].

### 3.3.2 Ohřev vody

Pro stanovení energetické náročnosti budovy je nutné znát potřebu teplé vody, respektive potřebu tepla pro její přípravu za rok. Potřeba energie na ohřev teplé vody se u PENB stanovuje podle normy ČSN 06 0320 Tepelné soustavy v budovách – příprava teplé vody [19].

## POTŘEBA TEPLA NA OHŘEV VODY:

Pro výpočet potřebného množství tepla na přípravu teplé vody je nutné nejprve určit celkovou potřebu teplé vody za 1 den. Dle normy ČSN 06 0320 je spotřeba tepla na ohřev vody 4,3 kW na osobu a den (= potřeba tepla na ohřev cca 82 litrů vody), což je hodnota určená pro dimenzování zdroje ohřevu a neodpovídá skutečné průměrné spotřebě na osobu. Dle průzkumu ENERGO 2004 (ČSÚ, 2005) je průměrné množství skutečně spotřebovaného tepla pro přípravu vody v domácnosti 2,42 kWh na osobu za den, což odpovídá cca 46 litrům vody. Pro výsledek bližší reální spotřebě je dobré hodnotu potřeby teplé vody za 1 den oproti normě redukovat (*Tabulka 5*).

Standard	60 °C	45 °C	Tepelná energie
Nízký	10 až 20 l/os.den	15 až 30 l/os.den	0,6 až 1,2 kWh/os.den
Střední	20 až 40 l/os.den	30 až 60 l/os.den	1,2 až 2,4 kWh/os.den
Vysoký	40 až 80 l/os.den	60 až 120 l/os.den	2,4 až 4,8 kWh/os.den

*Tabulka 5: Měrná denní potřeba teplé vody v obytných domech (Zdroj: EkoWATT)*

Vybranou hodnotu měrné denní potřeby teplé vody na osobu vynásobíme počtem osob ( $V_{2p}$ ) a dosadíme do vzorce na výpočet denní potřeby tepla pro ohřev vody [20]:

$$Q_{TUV.d} = (1 + z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot V_{2p} \cdot (t_2 - t_1)}{3600} \text{ [kWh]} \quad (12)$$

$z$  – koeficient ztrát systému pro přípravu teplé vody [bezrozměrné]

$\rho$  – měrná hmotnost vody – typicky 1 000 [kg/m<sup>3</sup>]

$c$  – měrná tepelná kapacita vody – typicky 4 186 [J/kg.K]

$V_{2p}$  – celková potřeba teplé vody za 1 den [m<sup>3</sup>/den]

$t_1$  – teplota studené vody – typicky 10 [°C]

$t_2$  – teplota ohřáté vody – typicky 55 [°C]

Energetická náročnost budov se určuje na základě potřeb tepla za rok, proto je nutné na tuto časovou jednotku přepočítat i potřebu tepla pro ohřev vody. Vzhledem k rozdílným teplotám studené vody v zimě a v létě a rozdílné spotřebě teplé vody v těchto ročních obdobích nestačí denní potřebu tepla vynásobit počtem dní v roce. K tomuto přepočtu slouží následující vztah [20]:

$$Q_{TUV,r} = Q_{TUV,d} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{TUV,d} \cdot \frac{t_2 - t_{sv1}}{t_2 - t_{sv2}} \cdot (N - d) \cdot 10^{-3} \text{ [MWh/rok]} \quad (13)$$

$Q_{TUV,d}$  – denní potřeba tepla [kWh]

$d$  – počet dnů otopného období v roce [dny]

$t_{sv1}$  – teplota studené vody v létě [°C]

$t_{sv2}$  – teplota studené vody v zimě [°C]

$N$  – počet pracovních dní soustavy v roce [dny]

K výpočtu potřeby tepla pro přípravu teplé vody slouží volně dostupný webový výpočetní nástroj společný i pro výpočet potřeby tepla na vytápění: “Potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé vody” [18] (Obrázek 12).

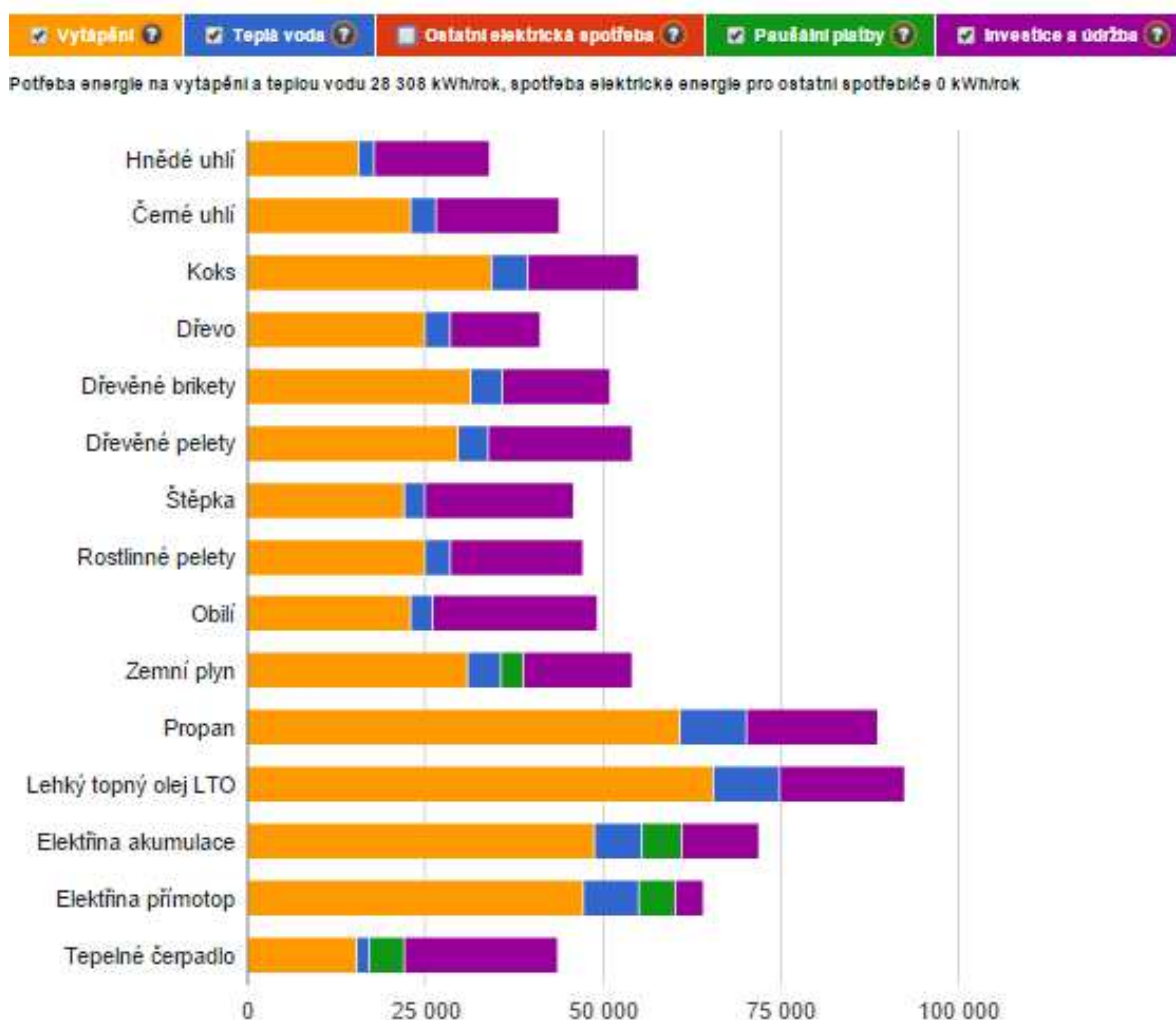
Lokalita <b>(Tepuška)</b>		<input type="radio"/> $t_{em} = 12 \text{ } ^\circ\text{C}$ <input type="radio"/> $t_{em} = 13 \text{ } ^\circ\text{C}$ <input checked="" type="radio"/> $t_{em} = 15 \text{ } ^\circ\text{C}$ ???	
Město:	Praha (Karlovy)	Délka topného období:	$d = 225$ [dny]
Venkovní výpočtová teplota $t_e =$	-12 $^\circ\text{C}$	Prům. teplota během otopného období $t_{es} =$	4.3 $^\circ\text{C}$
<input checked="" type="checkbox"/> <b>Vytápění</b> Tepelná ztráta objektu $Q_c = 12.5$ kW Průměrná vnitřní výpočtová teplota $t_{is} = 19$ $^\circ\text{C}$ ??? Vytápěcí denostupně: $D = d \cdot (t_{is} - t_{es}) = 3308$ K.dny Opravné součinitele a účinnosti systému $e_i = 0.85$ ??? $\eta_o = 0.95$ ??? $e_t = 0.90$ ??? $\eta_r = 0.95$ ??? $e_d = 1.00$ ??? Opravný součinitel $\varepsilon$ ??? <input checked="" type="radio"/> $\varepsilon = e_i \cdot e_t \cdot e_d = 0.765$ <input type="radio"/> $\varepsilon = 0.765$ $Q_{VYT,r} = \frac{\varepsilon \cdot 24 \cdot Q_c \cdot D}{\eta_o \cdot \eta_r \cdot (t_{is} - t_e)} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3}$ $Q_{VYT,r} = \left( \begin{matrix} 87.7 \text{ GJ/rok} \\ 27.1 \text{ MWh/rok} \end{matrix} \right)$ <b>Náklady</b>		<input checked="" type="checkbox"/> <b>Ohřev teplé vody</b> $t_1 = 10$ $^\circ\text{C}$ ??? $\rho = 1000$ $\text{kg/m}^3$ ??? $t_2 = 55$ $^\circ\text{C}$ ??? $c = 4186$ $\text{J/kgK}$ ??? $V_{2p} = 0.328$ $\text{m}^3/\text{den}$ ??? Koeficient energetických ztrát systému $z = 0.5$ ??? Denní potřeba tepla pro ohřev teplé vody $Q_{TUV,d} = (1+z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot V_{2p} \cdot (t_2 - t_1)}{3600} = 25.7$ kWh Teplota studené vody v létě $t_{sv1} = 15$ $^\circ\text{C}$ Teplota studené vody v zimě $t_{sv2} = 5$ $^\circ\text{C}$ Počet pracovních dní soustavy v roce $N = 365$ [dny] $Q_{TUV,r} = Q_{TUV,d} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{TUV,d} \cdot \frac{t_2 - t_{sv1}}{t_2 - t_{sv2}} \cdot (N - d)$ $Q_{TUV,r} = \left( \begin{matrix} 29.2 \text{ GJ/rok} \\ 8.1 \text{ MWh/rok} \end{matrix} \right)$ <b>Náklady</b>	
<b>Celková roční potřeba energie na vytápění a ohřev teplé vody</b> $Q_r = Q_{VYT,r} + Q_{TUV,r} = \left( \begin{matrix} 126.8 \text{ GJ/rok} \\ 35.2 \text{ MWh/rok} \end{matrix} \right)$ <b>Náklady</b>			

Obrázek 12: Výpočetní nástroj pro výpočet potřeby tepla na vytápění a ohřev vody (Zdroj: [18])

### 3.3.3 Náklady na vytápění a ohřev vody

Náklady závisí na potřebném množství tepla, na počáteční investici do zdroje tepla a jeho životnosti, na nákladech na jeho údržbu, na účinnosti vybraného zdroje energie, na druhu používaného paliva a jeho ceně a na paušálních platbách (např. pronájem elektroměru, pronájem nádrže na propan, aj.).

Proces porovnání všech kombinací jednotlivých zdrojů od různých výrobců zdrojů a cen energií od různých dodavatelů by byl velice náročný a zdlouhavý. K orientaci mezi dostupnými možnostmi slouží on-line výpočetní nástroj „Výpočet a grafické porovnání nákladů na vytápění, teplou vodu a elektrickou energii v budovách“ [21], který poskytuje i přehledný grafický výstup porovnání dle zadaných parametrů (Obrázek 13).



Obrázek 13: Porovnání ročních nákladů na energie v domě (Zdroj: [21])

### 3.4 Ekonomické hodnocení energeticky úsporných opatření

Úspora finančních prostředků za platby energií je nejčastější motivací realizace energeticky úsporných opatření. Ekonomická hodnotící kritéria jsou podkladem pro rozhodnutí, zda do opatření investovat, nebo pro volbu mezi více variantami. Základními vstupními údaji výpočtů ekonomické efektivity investic jsou výdajové položky v podobě nákladů vynaložených na realizaci opatření a příjmové položky v podobě úspor za energii. Dále je nutné znát životnost opatření.

Diskontní míra je důležitým pojmem pro složitější a přesnější výpočetní metody. Je určena pro přepočítání budoucích toků peněz na současnou hodnotu. Zahrnuje faktor času (inflace), riziko investice a kompenzuje jinou bezrizikovou možnost zhodnocení peněz (například na spořicímu účtu). Diskontní míra se určuje v procentech a vyjadřuje investorovu požadovanou míru výnosnosti investice. Problémem však může být právě její vyčíslení. V podnicích mají často tuto hodnotu interně stanovenou na základě zkušenosti s předchozími projekty, je možné ji ale i vypočítat. Jednou z možností výpočtu je postavit diskont roven WACC (Weighted average cost of capital) neboli váženým průměrným nákladům na kapitál [22].

#### 3.4.1 Prostá doba návratnosti

Prostá doba návratnosti (*PP* - Payback Period) je nejjednodušším hodnotícím kritériem a výsledek je údajem názorným a porovnatelným. Metoda nezohledňuje více faktorů, jako je například faktor času (nepočítá s diskontní mírou) nebo efekty po době návratnosti investice (hodnocení investice končí s pokrytím investičních nákladů). Z těchto důvodů nemá takovou vypovídací hodnotu jako následující kritéria, díky své jednoduchosti je však tento výpočet v praxi často využíván. Prostá doba návratnosti se vypočítá z následujícího vztahu [23]:

$$PP = \frac{IN}{CF} \text{ [let]} \quad (14)$$

*IN* – investiční náklady (náklady energeticky úsporného opatření) [Kč]

*CF* – roční peněžní toky (roční úspora energie v peněžních jednotkách) [Kč/rok]

Výsledek říká, za jakou dobu se investice do opatření vrátí. Čím nižší hodnota je výsledkem, tím lépe. Hodnota prosté doby návratnosti se porovnává s životností opatření.

### 3.4.2 Diskontovaná doba návratnosti

Jedná se o obdobné hodnotící kritérium jako prostá doba návratnosti, ve výpočtu je navíc zohledněna diskontní míra. Metoda výpočtu diskontované doby návratnosti (*DPP* – Discounted Payback Period) stále neřeší efekty po době návratnosti investice. K výpočtu slouží následující vzorec [23]:

$$\sum_{t=1}^{T_{sd}} \frac{CF_t}{(1+r)^t} - IN = 0 \quad (15)$$

$T_{sd}$  – diskontovaná doba návratnosti [let]

$CF_t$  – cash flow (roční úspora energie v peněžních jednotkách) v roce  $t$  [Kč/rok]

$r$  – diskontní míra [bezrozměrné]

$IN$  – investiční náklady (náklady energeticky úsporného opatření) [Kč]

*DPP* určuje, za jakou dobu se investice do opatření vrátí s ohledem na diskontní míru. Hodnota bývá kvůli zohlednění požadované míry výnosnosti delší než prostá doba návratnosti.

### 3.4.3 Čistá současná hodnota

Čistá současná hodnota (*NPV* - Net Present Value) zahrnuje celou dobu životnosti, nikoliv jen dobu do pokrytí investičních nákladů jako předchozí metody. *NPV* říká, kolik peněz nám projekt přinese/sebere za dobu životnosti. Pro výpočet čisté současné hodnoty platí následující vzorec [23]:

$$NPV = \sum_{t=1}^{T_z} \frac{CF_t}{(1+r)^t} - IN \text{ [Kč]} \quad (16)$$

$CF_t$  – cash flow (roční úspora energie v peněžních jednotkách) v roce  $t$  [Kč/rok]

$r$  – diskontní míra [bezrozměrné]

$T_z$  – životnost opatření [let]

$IN$  – investiční náklady (náklady energeticky úsporného opatření) [Kč]

V případě  $NPV=0$  není projekt ani ziskový ani ztrátový. Kladný výsledek znamená zisk a záporný naopak ztrátu. Nevýhodou *NPV* je obtížné stanovení diskontní míry a nevhodnost porovnávání mezi různými investičními záměry.



### 3.4.4 Vnitřní výnosové procento

Kritérium vnitřní výnosové procento (*IRR* – Internal Rate of Return) znamená trvalý roční výnos. *IRR* je diskontem, při kterém je čistá současná hodnota rovna nule [23]:

$$\sum_{t=1}^{T_z} \frac{CF_t}{(1 + IRR)^t} - IN = 0 \quad (17)$$

$CF_t$  – cash flow v daném roce [Kč/rok]

*IRR* – vnitřní výnosové procento [bezrozměrné]

$T_z$  – životnost opatření [let]

*IN* – investiční náklady (náklady energeticky úsporného opatření) [Kč]

Výpočet *IRR* není matematicky jednoduchý. Využít lze finanční kalkulačtor pro hodnocení ekonomické efektivity investic [24], který počítá i všechna výše uvedená kritéria, nebo funkci „míra výnosnosti“ v programu Microsoft Excel.

Pro hodnotu *IRR* by měla platit stejná pravidla jako pro diskont. Hodnota by měla být kladná a vyšší než úroky na spořicí účtech v bankách. Výhodou vnitřního výnosového procenta je, že není třeba přesně určovat diskontní míru, ale jen zhodnotit, jestli je pro nás vnitřní výnosové procento dostačující. Čím vyšší hodnota *IRR* je, tím je investice zajímavější.

### 3.5 Programy podpory a dotace

Dotace může pomoci se snížením investičních nákladů do energeticky úsporných opatření. V Evropské směrnici 2012/27/EU o energetické účinnosti je definovaná tzv. strategie 20-20-20, jejímž cílem je snížení emisí skleníkových plynů o 20 % od roku 1990, zvýšení podílu obnovitelných zdrojů energie v energetickém mixu na 20 % a úspora konečné spotřeby energie o 20 %. K dosažení cíle se zavazují přispívat všechny členské státy EU.

Na tuto směrnici reaguje Česká republika 3. národním akčním plánem energetické účinnosti/efektivity (NAPEE III). Tento plán obsahuje seznam alternativních politických opatření (*Tabulka 6*), která plánuje ČR použít ke splnění cíle v oblasti dosažení úspory na konečné spotřebě energie [25].

Sektor	Č.	Opatření	2008-2010	2011-2013	2014-2016	2017-2020	Alokace (předpoklad)
			TJ	TJ	TJ	TJ	mln. Kč
Domácnosti	1.1	Regenerace panelových domů - Program PANEL resp. NOVÝ PANEL (MMR)	1 192	198	486	648	4,5 (odhad)
	1.2	Zelená úsporám (MŽP)	2 950	2 950	0	0	-
	1.3	Nová Zelená úsporám 2013 (MŽP)	0	0	442	0	1
	1.4	Nová Zelená úsporám 2014 – 2020 (MŽP)	0	0	3667	10641	27
	1.5	Program JESSICA (MMR)	0	0	92	147	2,55
	1.6	Integrovaný regionální operační program (MMR)	0	0	1 800	7 200	16,9
	1.7	Společný program pro výměnu kotlů (MŽP)	0		354		0,15 (odhad)
	1.9	Operační program Životní prostředí 2014 – 2020 (MŽP) (část domácnosti, prioritní osa 2.)	0	0	699	2302	10
Služby	1.8	Operační program Životní prostředí 2007 – 2013 (MŽP)	139	1 168	1 385	0	-
	1.9	Operační program Životní prostředí 2014 – 2020 (MŽP)	0	0	462	1521	13,4
	1.10	Státní programy na podporu úspor energie a využití OZE (EFEKT) – investiční dotace (MPO)	165	21	20	27	0,1 (odhad)
	1.11	OP Praha Pól růstu - část budovy (hl. m. Praha)	0	0	18	25	1
	1.12	Operační program podnikání a inovace (MPO) (komerční služby)	1 000	3 400	720	0	-
	1.13	Operační program Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost (MPO) (komerční služby)	0	0	1714	2286	4
Průmysl	1.12	Operační program podnikání a inovace (MPO)	1 000	3 400	2880	0	-
	1.13	Operační program Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost (MPO)	0	0	6857	9143	16
<b>Celkem</b>			<b>5 446</b>	<b>7 737</b>	<b>21 596</b>	<b>33 940</b>	<b>96,6</b>

Tabulka 6: Opatření naplňující článek 7 směrnice 2012/27/EU (Zdroj: [25])

Pouze dvě z aktuálně běžících opatření poskytují dotace vlastníkům a stavebníkům rodinných domů. Konkrétně se jedná o dotační program Nová zelená úsporám (2014 – 2020) a Společný program pro výměnu kotlů.

### 3.5.1 Nová Zelená úsporám

Dotační program Nová zelená úsporám (NZÚ) pro období období 2014 – 2020 (obdobně jako jeho předchůdci Nová zelená úsporám pro rok 2013 a Zelená úsporám pro období 2009 – 2012) podporuje opatření vedoucí ke snížení energetické náročnosti domů a k efektivnímu využívání zdrojů energie. Program prošel od roku 2009 několika úpravami s cílem rozšířit okruh žadatelů o dotace, zjednodušit výpočty a zrychlit administraci. Dotace může být nyní čerpána na rekonstrukce i na novou výstavbu rodinných domů na území celé České republiky a nově i na rekonstrukci stávajících bytových domů na území hlavního

města Prahy. Rekonstrukce bytových domů na zbývajícím území ČR jsou podporovány v rámci Integrovaného regionálního operačního programu (IROP).

Hlavním cílem programu je zlepšení stavu životního prostředí snížením produkce emisí znečišťujících látek a skleníkových plynů (především emisí CO<sub>2</sub>), dále pak úspora energie v konečné spotřebě a stimulace ekonomiky ČR s dalšími sociálními přínosy, kterými jsou například zvýšení kvality bydlení občanů, zlepšení vzhledu měst a obcí a nastartování dlouhodobých progresivních trendů. Česká republika získala na tento program finanční prostředky prodejem emisních povolenek EUA (European Union Allowance).

V závislosti na typu dotovaného objektu se program člení na podprogram rodinné domy a podprogram bytové domy.



Obrázek 14: Vývoj dotačního programu (Nová) Zelená úsporám (Zdroj: nzu2013.cz)

Dne 22. 10. 2015 byla na oficiálních webových stránkách dotačního programu vypsána již 3. výzva k podání žádostí o dotace pro rodinné domy [26]. První zásadní změna od předchozích výzev je ten fakt, že se jedná o formu dlouhodobé kontinuální výzvy. Alokované finanční prostředky (zhruba 27 miliard Kč) budou poskytovány postupně až do roku 2021. Touto změnou by se mělo předejít rychlému vyčerpání dotačních prostředků na úsporná opatření, jako tomu bylo v přechodných výzvách. Další novinkou je možnost získání podpory na malé fotovoltaické elektrárny pro výrobu elektřiny pro přímou spotřebu v domácnosti. Podporu nelze dle nových podmínek poskytnout na výměnu kotlů na tuhá paliva ve vlastnictví fyzických osob provedenou po 15. 7. 2015 (včetně), které mají možnost získat podporu v rámci Operačního programu Životní prostředí 2014-2020 ze Společného programu na podporu výměny kotlů.

O dotaci mohou žádat vlastníci či stavebníci rodinných domů a žadatelem může být jak fyzická, tak právnická osoba. Žádost je možné podat před zahájením, v průběhu, i po

dokončení realizace podporovaných opatření. Podpora je vyplácena vždy až po dokončení opatření a prokázání, že byly splněny všechny podmínky k udělení dotace, a to výši maximálně 50 % způsobilých výdajů.

V rámci podprogramu rodinné domy jsou definovány oblasti podpory, které jsou označeny velkými písmeny:

- A. Snižování energetické náročnosti stávajících rodinných domů,
- B. Výstavba rodinných domů s velmi nízkou energetickou náročností,
- C. Efektivní využití zdrojů energie.

V závazných pravidlech pro NZÚ pro 3. výzvu pro rodinné domy [27] jsou tyto oblasti, jejich podoblasti a možné výše podpory detailně specifikovány.

## OBLAST PODPORY A

Oblast A je zaměřena na opatření prováděná na obálce budovy. Podporováno je zateplení obvodových a vnitřních konstrukcí tepelně izolačními materiály a výměna výplní otvorů.

Dle dosažených parametrů se oblast podpory A dělí na podoblasti A.0 až A.3. (Tabulka 7). Na základě těchto podoblastí je přiznávána výše podpory na metr čtvereční rekonstruované konstrukce (Tabulka 8). Výše podpory se stanoví jako součet dílčích podpor na jednotlivé konstrukce, na kterých je opatření prováděno:

$$\text{Výše podpory} = \sum_{i=1}^j k \cdot S_i \cdot \text{výše podpory } i - \text{tého opatření} \quad (18)$$

$S_i$  = plocha  $i$ -té konstrukce [ $m^2$ ]

Výše podpory  $i$ -té opatření – Tabulka [ $Kč/m^2$ ]

$k$  = koeficient upravující výši podpory [bezrozměrné]

$j$  – počet konstrukcí na obálce budovy, na kterých je realizováno opatření [bezrozměrné]

Zároveň s podáním žádosti na kteroukoliv z výše uvedených podoblastí podpory A lze žádat i o podporu na zpracování odborného posudku pro podání žádosti a zajištění odborného technického dozoru, to v maximální celkové výši 25 000 Kč.

Sledovaný parametr	Označení [jednotky]	A.0	A.1	A.2	A.3 <sup>2)</sup>
Měrná roční potřeba tepla na vytápění po realizaci	$E_A$ [kWh.m <sup>-2</sup> .rok <sup>-1</sup> ]	bez požadavku	≤ 90	≤ 55	≤ 35
<b>nebo</b>	$U_{em}$ [W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup> ]		<b>nebo</b>		
Průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy			≤ 0,95 $U_{em,R}$	≤ 0,85 $U_{em,R}$	≤ 0,75 $U_{em,R}$
Měněné stavební prvky obálky budovy	$U$ [W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup> ]	$U ≤ 0,9 * U_{mc,20}^{1)}$	dle požadavku ČSN 73 0540-2 a vyhl. č. 78/2013 Sb.		
Procentní snížení vypočtené měrné roční potřeby tepla na vytápění $E_A$ oproti stavu před realizací opatření	[%]	≥ 20 %	≥ 40 %	≥ 50 %	≥ 60 %

Tabulka 7: Požadované parametry v oblasti podpory A (Zdroj: [28])

Typ konstrukce	Podoblast podpory		
	A.0 a A.1 (Kč/m <sup>2</sup> )	A.2 (Kč/m <sup>2</sup> )	A.3 (Kč/m <sup>2</sup> )
Obvodová stěna	500	600	800
Střecha	500	600	800
Výplně otvorů	2 100	2 750	3 800
Podlaha na terénu	700	900	1 200
Ostatní konstrukce, stropy	330	400	550

Tabulka 8: Výše podpory v oblasti A (Zdroj: [28])

## OBLAST PODPORY C

V oblasti C je poskytována podpora na opatření zajišťující efektivní využívání energie v rodinných domech. Oblast C se dále dělí na podoblasti dle volby opatření. Dotace je poskytována na výměnu zdroje tepla, instalaci solárních termických a fotovoltaických systémů nebo instalaci systémů nuceného větrání se zpětným získáváním tepla.

### C.1 a C.2 – výměna zdrojů tepla:

O dotaci v podoblasti C.1 je možné žádat pouze současně s opatřením z oblasti A a získat podporu v podoblasti C.2 může žadatel jen u rodinných domů s měrnou roční potřebou tepla na vytápění menší nebo rovno 150 kWh.m<sup>2</sup>/rok. Podpora se vztahuje na pořízení a instalaci nového hlavního zdroje tepla na vytápění s případnou přípravou teplé vody, není však poskytována na pořízení kotlů spalujících tuhá fosilní paliva a nedřevní biomasu. Maximální

výše podpory na jednotlivé zdroje tepla splňující parametry dané v závazných podmínkách je znázorněna v tabulce (*Tabulka 7*).

Podoblast podpory	Typ zdroje	Výše podpory [Kč/dům] dle podoblasti	
		C.1	C.2
C.1.1 C.2.1	Kotel na biomasu s ruční dodávkou paliva	50 000	40 000
C.1.2 C.2.2	Kotel na biomasu se samočinnou dodávkou paliva	100 000	80 000
C.1.3 C.2.3	Krbová kamna na biomasu s teplovodním výměníkem s ruční dodávkou paliva a uzavřené krbové vložky s teplovodním výměníkem	50 000	40 000
C.1.4 C.2.4	Krbová kamna nebo vložka na biomasu s teplovodním výměníkem se samočinnou dodávkou paliva	50 000	40 000
C.1.5 C.2.5	Tepelné čerpadlo voda–voda	100 000	80 000
C.1.6 C.2.6	Tepelné čerpadlo země–voda	100 000	80 000
C.1.7 C.2.7	Tepelné čerpadlo vzduch–voda	75 000	60 000
C.1.8 C.2.8	Plynový kondenzační kotel	18 000	15 000
C.1.9 C.2.9	Napojení na soustavu zásobování teplem s vyšším než 50% podílem OZE	40 000	30 000

*Tabulka 7: Výše podpory v oblastech C.1 a C.2 (Zdroj: [28])*

### *C.3 – solární termické a fotovoltaické systémy:*

V podoblasti C.3 je podporována instalace solárně termických systémů na přípravu teplé vody (C.3.1) a na přípravu teplé vody a vytápění (C.3.2). Pro získání dotace musí tyto systémy s kolektory dosahovat minimální účinnosti dle vyhlášky č. 441/2012 Sb., o stanovení minimální účinnosti užití energie při výrobě elektřiny a tepelné energie.

Dále lze žádat o dotaci na fotovoltaické systémy na přípravu teplé vody s přímým ohřevem (C.3.3) s minimálním pokrytím 50 % potřeby tepla na přípravu teplé vody. Podporu lze využít i na solární fotovoltaické systémy propojené s distribuční soustavou (C.3.4 - C.3.6). U těchto systémů je výše dotace závislá na možnosti akumulace elektrické energie s tepelným využitím přebytků a celkovým využitelným ziskem.

V případě, že výše uvedené systémy splňují všechny parametry dané v Závazných pokynech výzvy [28], je na ně možné získat dotace maximálně ve výši dle tabulky (*Tabulka 8*).

Podoblast podpory	Typ systému	Výše podpory [Kč/dům]
C.3.1	Solární termický systém na přípravu teplé vody	35 000
C.3.2	Solární termický systém na přípravu teplé vody a přitápění	50 000
C.3.3	Solární FV systém pro přípravu teplé vody s přímým ohřevem	35 000
C.3.4	Solární FV systém bez akumulace elektrické energie s tepelným využitím přebytků a celkovým využitelným ziskem $\geq 1\,700 \text{ kWh} \cdot \text{rok}^{-1}$	55 000
C.3.5	Solární FV systém s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem $\geq 1\,700 \text{ kWh} \cdot \text{rok}^{-1}$	70 000
C.3.6	Solární FV systém s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem $\geq 3\,000 \text{ kWh} \cdot \text{rok}^{-1}$	100 000

Tabulka 8: Výše podpory v oblasti C.3 (Zdroj: [28])

### C.3 – nucené větrání se zpětným získáváním tepla:

V této oblasti lze získat dotaci jak na centrální systém nuceného větrání se ZZT (C.4.1), tak i na systémy decentrální (C.4.2). O podporu je možné žádat v kombinaci s žádostí v oblasti A i samostatně. V případě samostatného podání žádosti však musí být instalací systému nuceného větrání dosaženo úspory měrné potřeby tepla na vytápění minimálně 20 %.

Minimální požadovaná účinnost zpětného zisku tepla je 75 % u centrálních systémů a 70 % u lokálních systémů. Další požadavky na tyto systémy jsou specifikovány v Závazných pokynech [28]. Po splnění všech parametrů bude žadateli poskytnuta dotace v maximální výši hodnot dle tabulky (Tabulka 9).

Podoblast podpory	Typ systému	Podpora [Kč/dům]
C.4.1	Centrální systém nuceného větrání se zpětným získáváním tepla	100 000
C.4.2	Decentrální systém nuceného větrání se zpětným získáváním tepla	75 000

Tabulka 9: Výše podpory v oblasti C.4 (Zdroj: [28])

S podáním žádosti na kteroukoliv z výše uvedených podoblastí podpory C lze žádat i o podporu na zpracování odborného posudku a na zajištění měření průvzdušnosti obálky budovy (blower door test - pro podoblast podpory C.4). Maximální výše podpory činí 5 000 Kč (i v případě žádosti na více opatření z oblasti C).

### 3.5.2 Společný program pro výměnu kotlů

Dle odhadů Ministerstva životního prostředí se na území ČR vyskytuje přes 350 tisíc ručně plněných zastaralých kotlů na uhlí, které produkují spaliny těžce znečišťující životní



prostředí. V rámci operačního programu Životní prostředí 2014 – 2020 spustilo MŽP celorepublikový Společný program pro výměnu kotlů – tzv. kotlíkové dotace (specifický cíl 2.1 v rámci prioritní osy 2). Do roku 2020 by v rámci tohoto specifického cíle mělo být rozděleno 9 mld. Kč a dojít k výměně minimálně 80 tisíc kotlů v rodinných domech po celé ČR.

Příjemci dotace z Operačního programu Životní prostředí 2014 – 2020 jsou kraje, které budou finanční prostředky přidělovat fyzickým osobám. Základními a neměnnými podmínkami jsou výše dotace, minimální parametry dotovaných zdrojů tepla a povinná mikro-energetická opatření. Kraje mají naopak volnost ve volbě, zda budou podporovat celou škálu zdrojů tepla, nebo jestli bude podpora vyplácena žadateli nebo přímo dodavateli.

Finanční prostředky je možné v rámci Kotlíkové dotace získat na následující zdroje tepla, které musí splňovat požadavky Směrnice o Ekodesignu 2009/125/ES a požadavky stanovené v Základních pravidlech pro Specifický cíl 2.1, Prioritní osy 2 [29]:

Zdroje	Výše podpory (% ze způsobilých výdajů)
Kotel výhradně na uhlí	70 %
Kombinovaný kotel (uhlí + biomasa), plynový kotel	75 %
Kotle výhradně na biomasu a tepelná čerpadla	80 %

*Tabulka 10: Výše podpory u jednotlivých zdrojů tepla (Zdroj: [29])*

Společně s výměnou zdroje tepla za zdroje uvedené v tabulce může být žádáno o dotaci na instalaci solárně-termických systémů. V případě, že dům nesplňuje minimální požadavky na energetickou třídu C, je nutné dále realizovat některá z mikro-energetických opatření (zateplení střechy, instalace těsnění oken a dveří, dílčí zateplení konstrukcí ...).

Maximální výše způsobilých výdajů je stanovena na 150 000 Kč. Náklady na mikro-energetická opatření mohou z toho tvořit max. 20 000 Kč. Možná je však i kombinace s programem Nová zelená úsporám. Do způsobilých nákladů patří: tepelný zdroj a náklady na jeho instalaci, nová otopná soustava/rekonstrukce otopné soustavy, služby energetického specialisty (PENB), projektová dokumentace. Dalších 5 % dotace navíc je možné získat v oblastech se zhoršenou kvalitou vyjmenovaných v seznamu prioritních měst a obcí [30].



## 4 Popis metodiky

Praktická část práce je zaměřena na hodnocení stavebních energeticky úsporných opatření, tedy opatření týkajících se zlepšení tepelně-izolačních vlastností obálky budovy. Cílem této kapitoly je popsat navrženou metodiku výběru nejvhodnější metody rekonstrukce obálky budovy rodinného domu. Vždy jeden příklad ze všech použitých výpočtů v navržené metodice je k nahlédnutí v příloze práce. Výpočty všech hodnocených variant jsou z důvodu rozsahu již pouze v elektronické podobě.

### 4.1 Stávající a referenční stav

Před samotným návrhem stavebních opatření musí být nejprve zhodnocen stávající stav budovy. Prvním krokem je určení systémové hranice budovy tvořené vnějším povrchem konstrukcí, které ohraničují vytápěnou zónu. Poté na základě projektové dokumentace vypočteme vnější objem vytápěné zóny, podlahovou plochu vytápěné zóny a plochu konstrukcí obálky budovy. Nutná je dále znalost umístění objektu, převažující vnitřní teploty v otopném období a počet osob obývajících rodinný dům.

K výpočtu součinitelů prostupu tepla jednotlivých stávajících konstrukcí obálky budovy je potřeba znát jejich skladby.  $U$  je pak vypočítán pomocí webového výpočetního nástroje „Prostup tepla vícevrstvou konstrukcí a průběh teplot v konstrukci“ [13]. Příklad výpočtu je k nahlédnutí v příloze práce (*Příloha 7*). Průměrný součinitel prostupu tepla získáme podílem celkové měrné ztráty prostupem tepla (součet hodnot z následujícího kroku výpočtu) a celkové plochy konstrukcí obálky budovy.

Se znalostí výše uvedených parametrů můžeme využít webový výpočetní nástroj „Online kalkulačka úspor a dotací Zelená úsporám“ [14] k výpočtu potřeby tepla na vytápění a tepelných ztrát obálkou budovy. Ukázka výpočtu je k dispozici v příloze práce (*Příloha 8*). Z grafického výstupu tepelných ztrát je patrné, kterými konstrukcemi uniká tepla nejvíce.

Hodnota roční tepelné ztráty objektu je zadána do webového výpočetního nástroje „Porovnání nákladů na vytápění“ [21], čímž zjistíme roční náklady na vytápění. K tomu je nutné znát, jaké palivo je nyní využíváno a jakou účinnost má současný zdroj tepla. Vzhledem k tomu, že v našem případě porovnáváme pouze stavební opatření (výměna zdroje tepla není uvažována), do ročních nákladů na vytápění je zahrnována pouze cena paliva a paušální platby. Příklad výpočtu je dostupný v příloze (*Příloha 10*).

Postupy výpočtů tepelných ztrát obálkou budovy a potřeby tepla na vytápění jsou pro referenční budovu totožné jako pro stávající stav, jen jsou místo vypočtených součinitelů prostupu tepla dosazeny požadované hodnoty dle normy ČSN 73 0540-2:2011. Hodnocení stávajícího stavu je provedeno slovním porovnáním s referenčním stavem a výpočtem energetického štítku obálky budovy pomocí interaktivního dokumentu Word [31]. Příklad protokolu a energetického štítku obálky budovy se nachází v příloze (*Příloha 9*).

## 4.2 Klasifikace navržených stavebních opatření

Jednotlivé konstrukce obálky budovy mohou být rekonstruovány pomocí různých materiálů a technologií. Pro porovnání více variant a pro výběr té nejvhodnější (v rámci dané konstrukce) byla navržen následující klasifikační systém.

Klasifikována jsou opatření s použitím běžně dostupných materiálů a běžných technologií. Opatření jsou vždy navržena tak, aby konstrukce dosáhly doporučených hodnot součinitele prostupu tepla dle normy ČSN 73 0540-2:2011. U tepelných izolací je na základě doporučených  $U$  dopočítána potřebná minimální tloušťka tepelné izolace a je volena nejbližší vyšší vyráběná tloušťka. Dle zvolené tloušťky izolace určíme skutečný součinitel prostupu tepla po zateplení. Součinitel prostupu tepla oken a dveří již udává výrobce u konkrétních výrobků. Cena každé varianty je zkalkulována pomocí programu SMART Plus nebo KROS Plus. Příklad kalkulace ceny zateplení obvodové stěny je uveden v příloze (*Příloha 11*).

	Váha %	A		B		C		D	
<b>Cena</b>	50	2	1	1	0,5	4	2	3	1,5
<b>Tloušťka izolace</b>	30	2,5	0,8	1	0,3	2,5	0,8	4	1,2
<b>Součinitel prostupu tepla</b>	20	3	0,3	4	0,8	1	0,2	2	0,4
<b>Klasifikace</b>	100	2,1		1,6		3,0		3,1	

dílčí klasifikační známka (2. nejnižší cena)

dílčí klas. známka vynásobená váhou ( $3 \times 0,5 = 1,5$ )

celková klas. známka je sumou dílčích známek vynásobených váhou ( $1,5 + 1,2 + 0,4 = 3,1$ )

Obrázek 15: Klasifikační systém

Klasifikační systém (*Obrázek 15*) zohledňuje vždy tři kritéria. U zateplení jimi jsou cena opatření, tloušťka tepelné izolace/celková tloušťka konstrukce a hodnota součinitele

prostupu tepla. U výměny oken je kritérium tloušťky izolace nahrazeno kritériem materiálová vhodnost rámu. Každé z uvedených kritérií má procentuálně určenou svou váhu, která je u jednotlivých konstrukcí určována individuálně. Dílčí klasifikační známka je rovna pořadí hodnoty daného kritéria v rámci hodnocené konstrukce. Nejnižší hodnoty získávají dílčí známku 1 a nejhorší známku rovnou počtu navrhovaných variant. V případě shodných hodnot je použita známka průměrná. Například, když mají dvě varianty zateplení stejnou tloušťku tepelné izolace a měly by se umístit na druhém až třetím místě, obě varianty dostanou známku  $(2 + 3) / 2 = 2,5$ . Dílčí klasifikační známky jsou vždy vynásobeny váhou daného kritéria. Celková klasifikační známka je pak sumou dílčích známek vynásobených váhou. Nejvhodnější variantou je opatření s nejnižší klasifikační známkou. Tímto klasifikačním systémem je určena nejvhodnější varianta rekonstrukce každé konstrukce obálky budovy.

### **4.3 Energetické a ekonomické hodnocení**

U stavebních opatření s nejnižší klasifikační známkou jsou spočítány roční tepelné ztráty, roční potřeba tepla na vytápění a průměrný součinitel prostupu tepla po jejich aplikaci. Postup výpočtů je shodný jako u stávajícího a referenčního stavu. Mezi sebou jsou jednotlivá opatření srovnána na základě vypočteného procenta úspory roční potřeby tepla na vytápění.

Ekonomicky jsou srovnávána opatření bez dotace a s dotací z programu Nová zelená úsporám. Potřebnými podklady pro ekonomické hodnocení je výše investičních nákladů bez dotace, výše dotace a roční náklady na vytápění po aplikaci opatření. Investiční náklady bez dotace již známe z klasifikace stavebních opatření a výši dotace určíme na základě Závazných pokynů pro žadatele a příjemce podpory [28]. Roční náklady na vytápění jsou spočítány pomocí výpočetního nástroje „Porovnání nákladů na vytápění“ [21] dosazením tepelné ztráty po aplikaci daného opatření.

Ekonomické srovnání je provedeno graficky za pomoci skupinových sloupnicových grafů. Prvně bude porovnána cena za 1 % úspory tepla na vytápění dle jednotlivých opatření. Dále budou spočítána ekonomická hodnotící kritéria, která vyžadují znalost délky životnosti opatření, diskontní míry a procentního zvyšování cen energií. Jedná se o kritéria čistá současná hodnota (NPV), vnitřní výnosové procento (IRR) a diskontovaná doba návratnosti (DPP). Hlavním rozhodujícím kritériem pro výběr nejvhodnější metody rekonstrukce je čistá současná hodnota. Ostatní počítaná kritéria slouží jako pomocná a informativní.

## 5 Příklad aplikace navržené metodiky

Navržená metodika výběru nejvhodnější rekonstrukce obálky budovy byla aplikována na konkrétní rodinný dům. K výpočtům byla využita výkresová dokumentace rodinného domu v obci Zábřeh zpracovaná v roce 2010 paní Radkou Mikešovou, která je obsažena v přílohách práce (*Příloha 1 až Příloha 6*).

### 5.1 Stávající a referenční stav rodinného domu

Třicet let starý rodinný dům se nachází v Olomouckém kraji, konkrétně v obci Zábřeh v ulici Malodvorská, číslo popisné 8. Jedná se o jednogenerační dvoupatrový objekt se sklepním a půdním prostorem. Půdorys je obdélníkového tvaru o vnějších rozměrech 8.350 x 10.640 mm a výška domu od úrovně terénu u vstupu po hřeben střechy činí 10.200 mm. Rodinný dům neprošel rekonstrukcí a obálka jeho vytápěné zóny není zateplena.



Obrázek 16: Pohled jižní a západní

Objekt není podsklepen celý a jedná se o sklepní prostory částečně nad terénem. Polovalbová střecha chrání půdní prostor se světlou výškou 2.150 mm v místě hřebene, půda proto není vhodná pro úpravu na obytný prostor. Teplo je dodáváno běžným plynovým kotlem s účinností 85%.

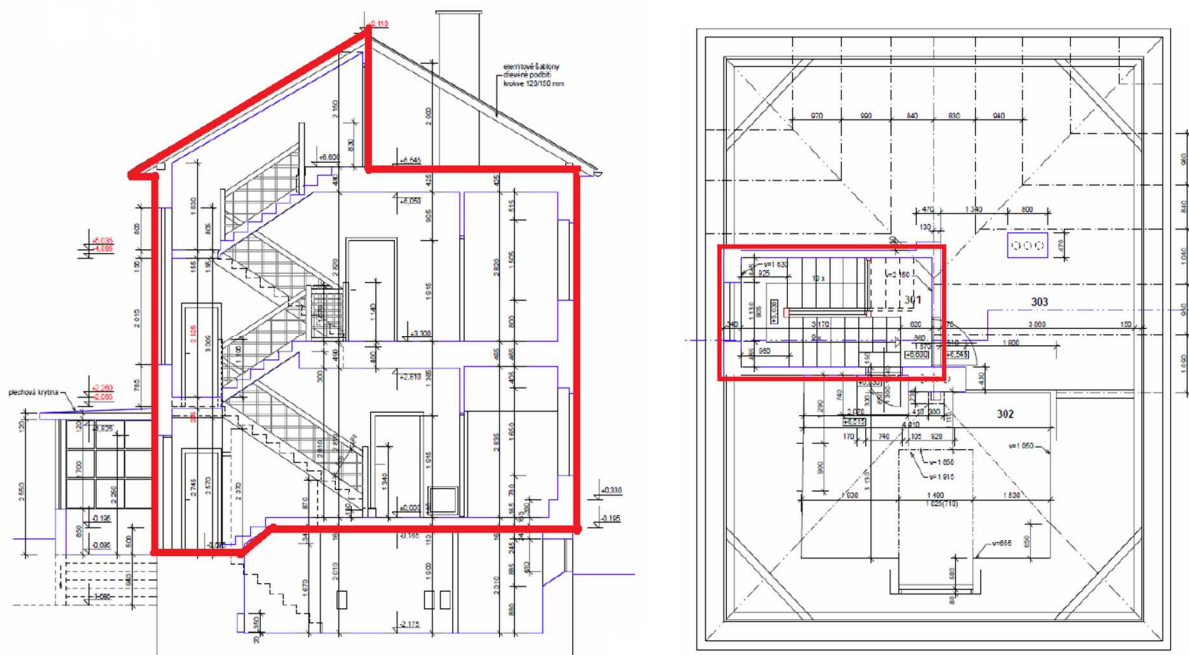
Na základě polohy rodinného domu a výkresové dokumentace byly určeny okrajové podmínky (*Tabulka 11*) potřebné pro energetické výpočty.

Délka otopného období	221	dní
Venkovní návrhová teplota v zimním období	-15	°C
Průměrná venkovní teplota v otopném období	3,4	°C
Převažující vnitřní teplota v otopném období	20	°C
Vnější objem vytápěné zóny	533,064	m <sup>3</sup>
Plocha konstrukcí obálky budovy	429,53	m <sup>2</sup>
Podlahová plocha vytápěné zóny	126,142	m <sup>2</sup>
Intenzita výměny vzduchu n	1	h <sup>-1</sup>
Lineární tepelné mosty	0,10	W/m <sup>2</sup> K

Tabulka 11: Okrajové podmínky

### 5.1.1 Skladby konstrukcí obálky budovy a jejich součinitele prostupu tepla

Systémová hranice budovy je tvořena vnějším povrchem konstrukcí, které ohraničují vytápěnou zónu. Ohraničující konstrukce jsou v tomto případě obvodové stěny, okna, vstupní dveře, podlaha nad sklepem, podlaha nad terénem (objekt je pouze částečně podsklepen), strop pod půdou, stěny mezi schodišťovým prostorem a půdou a segment střechy nad schodišťovým prostorem (Obrázek 17).



Obrázek 17: Systémová hranice budovy (řez a půdorys podkroví)

Skladby konstrukcí obálky budovy a jejich součinitele prostupu tepla jsou zaznamenány v tabulce (*Tabulka 12*). Součinitele prostupu tepla byly spočítány webovým výpočetním nástrojem [13] a výpočet hodnoty pro obvodové zdivo je k nahlédnutí v příloze (Příloha 7).

<b>Obvodové zdivo - 490 mm</b>	<b>d [mm]</b>	<b><math>\lambda</math> [W/(m.K)]</b>	<b>U [W/(m<sup>2</sup>.K)]</b>
Omítka vápenná	20	0,87	1,29
Zdivo - plná cihla	440	0,8	
Omítka - břizolit	30	0,9	

<b>Podlaha 1.NP (terén) - 211 mm</b>	<b>d [mm]</b>	<b><math>\lambda</math> [W/(m.K)]</b>	<b>U [W/(m<sup>2</sup>.K)]</b>
Dřevo	28	0,18	1,71
Cementový potěr	2	1,16	
Asfaltový nátěr	1	0,21	
Beton	100	1,23	
Štěrka	80	0,61	

<b>Podlaha 1.NP (sklep) - 330 mm</b>	<b>d [mm]</b>	<b><math>\lambda</math> [W/(m.K)]</b>	<b>U [W/(m<sup>2</sup>.K)]</b>
Dřevo	28	0,18	1,4
Cementový potěr	2	1,16	
Železobeton	280	1,43	
Omítka vápenná	20	0,87	

<b>Podlaha podkroví - 450 mm</b>	<b>d [mm]</b>	<b><math>\lambda</math> [W/(m.K)]</b>	<b>U [W/(m<sup>2</sup>.K)]</b>
Dřevo	50	0,18	0,8
Hlína	330	0,7	
Dřevo	50	0,18	
Omítka vápenná	20	0,87	

<b>Střešní konstrukce - 35 mm</b>	<b>d [mm]</b>	<b><math>\lambda</math> [W/(m.K)]</b>	<b>U [W/(m<sup>2</sup>.K)]</b>
Dřevo	30	0,18	3,03
IPA	5	0,21	

<b>Stěny podkroví - 165 mm</b>	<b>d [mm]</b>	<b><math>\lambda</math> [W/(m.K)]</b>	<b>U [W/(m<sup>2</sup>.K)]</b>
Omítka vápenná	15	0,87	2,15
Zdivo - plná cihla	150	0,8	

<b>Výplně otvorů</b>	<b>d [mm]</b>	<b><math>\lambda</math> [W/(m.K)]</b>	<b>U [W/(m<sup>2</sup>.K)]</b>
Špaletová okna	-	-	2,35
Vstupní dveře	-	-	3,5

*Tabulka 12: Skladby konstrukcí obálky budovy*

### 5.1.2 Tepelné ztráty a potřeba tepla na vytápění – stávající budova

V tabulce (*Tabulka 13*) jsou shrnuty plochy, součinitele prostupu tepla, činitele teplotní redukce a měrné ztráty prostupem tepla jednotlivých konstrukcí obálky budovy. Činitel teplotní redukce je tabulkovou hodnotou dle normy ČSN 73 0540-2:2011 a hodnoty  $H_t$  součinem  $A$ ,  $U$  a  $b$ .

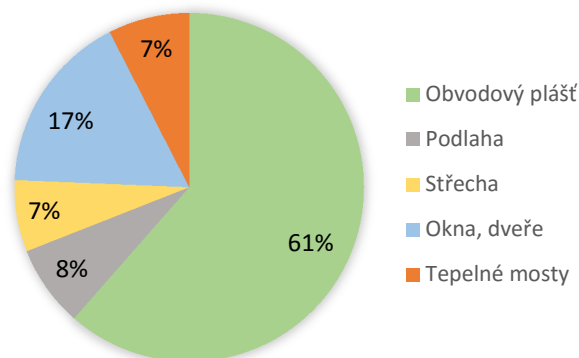
	<b>A [m<sup>2</sup>]</b>	<b>U [W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>b [-]</b>	<b>H<sub>t</sub> [W/K]</b>
Stěny obvodové	265,53	1,29	1	342,53
Stěny podkroví	7,82	2,15	0,49	8,24
Podlaha na terénu	29,22	1,71	0,49	24,48
Podlaha nad sklepem	27,19	1,4	0,49	18,65
Střecha	4,746	3,03	1	14,38
Podlaha podkroví	60,105	0,8	0,49	23,56
Okna	32,92	2,35	1,15	88,97
Dveře	2	3,5	1,15	8,05
<b>Měrná ztráta prostupem tepla [W/K]</b>				<b>528,8</b>
<b>Průměrný součinitel U<sub>em</sub> [W/m<sup>2</sup>K]</b>				<b>1,23</b>

*Tabulka 13: Parametry konstrukcí obálky budovy – stávající stav*

Na základě znalosti okrajových podmínek a parametrů konstrukcí obálky budovy byly pomocí výpočetního nástroje [14] určeny tepelné ztráty obálkou budovy a roční potřeba tepla na vytápění. Ukázka výpočtu je k dispozici v příloze (*Příloha 8*).

Z grafu (*Graf 3*) je patrné, že nejvíce tepla uniká přes obvodový plášť, který má největší plochu z konstrukcí obálky budovy. K druhé nejvýznamnější ztrátě prostupem tepla dochází okny a vstupními dveřmi. Roční potřeba energie na vytápění objektu činí 435 kWh/m<sup>2</sup>, což při současném zdroji tepla znamená výdaje ve výši 92 245 Kč/rok.

	<b>Tepelná ztráta [W]</b>
Obvodový plášť	12277
Podlaha	1510
Střecha	1328
Okna, dveře	3359
Tepelné mosty	1503
Větrání	6737
<b>Celkem</b>	<b>26714</b>



*Graf 3: Tepelné ztráty – stávající stav*

### 5.1.3 Tepelné ztráty a potřeba tepla na vytápění – referenční budova

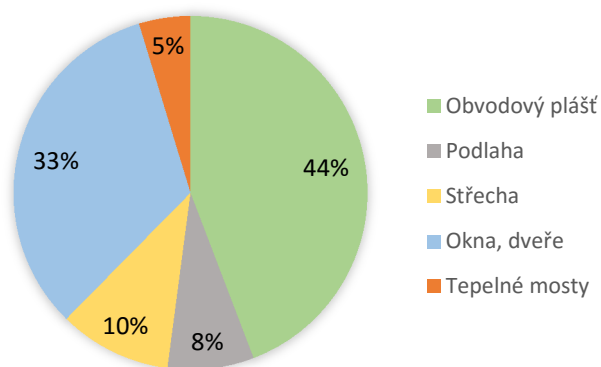
Referenční budova je výpočtově definovaná budova téhož druhu jako hodnocená budova, stejného geometrického tvaru a velikosti, umístění i vnitřního uspořádání, avšak s referenčními hodnotami konstrukcí obálky budovy. Referenční hodnoty součinitele prostupu tepla jsou rovny požadovaným hodnotám dle normy ČSN 73 0540-2:2011 [6]. Parametry konstrukcí obálky referenční budovy jsou shrnuty v tabulce (*Tabulka 14*).

	A [m <sup>2</sup> ]	U <sub>N,20</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	b [-]	H <sub>t</sub> [W/K]
Stěny obvodové	265,53	0,3	1	79,66
Stěny podkroví	7,82	0,3	0,49	1,15
Podlaha na terénu	29,22	0,45	0,49	6,44
Podlaha nad sklepem	27,19	0,6	0,49	7,99
Střecha	4,746	0,24	1	1,14
Podlaha podkroví	60,105	0,3	0,49	8,84
Okna	32,92	1,5	1,15	56,79
Dveře	2	1,7	1,15	3,91
<b>Měrná ztráta prostupem tepla [W/K]</b>				<b>165,92</b>
<b>Průměrný součinitel U<sub>em,r</sub> [W/m<sup>2</sup>K]</b>				<b>0,39</b>

Tabulka 14: Parametry konstrukcí obálky budovy – referenční stav

Při dosažení doporučených hodnot součinitelů prostupu tepla u všech hodnocených konstrukcí se celková tepelná ztráta sníží na třetinu oproti stávajícímu stavu (*Graf 4*). Roční potřeba energie na vytápění objektu činí 136,3 kWh/m<sup>2</sup>, což by při současném zdroji tepla znamenalo výdaje ve výši 33 381 Kč/rok.

	Tepelná ztráta [W]
Obvodový plášť	2828
Podlaha	505
Střecha	658
Okna, dveře	2107
Tepelné mosty	301
Větrání	2695
<b>Celkem</b>	<b>9094</b>



Graf 4: Tepelné ztráty – referenční stav

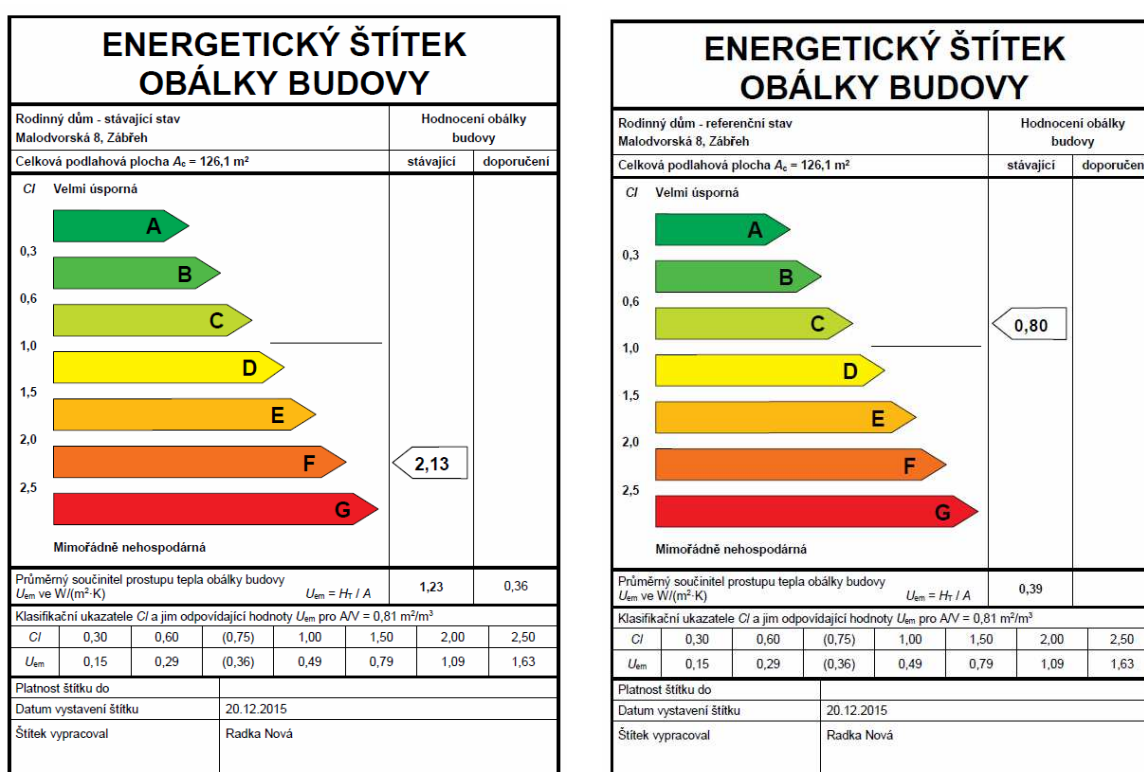
Parametry referenční budovy je nutné znát v případě žádosti o dotaci z programu Nová zelená úsporám. Jedním ze sledovaných parametrů je průměrný součinitel prostupu tepla v porovnání právě s referenčním stavem.



### 5.1.4 Zhodnocení stávajícího stavu

Při porovnání parametrů konstrukcí obálky stávající a referenční budovy je patrné, že stávající hodnoty součinitelů prostupu tepla jednotlivých konstrukcí jsou nevyhovující. Průměrný součinitel prostupu tepla stávající obálky budovy dle normy ČSN 73 0540-2:2011 zhruba třikrát převyšuje referenční, tedy požadovanou hodnotu.

Na obrázku (*Obrázek 18*) jsou graficky zpracovány energetické štítky obálky budovy ve stávajícím a v referenčním stavu. Aktuální stav byl klasifikován písmenem F, tedy jako velmi neohospodárný. U referenční budovy s požadovanými součiniteli prostupu tepla konstrukcí obálky budovy je dosaženo klasifikace C2, tedy vyhovující požadované úrovni. Ukázka výpočetního protokolu k energetickému štítku je k dispozici v příloze (*Příloha 9*).



Obrázek 18: Energetický štítek - stávající a referenční

Nehledě na tepelné vlastnosti je mimo oken a vstupních dveří technický stav konstrukcí obálky budovy dobrý bez potřeby výměny nosných či jiných prvků. K procentuálně nejvýznamnějším ztrátám tepla dochází obvodovým pláštěm (61 %) a výplněmi otvorů (17 %). Aplikací stavebních opatření na těchto konstrukcích bude dosaženo nejvýznamnějších úspor tepla na vytápění.

## 5.2 Klasifikace navržených stavebních opatření

Na zateplení obálky budovy je možné čerpat dotaci z programu NZÚ. Vyšší finanční podporu je možné získat v případě dosažení lepšího průměrného součinitele prostupu tepla oproti referenční hodnotě (*Tabulka na str. 40*), proto jsou navržena opatření k dosažení doporučených hodnot součinitelů prostupu tepla dle normy ČSN 73 0540-2:2011.

### 5.2.1 Zateplení obvodových stěn

Obvodové stěny jsou vyzděné z pálených plných cihel, v interiéru jsou povrchově upraveny vápennou omítkou a v exteriéru fasádní omítkou Břízolit. Plocha obvodových stěn bez výplní otvorů činí 265,531 m<sup>2</sup>, tloušťka stávající konstrukce s omítkami je 490 mm a  $U=1,29 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Navrženy a klasifikovány jsou vnější kontaktní a provětrávané systémy s použitím běžně dostupných materiálů tepelných izolací. Tloušťku izolací navrhuji ke splnění doporučeného součinitele prostupu tepla pro těžké vnější stěny  $U \leq 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Ve výpočtech je z důvodu kotvení izolace a nosných roštů zahrnována korekce součinitele prostupu tepla  $\Delta U=0,024$ .

	Izolace	$\lambda$ [W/m.K]	Tloušťka izolace [mm]	Tloušťka kce [mm]	U po zateplení [W/m2.K]	Cena [Kč]
Kontaktní systémy	Polystyren - EPS 70 F (Isover)	0,039	160	650	0,229	343 766 Kč
	Polystyren - EPS GreyWall (Isover)	0,032	120	610	0,245	321 570 Kč
	Polystyren - Open Term (Baumit)	0,04	160	650	0,233	396 822 Kč
	Minerální vata - TF PROFI (Isover)	0,036	140	630	0,238	443 726 Kč
	Dřevovláknité desky (Steico)	0,04	140	654	0,233	421 660 Kč
0,048		24				
Provětrávané s.	Minerální vata - UNI (Isover)	0,035	140	680	0,233	628 227 Kč
	Minerální vata - TOPSIL (Isover)	0,034	140	680	0,228	649 338 Kč
	Min. vata - SUPER-VENT (Isover)	0,031	120	660	0,239	703 653 Kč
	Dřevovláknitá izolace FLEX (Steico)	0,039	160	700	0,229	646 394 Kč

Tabulka 15: Zateplení obvodových stěn - parametry

V tabulce (*Tabulka 15*) je volena nejbližší vyšší vyráběná tloušťka tepelné izolace obvodových stěn vůči vypočtené hodnotě. Při kalkulaci cen zateplení byla u všech variant uvažována stejná povrchová úprava, konkrétně tenkovrstvá silikátová omítky u kontaktních

systémů a fasádní deska Cembrit u provětrávaných systémů. Ve všech variantách je uvažováno zateplení soklu soklovou EPS deskou tloušťky 100 mm.

Největší váha, 65 %, je z důvodu velkého rozptylu cen jednotlivých variant kladena na kritérium ceny. 15% váha je přiřčena celkové tloušťce konstrukce, která ovlivňuje zvětšení celkového objemu budovy a tedy i její estetiky. Nejmenší váhu, 10 %, získalo kritérium součinitele prostupu tepla, který se u jednotlivých variant liší pouze minimálně (všechny varianty byly navrženy k dosažení doporučeného  $U$ ).

	Váha (%)	Kontaktní systémy										Provětrávané systémy							
		Polystyren - EPS 70 F (Isover)		Polystyren - EPS GreyWall (Isover)		Polystyren - Open Term (Baumit)		Minerální vata - TF PROFI (Isover)		Dřevovláknité desky (Steico)		Minerální vata - UNI (Isover)		Minerální vata - TOPSIL (Isover)		Min. vata - SUPER-VENT PLUS (Isover)		Dřevovláknitá izolace FLEX (Steico)	
<b>Cena</b>	65	2	1,3	1	0,7	3	2	5	3,3	4	2,6	6	3,9	8	5,2	9	5,9	7	4,6
<b>Celková tloušťka kce</b>	15	3,5	0,5	1	0,2	3,5	0,5	2	0,3	5	0,8	7,5	1,1	7,5	1,1	6	0,9	9	1,4
<b>Součinitel prostupu tepla</b>	10	2,5	0,3	9	0,9	5	0,5	7	0,7	5	0,5	5	0,5	1	0,1	8	0,8	2,5	0,3
<b>Klasifikace</b>	100	<b>2,1</b>		<b>1,7</b>		<b>3,0</b>		<b>4,3</b>		<b>3,9</b>		<b>5,5</b>		<b>6,4</b>		<b>7,6</b>		<b>6,2</b>	

Tabulka 16: Zateplení obvodových stěn - klasifikace

Celkově v klasifikaci dopadly výrazně lépe kontaktní zateplovací systémy, a to hlavně kvůli znatelně nižší ceně (Tabulka 16). Provětrávané systémy se vyplatí použít v případě, že je aplikace kontaktního zateplení nevhodná (například v případě vlhkého zdiva). Z kontaktních systémů v klasifikaci lépe dopadly polystyrenové tepelné izolace.

Nejnižší klasifikační známku získalo kontaktní zateplení polystyrenem EPS Greywall s nejmenší tloušťkou konstrukce 610 mm,  $U=0,245 \text{ W/m}^2\text{K}$  a nejnižší cenou 321 570 Kč.

## 5.2.2 Zateplení segmentu střechy

Dřevěný krov valbové střechy se sklonem  $30^\circ$  je zakryt prkenným záklopem, který je chráněn před vlhkostí asfaltovou lepenkou. Jako střešní krytina jsou použity eternitové šablony, což je zažitý název pro vláknocementovou střešní krytinu vyráběnou v různých rozměrech a tvarech.

Součinitel prostupu tepla stávající střechy byl spočítán na  $U=3,03 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Krokve o rozměrech 120x150 mm jsou od sebe průměrně vzdáleny 0,9 m. Uvažováno je zateplení pouze segmentu střechy nad schodišťovým prostorem, který má plochu 4,746 m<sup>2</sup>.

Z důvodu zateplení pouze části střechy nejsou uvažovány varianty s polohou izolace nad krokvemi. Tloušťku izolace navrhuji ke splnění doporučeného součinitele prostupu tepla pro lehké střechy se sklonem do 45°  $U \leq 0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$ . K docílení požadované hodnoty součinitele prostupu tepla a k minimalizaci tepelných mostů je vždy tepelná izolace navržena ve dvou vrstvách – mezi krokvemi a v dřevěném roštu pod krokvemi. Tepelné vodivosti materiálů udávané výrobcí byly z důvodu systematických tepelných mostů v místě krokví a dřevěného roštu přepočteny na ekvivalentní hodnoty.

Izolace		Poloha izolace vůči krokvím	$\lambda$ [W/m.K]	$\lambda$ ekv [W/m.K]	Tloušťka izolace [mm]	U po zateplení [W/m <sup>2</sup> .K]	Cena [Kč]
mezi + pod krokvemi	Polystyren EPS 50Z (Styrotrade)	mezi	0,042	0,060	160	0,160	7 286 Kč
		pod		0,049	160		
	Minerální vata - ORSIK (Isover)	mezi	0,038	0,057	160	0,160	7 284 Kč
		pod		0,045	140		
	Minerální vata - UNIROL (Isover)	mezi	0,033	0,053	160	0,157	7 501 Kč
		pod		0,040	120		
	Dřevovláknitá izolace FLEX (Steico)	mezi	0,039	0,058	160	0,133	8 582 Kč
		pod		0,046	160		

Tabulka 17: Zateplení segmentu střechy – parametry

V tabulce (Tabulka 17) je volena nejbližší vyšší vyráběná tloušťka tepelné izolace pod krokvemi vůči vypočtené hodnotě. Při kalkulaci cen zateplení byla u všech variant uvažována montáž parotěsné zábrany do souvrství střechy a vnitřní povrchová úprava sádrokartonovými deskami.

Největší váha, 55 %, je z důvodu nutnosti zachování podchodné a průchodné výšky schodiště kladena na kritérium tloušťky izolace pod krokvemi. 30% váha je přiřčena ceně opatření, která se z důvodu malé plochy zateplované konstrukce neliší tak výrazně, jako u zateplení fasády. Nejmenší váhu, 15 %, získalo kritérium součinitele prostupu tepla, který se u jednotlivých variant liší pouze minimálně (všechny varianty byly navrženy k dosažení doporučeného  $U$ ).

	Váha (%)	Polystyren - EPS 50 Z (Isover)		Minerální vata ORSIK (Isover)		Minerální vata – UNIROL (Isover)		Dřevovláknitá izolace FLEX (Steico)	
<b>Cena</b>	30	2	0,6	1	0,3	3	0,9	4	1,2
<b>Tloušťka izolace pod krokvemi</b>	55	3,5	1,9	2	1,1	1	0,6	3,5	1,9
<b>Součinitel prostupu tepla</b>	15	3,5	0,5	3,5	0,5	2	0,3	1	0,2
<b>Klasifikace</b>	100	<b>3,1</b>		<b>1,9</b>		<b>1,8</b>		<b>3,3</b>	

Tabulka 18: Zateplení segmentu střechy - klasifikace

Nejlépe v klasifikaci dopadly minerální izolace, a to kvůli nejmenší tloušťce izolace pod krokvemi v kombinaci s cenou srovnatelnou s cenou zateplení polystyrenem (Tabulka 18). Nejnižší klasifikační známku získalo zateplení minerální vatou UNIROL s nejmenší tloušťkou izolace pod krokvemi 120 mm,  $U=0,157 \text{ W/m}^2\text{K}$  a cenou 7 501 Kč.

### 5.2.3 Zateplení stěn v podkroví

Vnitřní stěny mezi půdním a schodišťovým prostorem jsou vyzděny z plných pálených cihel. Ze strany schodiště jsou povrchově upraveny vápennou omítkou, z půdního prostoru je zdivo zachováno rezné. Plocha těchto stěn činí  $7,82 \text{ m}^2$ , tloušťka stávající konstrukce s omítkou je 165 mm a  $U=2,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Izolace	$\lambda$ [W/m.K]	Tloušťka izolace [mm]	U po zateplení [W/m2.K]	Cena [Kč]
Polystyren - EPS 70 F (Isover)	0,039	140	0,247	6 499 Kč
Polystyren - EPS GreyWall (Isover)	0,032	120	0,237	6 523 Kč
Minerální vata - TF PROFI (Isover)	0,035	140	0,224	10 140 Kč
Dřevovlákn Therm (Steico)	0,039	140	0,247	10 439 Kč

Tabulka 19: Zateplení stěn v podkroví - parametry

Tepelná izolace je uvažovaná kontaktní z půdního prostoru na režné zdivo s použitím běžně dostupných tepelně-izolačních materiálů (*Tabulka 19*). Tloušťku izolací navrhuji ke splnění doporučeného součinitele prostupu tepla pro vnitřní stěny z vytápěného k nevytápěnému prostoru  $U \leq 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Montáž tepelné izolace je uvažována lepením bez mechanického kotvení, proto ve výpočtu není zahrnována korekce součinitele prostupu tepla.

Je volena nejbližší vyšší vyráběná tloušťka tepelné izolace stěn v podkroví vůči vypočtené hodnotě. Všechny varianty tepelné izolace jsou kalkulovány bez povrchové úpravy, jelikož u půdního prostoru není kladen důraz na estetiku řešení.

Tloušťka izolace stěn v podkroví nehraje tak důležitou roli (25 %) jako v případě zateplení segmentu střechy, a proto je největší váha (55 %) kladena na kritérium ceny opatření. Nejmenší váhu (20 %) má kritérium součinitele prostupu tepla, který se u jednotlivých variant liší pouze minimálně (všechny varianty byly navrženy k dosažení doporučeného  $U$ ).

	Váha %	Polystyren - EPS 70 F (Isover)		Polystyren - EPS GreyWall (Isover)		Minerální vata - TF PROFI (Isover)		Dřevovláknno Therm (Steico)	
<b>Cena</b>	55	1	0,6	2	1,1	3	1,7	4	2,2
<b>Tloušťka izolace</b>	25	3	0,8	1	0,3	3	0,8	3	0,8
<b>Součinitel prostupu tepla</b>	20	3,5	0,7	2	0,4	1	0,2	3,5	0,7
<b>Klasifikace</b>	100	<b>2,0</b>		<b>1,8</b>		<b>2,6</b>		<b>3,7</b>	

*Tabulka 20: Zateplení stěn v podkroví - klasifikace*

V klasifikaci dopadly lépe polystyrenové tepelné izolace díky kritériu s největší vahou – ceně (*Tabulka 20*). Nejnižší klasifikační známku získalo kontaktní zateplení polystyrenem EPS Greywall, stejně jako u zateplení obvodových stěn. Stěny je třeba zateplit šedým polystyrenem o tloušťce 120mm, konstrukce pak dosahuje  $U=0,237 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

#### 5.2.4 Zateplení podlahy v podkroví

Strop nad 2.NP je konstruován jako trámový se záklopem a násypem. Na stropních trámech je položen prkenný záklop zesponu omítnutý, který je zasypán vrstvou hlíny, na

kteře je polořena dřevěná podlaha. Plocha této konstrukce činí 60,105 m<sup>2</sup>, její stávající tloušťka je 450 mm a U=0,80 W/m<sup>2</sup>K.

Mořných variant zateplení je více – zateplení stropu zesponu, nahrazení vrstvy násypu lepším tepelným izolantem nebo poloření tepelné izolace na podlahu půdy na stávající souvrství. Vzhledem k nevhodnosti využití půdy jako obytného prostoru se nabízí poslední varianta. Nemusí se tak zbytečně sniřovat světlá výřka obytného druhého nadzemního podlaří a není třeba demontovat stávající podlahu a vyklízet násyp.

Aby mohl být dále využíván půdní prostor, je třeba navrhnout únosnou tepelnou izolaci. Jsou opět voleny běžně dostupné izolační materiály podlah plus speciální podlahový systém STEP Cross, který využívá pevnosti EPS trámčů v kombinaci s tepelnou účinností měkkých desek z minerálních vláken. Tloušťku izolací navrhuji ke splnění doporučeného součinitele prostupu tepla pro strop pod nevytápěnou půdou se střechou bez tepelné izolace U≤0,20 W/m<sup>2</sup>K.

Izolace	$\lambda$ [W/m.K]	Tloušťka izolace [mm]	U po zateplení [W/m <sup>2</sup> .K]	Cena [Kč]
EPS 100S (Isover)	0,037	140	0,199	55 386 Kč
EPS Grey 100 (Isover)	0,031	120	0,195	52 374 Kč
Minerální – STEPCross (Isover)		160	0,172	71 968 Kč
Dřevovláknó Therm (Steico)	0,039	160	0,187	70 473 Kč

Tabulka 21: Zateplení podlahy podkroví – parametry

V tabulce (Tabulka 21) je volena nejbliřší vyšší vyráběná tloušťka tepelné izolace podlahy v podkroví vůči vypočtené hodnotě. U systému STEPCross výrobce neuvádí hodnotu tepelné propustnosti  $\lambda$ , ale rovnou výsledný součinitel prostupu tepla celého systému u konkrétních tloušťek. Vřechny varianty tepelné izolace jsou kalkulovány s montáří podlahy volně kladenými OSB deskami ve dvou vrstvách. Souvrství je uvažováno s parotěsnou zábranou.

Největří váha, 55 %, je kvůli velkému rozptylu cen jednotlivých variant kladena na kritérium ceny opatření. 25% váha je přidělena celkové tloušťce konstrukce, která ovlivňuje zmenření světlé výřky skladovacího půdního prostoru. Nejmenří váha, 15 %, má kritérium součinitele prostupu tepla, který se u jednotlivých variant liří pouze minimálně (vřechny varianty byly navrřeny k dosaření doporučeného U).

	Váhu %	Isover EPS 100S (Isover)		Isover EPS Grey 100 (Isover)		Isover minerální STEPCross		Dřevovláknno Therm (Steico)	
<b>Cena</b>	55	2	1,1	1	0,6	4	2,2	3	1,7
<b>Tloušťka izolace</b>	25	2	0,5	1	0,3	3,5	0,9	3,5	0,9
<b>Součinitel prostupu tepla</b>	20	4	0,8	3	0,6	1	0,2	2	0,4
<b>Klasifikace</b>	100	<b>2,4</b>		<b>1,4</b>		<b>3,3</b>		<b>2,9</b>	

Tabulka 22: Zateplení podlahy podkroví - klasifikace

Cenově dostupnější polystyrenové izolace vítězí ve srovnání s minerální a dřevovláknitou izolací (Tabulka 22). Nejnižší klasifikační známku získalo zateplení polystyrenem EPS Grey 100 s nejmenší tloušťkou izolace 120 mm, U konstrukce 0,195 W/m<sup>2</sup>K a nejnižší cenou 52 374 Kč.

### 5.2.5 Zateplení podlah 1.NP

Podlahu v 1. NP bylo nutné ve výpočtech rozdělit na podlahu na terénu a podlahu nad sklepem, a to z důvodu odlišných doporučených hodnot součinitele prostupu tepla a různých odporů při přestupu tepla.

Železobetonový strop nad sklepem je srovnán cementovým potěrem, na který je položena dřevěná podlaha. Strop ve sklepe je povrchově upraven vápennou omítkou. Tloušťka stávající konstrukce je 330 mm a součinitel prostupu tepla činí 1,4 W/m<sup>2</sup>K. Plocha konstrukce nad sklepem činí 27,193 m<sup>2</sup>. Na terénu je skladba následující (od spodu) – šterk, beton, asfaltový nátěr, cementový potěr a dřevěná podlaha. Konstrukce má 29,222 m<sup>2</sup>, tloušťka včetně šterkové vrstvy činí 211 mm a U=1,71 W/m<sup>2</sup>K.

Nášlapnou vrstvu stávajících podlah není možné zvýšit kvůli prahům dveří a výšce parapetů. Podlaha na terénu tedy musí být pro dostatečné zateplení kompletně zdemolována, terén prohlouben a veškeré souvrství realizováno znovu. Bude proveden šterkový podsyp a na něm vybetonovaná deska o tloušťce 100 mm. Na betonovou desku bude položena PE fólie a na ní volně kladeny tepelně izolační desky. Tepelná izolace bude překryta betonovou



mazaninou a cementovým potěrem, na němž bude položena dřevěná podlaha. Doporučený součinitel prostupu tepla pro podlahu na terénu je  $U \leq 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

U stropu nad sklepem bude využito možnosti zateplení zespodu, tedy ve sklepních prostorech. Izolační desky se lepí a mechanicky kotví na strop, ve výpočtech je proto zahrnována korekce součinitele prostupu tepla  $\Delta U = 0,024$ . Povrch zůstane neomítnutý. Tloušťku izolace navrhuji ke splnění doporučeného součinitele prostupu tepla pro strop mezi vytápěným a nevytápěným prostorem  $U \leq 0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

	Izolace	$\lambda$ [W/m.K]	Tloušťka izolace [mm]	U po zateplení [W/m2.K]	Cena [Kč]
Na terénu	Isover EPS 100S (Isover)	0,037	100	0,283	69 479 Kč
	Isover EPS Grey 100 (Isover)	0,031	80	0,294	68 167 Kč
	Styrodur 3035 C5 (Isover)	0,034	100	0,265	76 215 Kč
	Dřevovláknó Therm (Steico)	0,039	100	0,295	78 942 Kč
Nad sklepem	Isover EPS 70F (Isover)	0,039	80	0,39	19 865 Kč
	Isover EPS GreyWall (Isover)	0,032	80	0,34	20 752 Kč
	Minerální TF NF 333 (Isover)	0,041	80	0,40	27 358 Kč
	Dřevovláknó Therm (Steico)	0,039	80	0,39	31 379 Kč

Tabulka 23: Zateplení podlah 1.NP – parametry

V tabulce (Tabulka 23) je volena nejbližší vyšší vyráběná tloušťka tepelné izolace podlahy v 1.NP vůči vypočtené hodnotě. U podlahy na terénu je v ceně zahrnuta i demontáž stávající podlahy, vybourání betonové vrstvy, zemní práce na dostatečné vyhloubení terénu, nové souvrství a montáž původní demontované dřevěné podlahy. Zateplení podlahy na terénu je kvůli nutnosti demolice stávajícího souvrství a realizace nového výrazně cenově náročnější než zateplení podlahy nad sklepem.

Váha 35 % byla přiřčena tloušťce izolace, a to z důvodu nutnosti hloubení terénu pod podlahou a zmenšování světlé výšky ve sklepech. Nejdůležitější roli ale stále hraje cena opatření (45 %), která se liší dle použitých materiálů. Nejmenší váhu, 20 %, má kritérium součinitele prostupu tepla, který se u jednotlivých variant liší pouze minimálně (všechny varianty byly navrženy k dosažení doporučeného  $U$ ).

Nejnižší klasifikační známku (Tabulka 24) získal u podlahy na terénu, stejně jako u podlahy v podkroví, polystyren EPS Grey 100. Hodnoty  $U = 0,294 \text{ W/m}^2\text{K}$  je dosaženo při tloušťce izolace 80 mm. U podlahy nad sklepem v klasifikaci nejlépe dopadl polystyren EPS 70F o tloušťce 80 mm, a  $U$  konstrukce  $0,39 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

	Váha %	Podlaha na terénu								Podlaha nad sklepem							
		Isover EPS 100S (Isover)		Isover EPS Grey 100 (Isover)		Styrodur 3035 C5 (Isover)		Dřevovlákně Therm (Steico)		Isover EPS 70F (Isover)		Isover EPS GreyWall (Isover)		Minerální TF NF 333 (Isover)		Dřevovlákně Therm (Steico)	
<b>Cena</b>	45	2	0,9	1	0,5	3	1,4	4	1,8	1	0,5	2	0,9	3	1,4	4	1,8
<b>Tloušťka izolace</b>	35	3	1,1	1	0,4	3	1,1	3	1,1	2,5	0,9	2,5	0,9	2,5	0,9	2,5	0,9
<b>Součinitel prostupu tepla</b>	20	2	0,4	3	0,6	1	0,2	4	0,8	2,5	0,5	1	0,2	4	0,8	2,5	0,5
<b>Klasifikace</b>	100	<b>2,4</b>		<b>1,4</b>		<b>2,6</b>		<b>3,7</b>		<b>1,8</b>		<b>2,0</b>		<b>3,0</b>		<b>3,2</b>	

Tabulka 24: Zateplení podlahy 1.NP – klasifikace

### 5.2.6 Výměna oken a dveří

Okny a dveřmi dochází v rodinném domě k druhým procentuálně nejvýznamnějším ztrátám tepla. Dřevěná špaletová okna se součinitelem prostupu tepla 2,35 W/m<sup>2</sup>K mají dohromady plochu včetně rámu 32,92 m<sup>2</sup>. Dřevěné vstupní dveře o ploše 2m<sup>2</sup> mají ještě horší tepelně izolační vlastnosti, jejich U=3,5 W/m<sup>2</sup>K.

K dosažení doporučené hodnoty pro výplně otvorů U=1,2 W/m<sup>2</sup>K je nutné stávající okna a vstupní dveře vyměnit za nové. U vstupních dveří je navržena jedna varianta, a to cenově nejdostupnější dřevěné tepelně-izolační dveře s hodnotou součinitele prostupu tepla 1,2 W/m<sup>2</sup>K a cenou 16 780 Kč. U oken byla zkalkulována výměna oken za plastová bílá, plastová s dekorem dřeva a okna dřevěná, a to ve variantách s dvojsklem a trojsklem (Tabulka 25). Varianta oken s hliníkovými rámy již nebyla rozpracována, a to z důvodu ještě vyšší ceny než u oken dřevěných bez další přidané hodnoty pro tento konkrétní objekt.

Typ oken	U [W/m2.K]	cena [Kč]
Plastová s dvojsklem, bílá	1,2	88 327 Kč
Plastová s trojsklem, bílá	0,71	103 858 Kč
Plastová s dvojsklem, dekor dřeva	1,2	103 495 Kč
Plastová s trojsklem, dekor dřeva	0,71	119 026 Kč
Dřevěná s dvojsklem	1,2	170 864 Kč
Dřevěná s trojsklem	0,83	192 847 Kč

Tabulka 25: Výměna oken – parametry

U oken není jako u předchozích opatření hodnocena tloušťka konstrukce, ale hodnotím zde materiál rámu oken z pohledu estetické vhodnosti použití u řešeného rodinného domu. Součinitel prostupu tepla nebyl jako u předchozích opatření počítán, tuto hodnotu již udává výrobce u konkrétního výrobku.

Váha 40 % je přidělena kritériu ceny opatření. Stejnou 30% váhu mají kritéria materiálová vhodnost a součinitel prostupu tepla. Výběr materiálu je podstatný z estetického hlediska a součiniteli prostupu tepla je zde dávana větší důležitost z důvodu významnějšího rozptylu hodnot. Trojskla mají významně lepší tepelně-izolační vlastnosti než dvojskla.

	Váha (%)	Plastová								Dřevěná			
		Plastová s dvojsklem, bílá		Plastová, s trojsklem, bílá		Plastová s dvojsklem, dekor dřeva		Plastová s trojsklem, dekor dřeva		Dřevěná s dvojsklem		Dřevěná s trojsklem	
<b>Cena</b>	40	1	0,4	3	1,2	2	0,8	4	1,6	5	2	6	2,4
<b>Materiálová vhodnost</b>	30	5,5	1,7	5,5	1,7	3,5	1,1	3,5	1,1	1,5	0,5	1,5	0,5
<b>Součinitel prostupu tepla</b>	30	4	1,5	1,5	0,5	5	0,5	1,5	0,5	5	1,5	3	0,9
<b>Klasifikace</b>	100	<b>3,6</b>		<b>3,3</b>		<b>3,4</b>		<b>3,1</b>		<b>4,0</b>		<b>3,8</b>	

Tabulka 26: Výměna oken - klasifikace

Nejnižší klasifikační známku (Tabulka 26) získala plastová okna s dekorem dřeva,  $U=0,71 \text{ W/m}^2\text{K}$  a cenou 119 026 Kč, a to díky jejich nízkému součiniteli prostupu tepla a hodnocení materiálové vhodnosti.

### 5.3 Stavební opatření s nejnižší klasifikační známkou

V kapitole Klasifikace stavebních opatření byla hodnocena materiálová a technologická řešení v rámci jednotlivých konstrukcí. V této kapitole budou opatření s nejnižší klasifikační známkou porovnány mezi sebou a budou zhodnoceny z energetického a ekonomického hlediska. Na základě tohoto hodnocení bude doporučena nejvhodnější metoda rekonstrukce.

### 5.3.1 Energetické hodnocení

Největší úspory tepla na vytápění z jednotlivých opatření bude dosaženo zateplením obvodových stěn (*Tabulka 27*). Mají největší plochu ze všech konstrukcí obálky budovy (265,53 m<sup>2</sup>) a při stávajícím stavu jimi dochází k největším tepelným ztrátám (61 %). Zateplením fasády 120 mm polystyrenu EPS Greywall je dosaženo 41% úspory tepla na vytápění a roční tepelné ztráty jsou sníženy na 16,521 kW. Průměrný součinitel prostupu tepla obálky budovy dosahuje hodnoty 0,59 W/m<sup>2</sup>K.

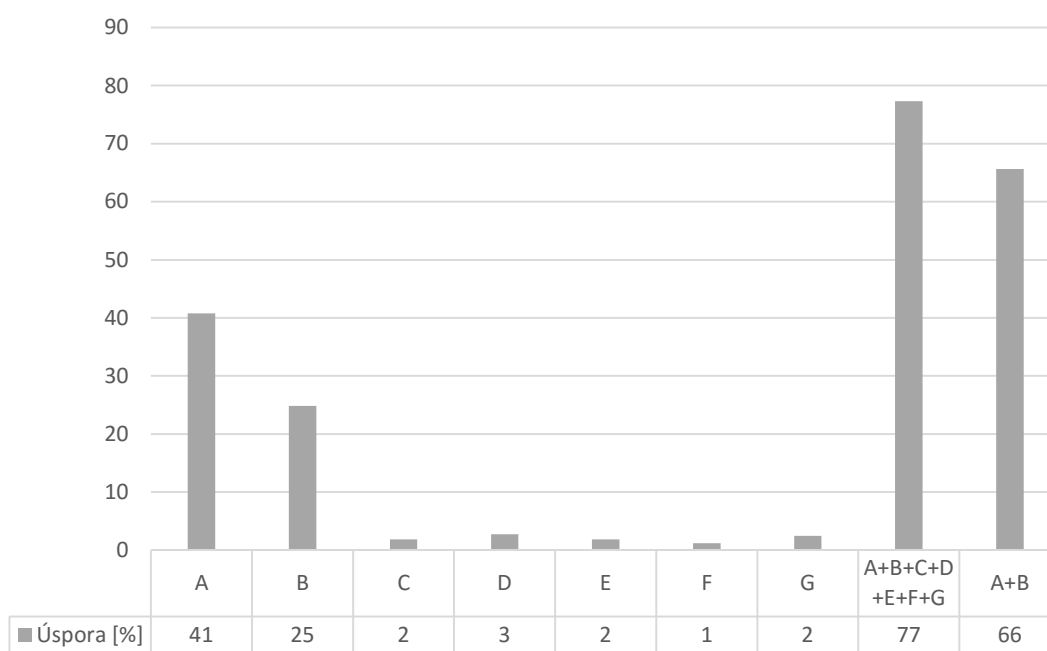
			Roční tepelné ztráty [kW]	Roční potřeba tepla na vytápění [kWh/m2]	U <sub>em</sub> [W/m <sup>2</sup> K]
<b>stávající stav</b>			26,714	435	1,23
<b>A</b>	obvodové stěny	polystyren - EPS Greywall (Isover)	16,251	257,6	0,59
<b>B</b>	okna a dveře	plastová s trojsklem, dekor dřeva	20,338	326,9	1,07
<b>C</b>	střecha	minerální vata - UNIROL (Isover)	26,237	426,9	1,2
<b>D</b>	podlaha 1.np (terén)	polystyren EPS Grey 100 (Isover)	26,004	423	1,18
<b>E</b>	podlaha 1.np (sklep)	polystyren - EPS 70F (Isover)	26,243	427	1,0
<b>F</b>	stěny podkroví	polystyren - EPS Greywall (Isover)	26,457	429,7	1,21
<b>G</b>	podlaha podkroví	polystyren - EPS Grey 100 (Isover)	26,09	424,4	1,19
<b>A+B+C+D+E+F+G</b>			6,876	98,7	0,26
<b>A+B</b>			9,875	149,50	0,43

*Tabulka 27: Energetické parametry dle opatření*

Druhého nejvýznamnějšího snížení roční potřeby tepla na vytápění je dosaženo výměnou oken a vchodových dveří. Výplněmi otvorů při stávajícím stavu dochází k 17 % z celkových tepelných ztrát konstrukcemi obálky budovy. Výměnou oken za plastová okna s trojsklem a vchodových dveří za tepelně-izolační je dosaženo 25% úspory tepla na vytápění a roční tepelné ztráty jsou sníženy na 20,338 kW. Průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy je snížen na hodnotu 1,07 W/m<sup>2</sup>K.

Co se procentní úspory potřeby tepla na vytápění týče, další stavební opatření již významně zaostávají za prvními dvěma jmenovanými. 3% úspory je dosaženo zateplením podlahy na terénu polystyrenem 80 mm EPS Grey 100. Roční tepelné ztráty jsou sníženy na 26,004 kW a průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy tímto opatřením klesne na hodnotu 1,18 W/m<sup>2</sup>K. Zateplením podlahy nad sklepem polystyrenem EPS 70F je dosaženo 2% úspory tepla na vytápění a roční tepelné ztráty jsou sníženy na 26,243 kW. Průměrný součinitel prostupu tepla obálky budovy je snížen na hodnotu 1,00 W/m<sup>2</sup>K.

Stávající podlaha v podkroví nemá v porovnání s ostatními konstrukcemi špatné tepelně-izolační vlastnosti, proto je i přes její plochu více jak 60 m<sup>2</sup> zateplením 120 mm polystyrenu EPS Grey 100 dosaženo pouze 2% úspory tepla na vytápění. Roční tepelné ztráty jsou sníženy na 26,09 kW a průměrný součinitel prostupu tepla obálky budovy je redukován na hodnotu 1,19 W/m<sup>2</sup>K.



Graf 5: Procentní úspora roční potřeby tepla na vytápění dle opatření

2 % tepla na vytápění lze taktéž ušetřit zateplením segmentu střechy nad schodišťovým prostorem 280 mm minerální vaty UNIROL. Roční ztráty jsou sníženy na 26 237 kW a průměrný součinitel prostupu tepla obálky budovy dosahuje hodnoty 1,20 W/m<sup>2</sup>K.

Nejnižšího procenta úspory tepla na vytápění (1 %) je dosaženo zateplením stěn mezi půdním prostorem a schodišťovým prostorem v podkroví. Roční tepelné ztráty jsou sníženy na 26,457 kW a průměrný součinitel prostupu tepla obálky budovy klesne na hodnotu 1,21 W/m<sup>2</sup>K.

Významnějšího zlepšení tepelně-technických vlastností obálky budovy je možné dosáhnout kombinací zmíněných opatření. Uvažována je kombinace všech výše uvedených opatření a kombinace pouze zateplení fasády a výměny oken, tedy opatření nejvýznamněji se podílejících se na tepelných ztrátách objektu. Po aplikaci všech opatření dosahuje úspora tepla na vytápění 77 % oproti stávajícímu stavu, roční tepelné ztráty jsou sníženy na 6,875 kW a průměrný součinitel prostupu tepla činí 0,26 W/m<sup>2</sup>K. Po zateplení fasády a výměně oken a dveří se potřeba tepla na vytápění sníží o 66 %, tepelné ztráty klesnou na 9,875 kW a průměrný součinitel prostupu tepla je redukován na 0,43 W/m<sup>2</sup>K.

Kdybychom brali v úvahu pouze energetické hledisko, nejlépe by dopadla kombinace všech opatření (*Graf 5*). Důležitou roli při rozhodování však hraje i ekonomická stránka věci, která je hodnocena v následující kapitole.

### 5.3.2 Ekonomické hodnocení

Stavební opatření již byla navrhována tak, aby bylo možné žádat o dotaci z programu Nová zelená úsporám – rodinné domy. Podpora v oblasti A – Snižování energetické náročnosti stávajících domů je poskytována mimo jiné pouze na opatření, která sníží potřebu tepla na vytápění o více jak 20 % oproti stavu před realizací opatření. Toto kritérium splňují ze samotných opatření pouze zateplení obvodových stěn a výměna oken a dveří.

Obě opatření dosahují dle Závazných pokynů pro žadatele a příjemce podpory [28] na výši podpory A.0. U obvodových stěn to znamená podporu v maximální výši 500 Kč/m<sup>2</sup> a u výměny oken a dveří 2 100 Kč/m<sup>2</sup>. Podpora dále nesmí přesáhnout 50 % způsobilých nákladů, což je u oken a dveří rozhodující kritérium. Na výměnu oken a dveří je v tomto případě možné získat dotaci 67 903 Kč a na zateplení obvodových stěn 132 766 Kč.

Při současném zateplení fasády a výměně oken a vstupních dveří není dosaženo parametrů pro vyšší dotaci na m<sup>2</sup> realizovaného opatření. Přestože je tak dosaženo 66% úspory tepla na vytápění oproti původnímu stavu, hodnota roční potřeby na vytápění je vyšší než 90 [kWh/m<sup>2</sup>] a průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy není snížen pod hodnotu 0,95 U<sub>em</sub> referenční budovy. Celková dotace tedy činí 206 098 Kč.

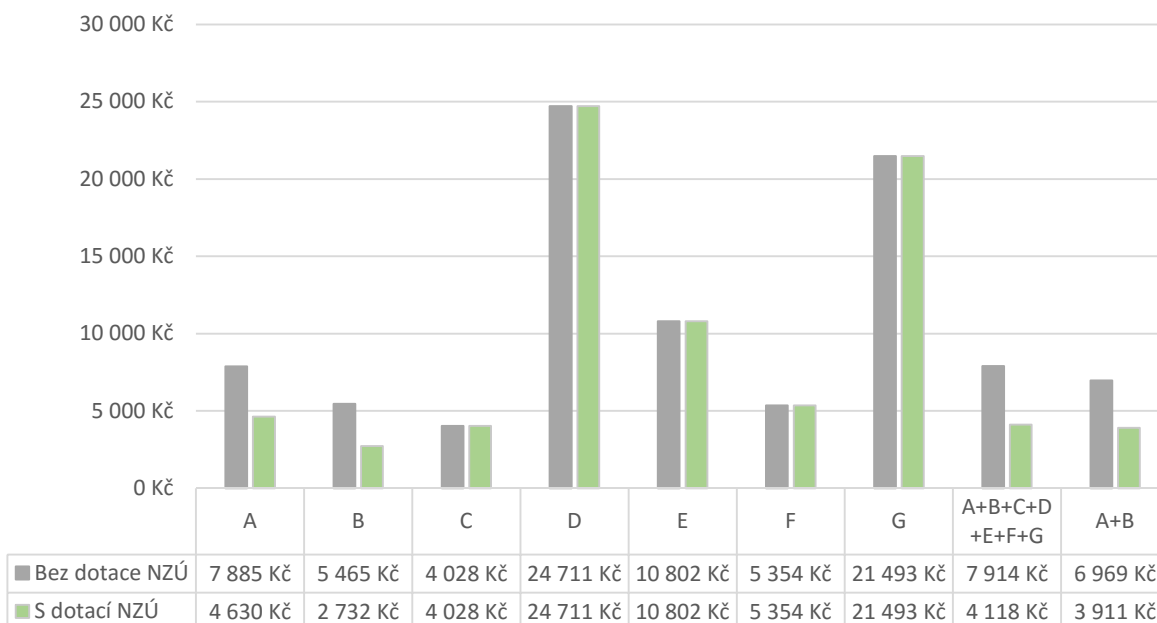
U kombinace všech vybraných stavebních opatření by mohlo být v případě instalace systému nuceného větrání se zpětným získáváním tepla dosaženo výše podpory A.3. Centrální systém by znamenal významný zásah do konstrukce domu, necentrální systém vyžaduje pořízení šesti lokálních rekuperačních jednotek (do každé obytné místnosti). Instalace systému větrání s rekuperací tedy uvažována není a je tak možné získat výši podpory A.2. Celková výše dotace činí 293 472 Kč.

Investiční náklady, výše dotace a roční náklady na vytápění u jednotlivých opatření jsou shrnuty v tabulce (*Tabulka 28*).

			Investiční náklady bez dotace [Kč]	Výše dotace [Kč]	Investiční náklady s dotací [Kč]	Roční náklady na vytápění [Kč]	Roční úspora na vytápění [Kč]
<b>stávající stav</b>			0	0	0	92 245	0
<b>A</b>	obvodové stěny	polystyren - EPS Greywall (Isover)	321 570	132 766	188 805	57 291	34 954
<b>B</b>	okna a dveře	plastová s trojsklem, dekor dřeva	135 806	67 903	67 903	70 811	21 434
<b>C</b>	střecha	minerální vata - UNIROLI (Isover)	7 501	0	7 501	90 651	1 594
<b>D</b>	podlaha 1.np (terén)	polystyren EPS Grey 100 (Isover)	68 167	0	68 167	89 873	2 372
<b>E</b>	podlaha 1.np (sklep)	polystyren - EPS 70F (Isover)	19 865	0	19 865	90 671	1 574
<b>F</b>	stěny podkroví	polystyren - EPS Greywall (Isover)	6 523	0	6 523	91 386	859
<b>G</b>	podlaha podkroví	polystyren - EPS Grey 100 (Isover)	52 374	0	52 374	90 160	2 085
<b>A+B+C+D+E+F+G</b>			611 806	293 472	318 335	25 971	66 274
<b>A+B</b>			457 376	200 669	256 708	35 990	56 255

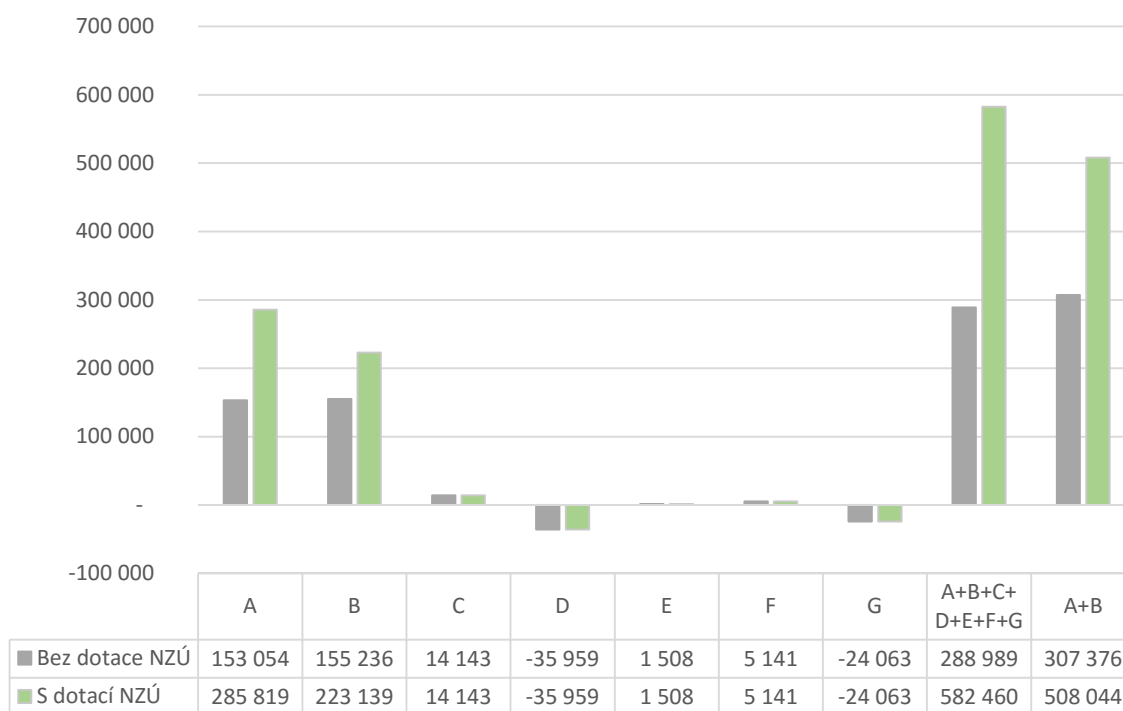
*Tabulka 28: Investiční náklady, výše dotace a roční úspora na vytápění dle opatření*

První ekonomické srovnání stavebních opatření bylo provedeno vztažením investičních nákladů na 1 % úspory tepla na vytápění (*Graf 6*). Cena za 1 % úspory tepla na vytápění říká, kolik finančních prostředků vydáme k dosažení stejné úspory tepla u jednotlivých opatření, nevypovídá ale o možném rozsahu aplikace opatření. Bez dotace v tomto kritériu dosahuje nejlepší hodnoty zateplení segmentu střechy, konkrétně 4 028 Kč/1 % úspory tepla na vytápění. Z grafu však nelze vyčíst, že aplikací tohoto opatření celkově dosáhneme pouze 2 % roční úspory tepla na vytápění. K dosažení úspory 1% na vytápění zateplením fasády zaplatíme bez dotace 7 885 Kč, potenciál zateplení je ale oproti zateplení segmentu střechy z důvodu větší plochy mnohem vyšší. Zateplením celé plochy obvodových stěn bude roční potřeba na vytápění o 41 % nižší než u stávajícího stavu. Po době návratnosti investice do opatření nám tedy může toto opatření ušetřit větší finanční prostředky za vytápění než zateplení segmentu střechy.



Graf 6: Cena za 1 % úspory tepla na vytápění dle opatření

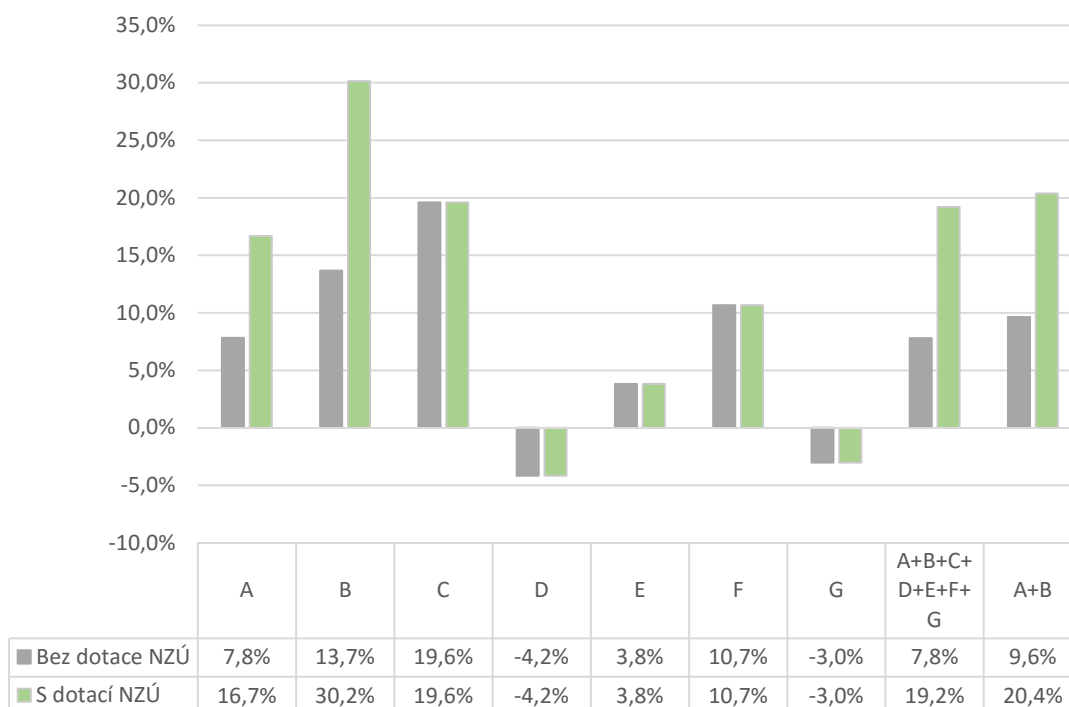
Do výpočtů dále použitých ekonomických hodnotících kritérií (NPV, IRR a DPP) vstupují výše investičních nákladů (potenciálně snížených o dotaci z programu NZÚ), úspora ročních nákladů na vytápění, životnost opatření, diskont a zvyšování cen energií. Životnost je u všech opatření uvažována 20 let, diskontní míra 3 % a zvyšování cen energií 2 %. Jako hlavní kritérium pro rozhodování slouží čistá současná hodnota, hodnoty IRR a DPP slouží jako kritéria pomocná.



Graf 7: NPV - čistá současná hodnota [Kč]



Při pohledu na graf s porovnáním čisté současné hodnoty (*Graf 7*) je patrné, že investice do zateplení podlahy na terénu a podlahy v podkroví se z ekonomického hlediska nevyplatí. NPV v těchto případech totiž nabývá záporných hodnot. Nejvyšší (tzn. nejlepší) NPV bez dotace NZÚ ze samostatných opatření dosahuje výměna oken a dveří, s dotací NZÚ pak zateplení fasády. Ještě lépe na tom jsou kombinace opatření, musí se však počítat s vyššími počátečními náklady na realizaci. Bez dotace se více vyplatí investovat pouze do opatření A+B, v případě čerpání dotace má vyšší současnou hodnotu kombinace všech stavebních energeticky úsporných opatření. U energeticky úsporných opatření nám čistá současná hodnota říká, kolik finančních prostředků za dobu životnosti s ohledem na vyšší investice, zdražování energií a diskontní míru ušetříme.

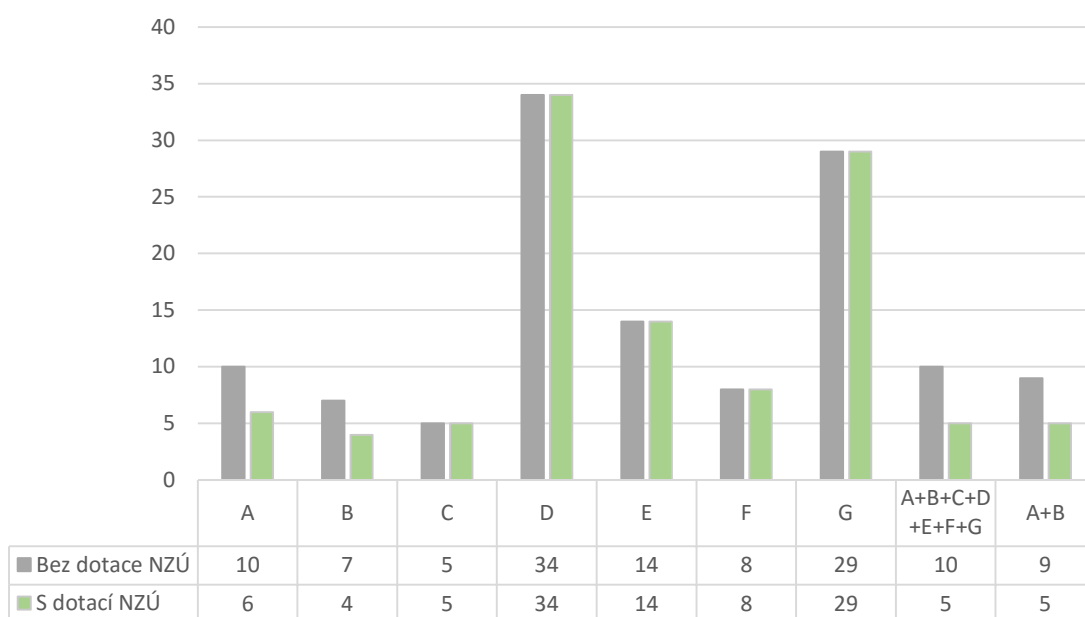


*Graf 8: IRR - vnitřní výnosové procento [%]*

Dalším porovnávaným kritériem je vnitřní výnosové procento (*Graf 8*). U zateplení podlahy na terénu a podlahy podkroví se nám potvrzuje výsledek předchozího kritéria. IRR taktéž vychází záporné, což znamená, že investice do těchto opatření se nevyplatí. Obecně lze říci, že hodnota IRR je přímo úměrná ceně za 1 % úspory tepla na vytápění. Opatření s nejnižší cenou za 1 % tepla na vytápění má nejvyšší vnitřní výnosové procento, naopak opatření s nejvyšší cenou za 1 % úspory tepla na vytápění má nejnižší IRR. Při rozhodování

na základě hodnot vnitřního výnosového procenta opět dochází k problému s absencí informace ohledně možné výše dosažených úspor u jednotlivých opatření.

Mimo zateplení podlahy na terénu a zateplení podlahy podkroví dosahují všechna opatření hodnot IRR vyšších než je uvažovaný diskont. Vnitřní výnosové procento zateplení podlahy nad sklepem je 3,8 %, všechna ostatní opatření mají IRR dokonce vyšší než 10 %, což je jasné doporučení ke kladnému rozhodnutí o investici. Investice do opatření se za dobu jeho životnosti nejen vrátí, ale vynese (ušetří na vytápění) ještě dalších X %.



Graf 9: DPP - diskontovaná doba návratnosti [let]

Posledním počítaným hodnotícím kritériem je diskontovaná doba návratnosti (Graf 9). Rozhodovací hranice je zde jasně určena - diskontovaná doba návratnosti by neměla přesáhnout dobu životnosti (20 let). DPP zateplení podlahy na terénu je 34 let a zateplení podlahy na půdě 29 let. Znovu potvrzený výsledek NPV a IRR, do těchto opatření je z ekonomického hlediska lepší neinvestovat. Ostatní opatření se za dobu životnosti vrátí. Bez dotace se nejrychleji, za 5 let, vrátí zateplení střechy. S dotací má nejnižší DPP výměna oken a dveří, investice se vrátí již za 4 roky.

Všechna vypočtená kritéria jasně říkají, že investovat do samotného zateplení podlahy na terénu a podlahy na půdě se z ekonomického hlediska nevyplatí. V případě rekonstrukce bez čerpání dotace z programů NZÚ bych je proto nedoporučila. Zateplením podlahy nad sklepem sice moc nezískáme, ale jeho IRR je stále větší než diskont, doba návratnosti 14 let a NPV kladné. Zateplení podlahy nad sklepem bych tedy doporučila, stejně jako zateplení

fasády, výměnu oken a dveří, zateplení segmentu střechy a zateplení stěn v podkroví. Bez finančních prostředků z NZÚ je tedy výsledkem doporučení kombinace opatření, která nebyla dopředu odhadována a nebyly u ní počítány energetické a ekonomické parametry. Těto kombinaci (A+B+C+E+F) se věnuje následující kapitola.

## 5.4 Zvolená metoda rekonstrukce (kombinace stavebních opatření)

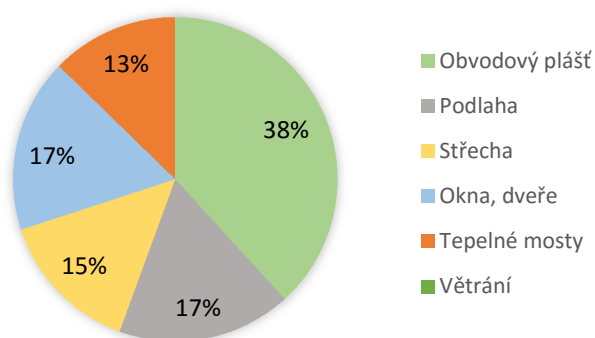
K rozhodnutí, zda bude doporučená kombinace stavebních energeticky úsporných opatření stejná i v případě čerpání dotace NZÚ, je nejprve potřeba vypočítat energetické a ekonomické parametry kombinace A+B+C+E+F. Z toho důvodu je tato kapitola rozdělena na zvolenou metodu rekonstrukce bez čerpání dotace NZÚ a s čerpáním dotace NZÚ.

### 5.4.1 Bez dotace NZÚ

Metoda rekonstrukce byla volena tak, aby byla všechna dílčí opatření výhodná dle ekonomických kritérií zmíněných v předchozí kapitole. Zvolená metoda rekonstrukce bez čerpání dotace z programu Nová zelená úsporám je kombinací následujících opatření (A+B+C+E+F), která měla ve své kategorii nejnižší klasifikační známku:

- A - Zateplení fasády polystyrenem EPS GreyWall (Isover)
- B - Výměna oken za plastová okna s trojsklem (dekorem dřeva) a výměna vstupních dveří za tepelně-izolační
- C - Zateplení segmentu střechy minerální vatou UNIROL (Isover)
- E - Zateplení stropu sklepa polystyrenem EPS 70F (Isover)
- F - Zateplení stěn podkroví polystyrenem EPS GreyWall (Isover)

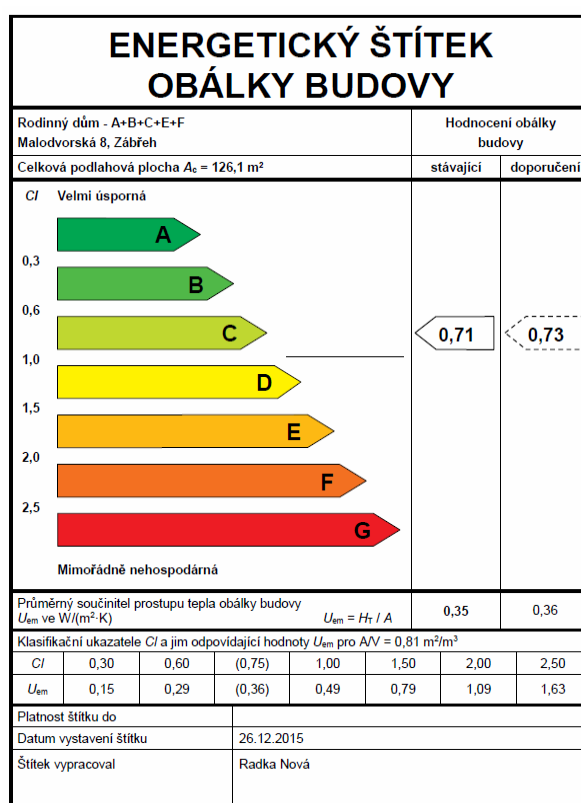
	<b>Tepelná ztráta [W]</b>
Obvodový plášť	2261
Podlaha	1027
Střecha	851
Okna, dveře	1025
Tepelné mosty	752
Větrání	2695
<b>Celkem</b>	<b>8611</b>



Graf 10: Tepelné ztráty – zvolená metoda rekonstrukce bez dotace NZÚ

Z grafu (*Graf 10*) je patrné, že tepelné ztráty jsou rozvrženy mezi jednotlivé konstrukce obálky budovy rovnoměrněji než u stávajícího stavu. I po zateplení uniká nejvíce tepla (38 %) obvodovým pláštěm. Ztráta ostatními konstrukcemi je téměř vyrovnaná (13 – 17 %). Roční potřeba energie na vytápění objektu činí 128,1 kWh/m<sup>2</sup>, což znamená úsporu 71% oproti původnímu stavu. Průměrný součinitel prostupu tepla  $U_{em}$  dosahuje hodnoty 0,35 W/m<sup>2</sup>K.

Na obrázku (*Obrázek 19*) je graficky zpracovaný energetický štítek obálky budovy. Po rekonstrukci rodinného domu zvolenou metodou obálka budovy dosahuje klasifikační třídy C1, vyhovuje tedy doporučené úrovni.



Obrázek 19: Energetický štítek - zvolená metoda rekonstrukce bez dotace NZÚ

Investiční náklady vybrané kombinace stavebních opatření činí 491 265 Kč. Ročně je na vytápění stávajícím plynovým kotlem uspořeno 60 478 Kč. Čistá současná hodnota zvolené metody rekonstrukce se rovná 329 938 Kč, což je nejvyšší hodnota hlavního rozhodovacího kritéria ze všech hodnocených opatření a jejich kombinací (*Tabulka 29*). Vnitřní výnosové procento dosahuje 9,6 % a s ohledem na růst cen a diskont se nám investice do rekonstrukce vrátí v podobě úspor nákladů na vytápění za 9 let. Tyto hodnoty potvrdily správnou volbu kombinace opatření A, B, C, E, F jako nejvhodnější metody rekonstrukce bez dotace NZÚ.

	Investiční náklady [Kč]	roční úspora nákladů [Kč]	DPP [let]	NPV 20 let [Kč]	IRR [%]
<b>A</b>	321 570	34 954	10	153 054	7,8
<b>B</b>	135 806	21 434	7	155 236	13,7
<b>C</b>	7 501	1 594	5	14 143	19,6
<b>D</b>	68 167	2 372	34	-35 959	-4,2
<b>E</b>	19 865	1 574	14	1 508	3,8
<b>F</b>	6 523	859	8	5 141	10,7
<b>G</b>	52 374	2 085	29	-24 063	-3,0
<b>A+B+C+D+E+F+G</b>	611 806	66 274	10	288 098	7,8
<b>A+B</b>	457 376	56 255	9	306 485	9,6
<b>A+B+C+E+F</b>	491 265	60 478	9	329 938	9,6

Tabulka 29: DPP, NPV, IRR dle opatření bez dotace NZÚ

#### 5.4.2 S dotací NZÚ

Pro úplnost porovnání investic do opatření s čerpáním dotace z programu NZÚ chybí zjistit výši dotace pro kombinaci opatření A+B+C+E+F (tedy pro nejvhodnější metodu rekonstrukce v případě nečerpání dotace). Průměrný součinitel prostupu je v tomto případě v rozmezí 0,85 a 0,95  $U_{em,R}$  a roční potřeba tepla na vytápění je snížena o 77 % oproti stavu před realizací opatření. Dosaženo je tedy podoblasti podpory A.1, což v součtu znamená dotaci ve výši 214 596 Kč. Investiční náklady jsou tak sníženy na 276 669 Kč. *Tabulka 30* shrnuje hodnoty diskontované doby návratnosti, čisté současné hodnoty a vnitřního výnosového procenta opatření a jejich kombinací v případě snížení investičních nákladů o získanou dotaci. Na samotná opatření s šedou barvou písma a kurzívou není možné získat dotaci z důvodu snížení roční potřeby tepla na vytápění o méně než 20 % a hodnoty jsou tak shodné s tabulkou z předchozí kapitoly (*Tabulka 29*).

Nejvyšší čisté současné hodnoty (582 460 Kč) dosahuje kombinace všech uvažovaných opatření. Jiný výsledek, než je tomu v případě nečerpání dotace NZÚ, je zapříčiněn o třídu vyšší dotací na  $m^2$  opatření díky výrazně lepšímu průměrnému součiniteli prostupu tepla obálky budovy. Vnitřní výnosové procento dosahuje 19,2 % a investice do rekonstrukce se nám s ohledem na růst cen a diskont vrátí v podobě úspor nákladů na vytápění již za 5 let.

Doporučená metoda rekonstrukce v případě čerpání dotace z programu Nová zelená úsporám je kombinací stavebních opatření prováděných na všech konstrukcích obálky budovy (A+B+C+D+E+F+G), která měla ve své kategorii nejnižší klasifikační známku:

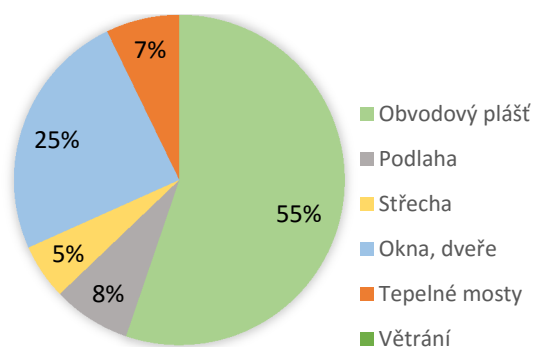
- A - Zateplení fasády polystyrenem EPS GreyWall (Isover)
- B - Výměna oken za plastová okna s trojsklem (dekorem dřeva) a výměna vstupních dveří za tepelně-izolační
- C - Zateplení segmentu střechy minerální vatou UNIROL (Isover)
- D - Zateplení podlahy na terénu polystyrenem EPS Grey 100 (Isover)
- E - Zateplení stropu sklepa polystyrenem EPS 70F (Isover)
- F - Zateplení stěn podkroví polystyrenem EPS GreyWall (Isover)
- G - Zateplení podlahy v podkroví polystyrenem EPS Grey 100 (Isover)

	Investiční náklady snížené o dotaci [Kč]	roční úspora nákladů [Kč]	DPP [let]	NPV 20 let [Kč]	IRR [%]
<b>A</b>	188 805	34 954	6	285 819	16,7%
<b>B</b>	67 903	21 434	4	223 139	30,2%
<b>C</b>	7 501	1 594	5	14 143	19,6%
<b>D</b>	68 167	2 372	34	-35 959	-4,2%
<b>E</b>	19 865	1 574	14	1 508	3,8%
<b>F</b>	6 523	859	8	5 141	10,7%
<b>G</b>	52 374	2 085	29	-24 063	-3,0%
<b>A+B+C+D+E+F+G</b>	<b>317 444</b>	<b>66 274</b>	<b>5</b>	<b>582 460</b>	<b>19,2%</b>
<b>A+B</b>	255 817	56 255	5	508 044	20,4%
<b>A+B+C+E+F</b>	276 669	60 478	5	544 534	20,2%

Tabulka 30: DPP, NPV, IRR dle opatření s dotací NZÚ

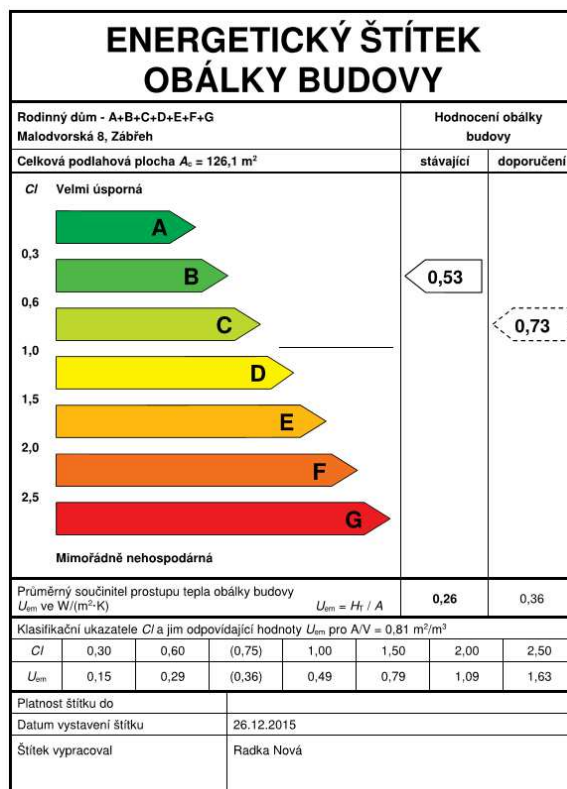
Rozvržení tepelných ztrát prostupem mezi jednotlivé konstrukce obálky budovy (Graf 11) je téměř stejné jako před rekonstrukcí, celková tepelná ztráta je ale téměř 4x menší.

	Tepelná ztráta [W]
Obvodový plášť	2309
Podlaha	319
Střecha	227
Okna, dveře	1025
Tepelné mosty	301
Větrání	2695
<b>Celkem</b>	<b>6876</b>



Graf 11: Tepelné ztráty – zvolená metoda rekonstrukce s dotací NZÚ

Největší podíl tepla uniká obvodovými stěnami z důvodu jejich největší plochy, k druhé největší ztrátě dochází okny a dveřmi, jelikož výplně otvorů nedosahují z tepelně-izolačního hlediska takových kvalit.



Obrázek 20: Energetický štítek - zvolená metoda rekonstrukce s dotací NZÚ

Na obrázku (Obrázek 20) je graficky zpracovaný energetický štítek obálky budovy. Po rekonstrukci rodinného domu zvolenou metodou s dotací NZÚ dosahuje obálka budovy klasifikační třídy B - úsporná.

## 6 Shrnutí práce

Práce byla rozdělena na tři hlavních části – teoretickou část vysvětlující problematiku energeticky úsporných opatření, část popisující navrženou metodiku výběru nejvhodnějšího způsobu rekonstrukce obálky stávajících rodinných domů a příklad aplikace navržené metodiky na konkrétním stavebním objektu.

Kapitola Energeticky úsporná opatření vysvětluje motivaci vlastníků rodinných domů ke snižování energetické náročnosti objektů a popisuje možná opatření k dosažení úspor za platby energií. K pochopení navržené metodiky uvádím principy výpočtů z tepelné techniky potřebných ke zhodnocení aktuálního i navrženého stavu a dále možné způsoby ekonomického hodnocení energeticky úsporných opatření. V závěru kapitoly popisují programy poskytující dotaci vlastníků nebo stavebníkům rodinných domů, díky kterým je možné snížit investiční náklady energeticky úsporných opatření.

Metodika je navržena za účelem výběru ekonomicky nejvýhodnější metody rekonstrukce obálky budovy rodinného domu. Prvním krokem je zhodnocení stávajícího stavu budovy a jeho porovnání s referenční budovou. Dále jsou navržena a klasifikována stavební opatření jednotlivých konstrukcí obálky budovy s použitím běžně dostupných materiálů a technologií. Dle klasifikačního systému je určena nejvhodnější metoda rekonstrukce každé konstrukce obálky budovy. Následuje ekonomické zhodnocení, na základě čehož je určena nejvhodnější kombinace stavebních opatření pro variantu bez čerpání dotace a s čerpáním dotace z programu Nová zelená úsporám.

Navržená a popsaná metodika je aplikována na konkrétním příkladu stávajícího rodinného domu. Výsledkem je zjištění, že v případě nečerpání dotace z programu NZÚ se nevyplatí zateplení podlahy na terénu a podlahy v podkroví. Doporučena je tedy v tomto případě kombinace zateplení fasády, výměny oken, zateplení segmentu střechy, zateplení stropu sklepa a zateplení stěn v podkroví. Jmenovanou kombinací opatření je dosaženo 71% úspory tepla na vytápění a čistá současná hodnota činí 329 938 Kč V případě čerpání dotace z programu NZÚ se vyplatí aplikovat opatření na všechny konstrukce obálky budovy, tedy i zateplení podlahy na terénu a v podkroví. Při této kombinaci činí úspora tepla na vytápění 77 % a čistá současná hodnota je rovna 582 460 Kč.

V případě aplikace metodiky na jiný rodinný dům by doporučená kombinace opatření zněla pravděpodobně odlišně, a to například z důvodu různých tepelně-izolačních vlastností stávajících konstrukcí, jejich rozdílné ploše a jiných okrajových podmínek výpočtů.



## 7 Závěr

Na základě aplikace navržené metodiky na konkrétním příkladu bylo zjištěno, že doporučení nejvhodnější metody rekonstrukce se může lišit v závislosti na čerpání či nečerpání dotace. Kombinací i zdánlivě ekonomicky nevýhodných opatření lze totiž dosáhnout na vyšší úroveň podpory, což může vést ke zvýšení čisté současné hodnoty investice. Jako důležitý aspekt se prokázal možný rozsah aplikace daného opatření. Opatření s nejnižší cenou za 1 % úspory tepla na vytápění nemusí totiž přinést v konečném výsledku největší úsporu. Použitý klasifikační systém také ukázal, že použití polystyrenových tepelných izolací je téměř ve všech případech ekonomicky nejvýhodnějším řešením.

Navržená metodika vyžaduje velké množství složitých výpočtů, širšímu uplatnění by tak prospělo vyvinutí dedikovaného nástroje. Dále by mohla být navržená metodika rozšířena o hodnocení technologických opatření, tedy opatření v oblasti vytápění, větrání a ohřevu vody.

## 8 Seznam zdrojů

### KNIŽNÍ PUBLIKACE

[4] STEMPEL, Ulrich E. *Zateplení a rekonstrukce budov*. Praha : Grada Publishing, a.s., 2014. ISBN 978-80-247-4808-5.

[7] REMEŠ, Josef, a další. *Stavební příručka*. Praha : Grada Publishing, a.s., 2014. ISBN 978-80-247-5142-9.

[9] GABRIEL, Ingo, LADENER, Heinz a kol. *Od staré stavby k nízkoenergetickému a pasivnímu domu*. Ostrava : HEL, 2013. ISBN 978-80-86167-30-5.

[10] SDEČNÝ, Karel a MACHOLDA, František. *Úspory energie v domě*. Praha : Grada Publishing a.s., 2004. ISBN 80-247-0523-0.

[15] MURTINGER, Karel. *Úsporný rodinný dům*. Praha : Grada Publishing, a.s., 2013. ISBN 978-80-247-4559-6.

### LEGISLATIVA A TECHNICKÉ NORMY

[2] Směrnice 2002/91/ES o energetické náročnosti budov. *Evropský parlament*. 2002.

[3] Vyhláška č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov. *Ministerstvo průmyslu a obchodu*. 2013.

[5] Vyhláška č. 480/2012 Sb. o energetickém auditu a o energetickém posudku. *Ministerstvo průmyslu a obchodu*. 2012.

[6] ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky. *Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví*. 2011.

[16] Vyhláška 291/2001 Sb. o účinnosti užití energie při spotřebě tepla v budovách. *Ministerstvo průmyslu a obchodu*. 2002.

[19] ČSN 06 0320 Tepelné soustavy v budovách - Příprava teplé vody. *Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví*. 2006.

## ONLINE ZDROJE

[1] Study on the Energy Savings Potentials in EU Member States, Candidate Countries and EEA Countries. *European Commission*. [Online] [Citace: 18. říjen 2015.]

[https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2009\\_03\\_15\\_esd\\_efficiency\\_potentials\\_final\\_report.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2009_03_15_esd_efficiency_potentials_final_report.pdf).

[8] Hodnocení energetické náročnosti budov (ENB). *Národní kalkulační nástroj (NKN II)*.

[Online] [Citace: 21. říjen 2015.] <http://nkn.fsv.cvut.cz/>.

[11] Teorie, výpočty - Co je tepelná ztráta objektu a výpočet potřeby tepla na vytápění.

Revitalizace. *Revitalizace.com*. [Online] [Citace: 28. 10 2015.]

<http://www.revitalizace.com/teorie-vypocty/co-je-tepelna-ztrata-objektu-a-vypocet-potreby-tepla-na-vytapeni/>.

[12] Venkovní výpočtové teploty a otopná období dle lokalit. *TZB info*. [Online] [Citace:

25. říjen 2015.] <http://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/25-venkovni-vypoctove-teploty-a-otopna-obdobi-dle-lokalit>.

[13] Prostup tepla vícevrstvou konstrukcí a průběh teplot v konstrukci. *TZB info*. [Online]

[Citace: 25. říjen 2015.] <http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/140-prostup-tepla-vicestruvou-konstrukci-a-prubeh-teplot-v-konstrukci>.

[14] On-line kalkulačka úspor a dotací Zelená úsporám. *TZB info*. [Online] [Citace: 25.

říjen 2015.] <http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/128-on-line-kalkulacka-uspor-a-dotaci-zelena-usporam>.

[17] STANĚK, Kamil. Potřeba tepla na vytápění budovy. SPJ1 – Podklady pro cvičení .

*Katedra konstrukcí pozemních staveb, Fakulta stavební, ČVUT v Praze* [Online] [Citace:

26. říjen 2015.] [http://kps.fsv.cvut.cz/file\\_download.php?fid=1666](http://kps.fsv.cvut.cz/file_download.php?fid=1666)

[18] Potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé vody. *TZB info*. [Online] [Citace: 28. říjen

2015.] <http://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-potreba-tepla-pro-vytapeni-a-ohrev-teple-vody>.

- [20] TREUOVÁ, Lea. Roční potřeba tepla. Fakulta stavební Brno. *Fakulta stavební VUT v Brně*. [Online] [Citace: 8. listopad 2015.] [http://www.fce.vutbr.cz/TZB/treuova.1/ST51/2\\_bilance\\_tepla\\_theorie.pdf](http://www.fce.vutbr.cz/TZB/treuova.1/ST51/2_bilance_tepla_theorie.pdf).
- [21] Výpočet a grafické porovnání nákladů na vytápění, teplou vodu a elektrickou energii v budovách. *TZB info*. [Online] [Citace: 8. listopad 2015.] <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/138-porovnani-nakladu-na-vytapani-tzb-info>.
- [22] ZIKMUND, Martin. Když se řekne WACC aneb kolik musíme nejméně vydělat. *BusinessVize.cz*. [Online] [Citace: 4. listopad 2015.] <http://www.businessvize.cz/financi-analyza/kdyz-se-rekne-wacc-aneb-kolik-musite-nejmene-vydelat>.
- [23] CHADIM, Tomáš. Výpočtová pomůcka Ekonomická efektivnost investic (II). *TZB info*. [Online] [Citace: 4. listopad 2015.] <http://www.tzb-info.cz/2786-vypoctova-pomucka-ekonomicka-efektivnost-investic-ii>.
- [24] Finanční kalkulačtor pro hodnocení ekonomické efektivnosti investic. *TZB info*. [Online] [Citace: 4. listopad 2015.] <http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/110-financi-kalkulator-pro-hodnoceni-ekonomicke-efektivnosti-investic>.
- [25] Národní akční plán energetické účinnosti ČR. [Online]. *Ministerstvo průmyslu a obchodu*. [Citace: 29. říjen 2015.] <http://www.mpo.cz/dokument150542.html>.
- [26] 3. výzva pro rodinné domy . *Nová zelená úsporám*. [Online] [Citace: 31. říjen 2015.] <http://www.novazelenausporam.cz/zadatele-o-dotaci/rodinne-domy/3-vyzva-rodinne-domy/>.
- [27] Základní pravidla NZÚ pro 3. výzvu pro rodinné. *Nová zelená úsporám*. [Online] [Citace: 31. říjen 2015.] <http://www.novazelenausporam.cz/file/475/zakladni-pravidla-3-vyzvy.pdf>.
- [28] 3. výzva pro rodinné domy - závazné pokyny. *Nová Zelená Úsporám*. [Online] [Citace: 12. říjen 2015.] [http://www.novazelenausporam.cz/file/476/zavazne-pokyny-pro-zadatele-rd\\_3\\_vyzva.pdf](http://www.novazelenausporam.cz/file/476/zavazne-pokyny-pro-zadatele-rd_3_vyzva.pdf).

[29] Specifický cíl 2.1, Prioritní osy 2 - Základní pravidla. *Operační program Životní prostředí*. [Online] [Citace: 1. listopad 2015.] <http://www.opzp.cz/dokumenty/137-zakladni-pravidla-pro-kraje?verze=1>.

[30] Seznam prioritních měst a obcí – aglomerace se zhoršenou kvalitou ovzduší . *Operační program Životní prostředí*. [Online] [Citace: 1. listopad 2015.] <http://www.opzp.cz/o-programu/aktuality-a-tiskove-zpravy/mzp-zverejnilo-zakladni-podminky-pro-nove-kotlikove-dotace-a-vyhlasi-vyzvy-pro-kraje-na-vymenu-starych-kotlu-je-9-miliard>.

[31] Energetický štítek obálky budovy - interaktivní Word. *Kompletní řešení pro stavební fyziku - SVOBODA SOFTWARE*. [Online] [Citace: 26. prosinec 2015.] <http://kcad.cz/cz/ke-stazeni/energie/?do=download&id=18>.

## 9 Seznam obrázků

Obrázek 1: Průkaz energetické náročnosti budovy.....	10
Obrázek 2: Energetický štítek obálky budovy .....	13
Obrázek 3: Srovnání podílů různých konstrukcí na tepelné ztrátě domu .....	15
Obrázek 4: Přehled možností zateplení fasády .....	16
Obrázek 5: Skladby plochých střech .....	18
Obrázek 6: Tepelný most v místě krokve .....	18
Obrázek 7: Princip tepelného čerpadla země-voda.....	20
Obrázek 8: Schéma větrání s rekuperací s předehřevem v zemním výměníku .....	22
Obrázek 9: Schéma solárního ohřevu vody .....	23
Obrázek 10: Tepelný most tvořený železobetonovým stropem.....	27
Obrázek 11: Energetická bilance vytápění .....	30
Obrázek 12: Výpočetní nástroj pro výpočet potřeby tepla na vytápění a ohřev vody ....	32
Obrázek 13: Porovnání ročních nákladů na energie v domě).....	33
Obrázek 14: Vývoj dotačního programu (Nová) Zelená úsporám .....	38
Obrázek 15: Klasifikační systém .....	45
Obrázek 16: Pohled jižní a západní .....	47
Obrázek 17: Systémová hranice budovy (řez a půdorys podkroví).....	48
Obrázek 18: Energetický štítek - stávající a referenční .....	52
Obrázek 19: Energetický štítek - zvolená metoda rekonstrukce bez dotace NZÚ .....	71
Obrázek 20: Energetický štítek - zvolená metoda rekonstrukce s dotací NZÚ .....	74

## 10 Seznam tabulek

Tabulka 1: Požadavky na splnění ukazatele energetické náročnosti .....	10
Tabulka 2: Srovnání cen paliv .....	20
Tabulka 3: Hodnoty $R_{si}$ a $R_{se}$ závislé na směru tepelného toku.....	25
Tabulka 4: Požadované hodnoty součinitele protupu tepla .....	26
Tabulka 5: Měrná denní potřeba teplé vody v obytných domech.....	31
Tabulka 6: Opatření naplňující článek 7 směrnice 2012/27/EU.....	37
Tabulka 7: Požadované parametry v oblasti podpory A.....	40
Tabulka 8: Výše podpory v oblasti A .....	40
Tabulka 9: Výše podpory v oblastech C.1 a C.2 .....	41
Tabulka 10: Výše podpory v oblasti C.3 .....	42
Tabulka 11: Výše podpory v oblasti C.4 .....	42
Tabulka 12: Výše podpory u jednotlivých zdrojů tepla.....	43
Tabulka 13: Okrajové podmínky .....	48
Tabulka 14: Skladby konstrukcí obálky budovy .....	49
Tabulka 15: Parametry konstrukcí obálky budovy – stávající stav .....	50
Tabulka 16: Parametry konstrukcí obálky budovy – referenční stav .....	51
Tabulka 17: Zateplení obvodových stěn - parametry .....	53
Tabulka 18: Zateplení obvodových stěn - klasifikace .....	54
Tabulka 19: Zateplení segmentu střechy – parametry .....	55
Tabulka 20: Zateplení segmentu střechy - klasifikace.....	56
Tabulka 21: Zateplení stěn v podkroví - parametry.....	56
Tabulka 22: Zateplení stěn v podkroví - klasifikace.....	57
Tabulka 23: Zateplení podlahy podkroví – parametry.....	58
Tabulka 24: Zateplení podlahy podkroví - klasifikace .....	59
Tabulka 25: Zateplení podlah 1.NP – parametry .....	60
Tabulka 26: Zateplení podlahy 1.NP – klasifikace.....	61
Tabulka 27: Výměna oken – parametry.....	61
Tabulka 28: Výměna oken - klasifikace .....	62
Tabulka 29: Energetické parametry dle opatření.....	63
Tabulka 30: Investiční náklady, výše dotace a roční úspora na vytápění dle opatření...	66
Tabulka 32: DPP, NPV, IRR dle opatření bez dotace NZÚ .....	72
Tabulka 33: DPP, NPV, IRR dle opatření s dotací NZÚ.....	73

## Seznam grafů

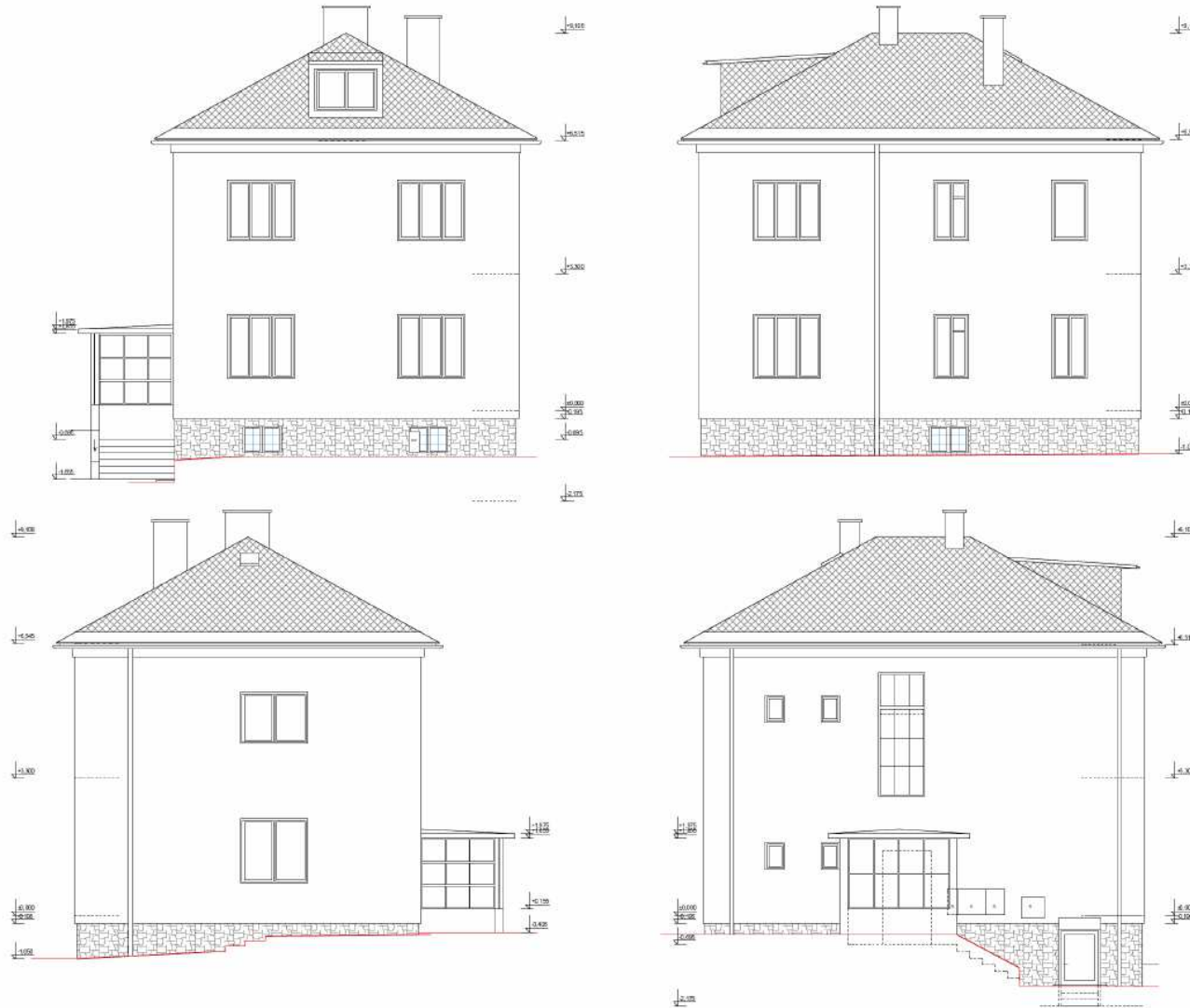
Graf 1: Vývoj spotřeby energie v domácnostech v ČR [PJ].....	8
Graf 2: Rozložení spotřeby energie v modelové domácnosti.....	8
Graf 3: Tepelné ztráty – stávající stav .....	50
Graf 4: Tepelné ztráty – referenční stav .....	51
Graf 5: Procentní úspora roční potřeby tepla na vytápění dle opatření .....	64
Graf 6: Cena za 1 % úspory tepla na vytápění dle opatření.....	67
Graf 7: NPV - čistá současná hodnota [Kč].....	67
Graf 8: IRR - vnitřní výnosové procento [%] .....	68
Graf 9: DPP - diskontovaná doba návratnosti [let].....	69
Graf 10: Tepelné ztráty – zvolená metoda rekonstrukce bez dotace NZÚ .....	70
Graf 11: Tepelné ztráty – zvolená metoda rekonstrukce s dotací NZÚ.....	73



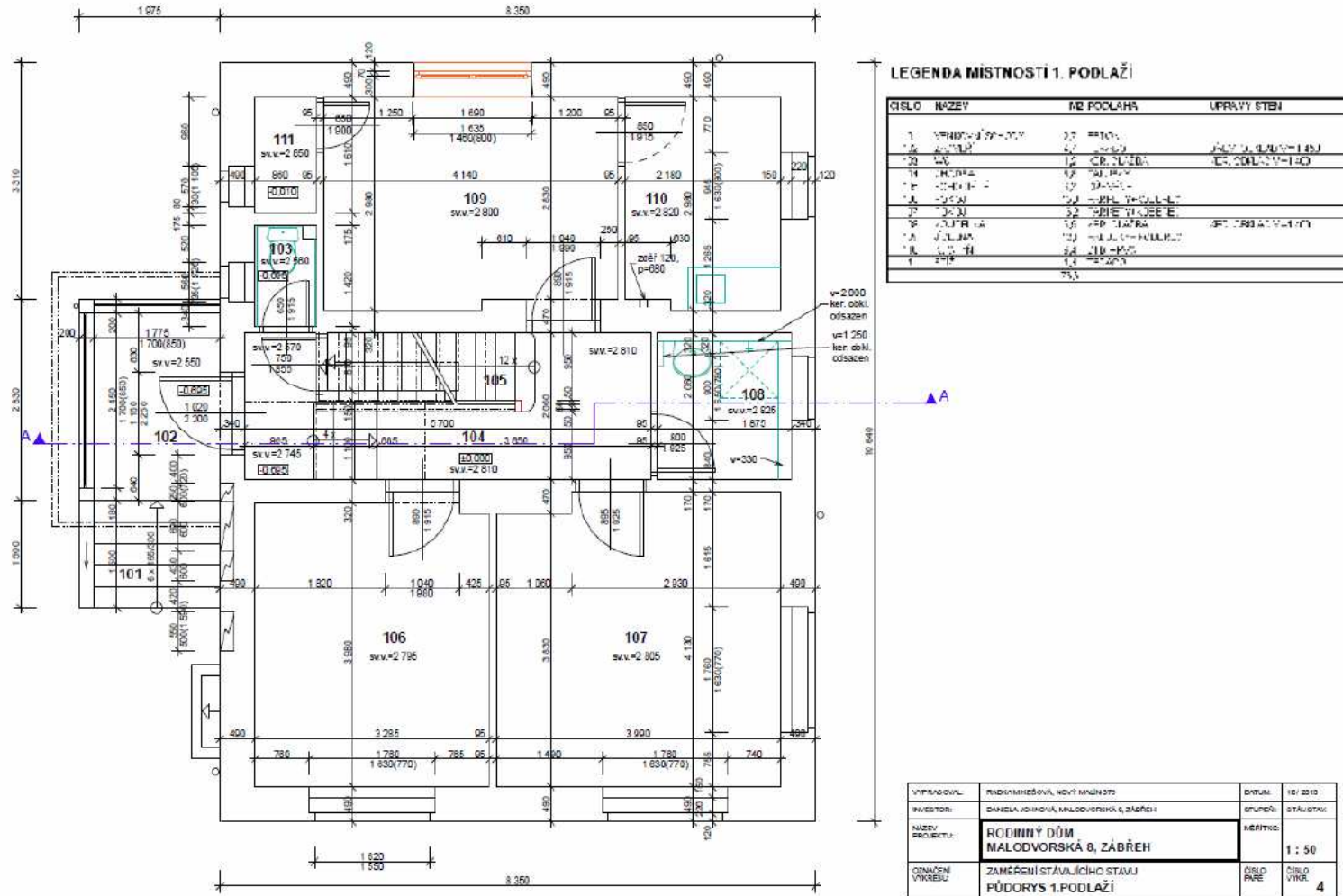
## 11 Seznam příloh

Příloha 1: Výkresová dokumentace RD - pohledy .....	85
Příloha 2: Výkresová dokumentace RD - půdorys 1.NP .....	86
Příloha 3: Výkresová dokumentace RD - půdorys 2.NP .....	87
Příloha 4: Výkresová dokumentace RD - půdorys podkroví.....	88
Příloha 5: Výkresová dokumentace RD - půdorys sklepa .....	89
Příloha 6: Výkresová dokumentace RD - řez A - A .....	90
Příloha 7: Výpočet součinitele prostupu tepla (obvodová stěna, stávající stav).....	91
Příloha 8: Tepelné ztráty, potřeba tepla na vytápění (stávající stav) .....	93
Příloha 9: Protokol a energetický štítek obálky budovy (stávající stav).....	95
Příloha 10: Výpočet nákladů na vytápění (stávající stav).....	98
Příloha 11: Kalkulace ceny zateplení (obvodové stěny, EPS Greywall).....	99

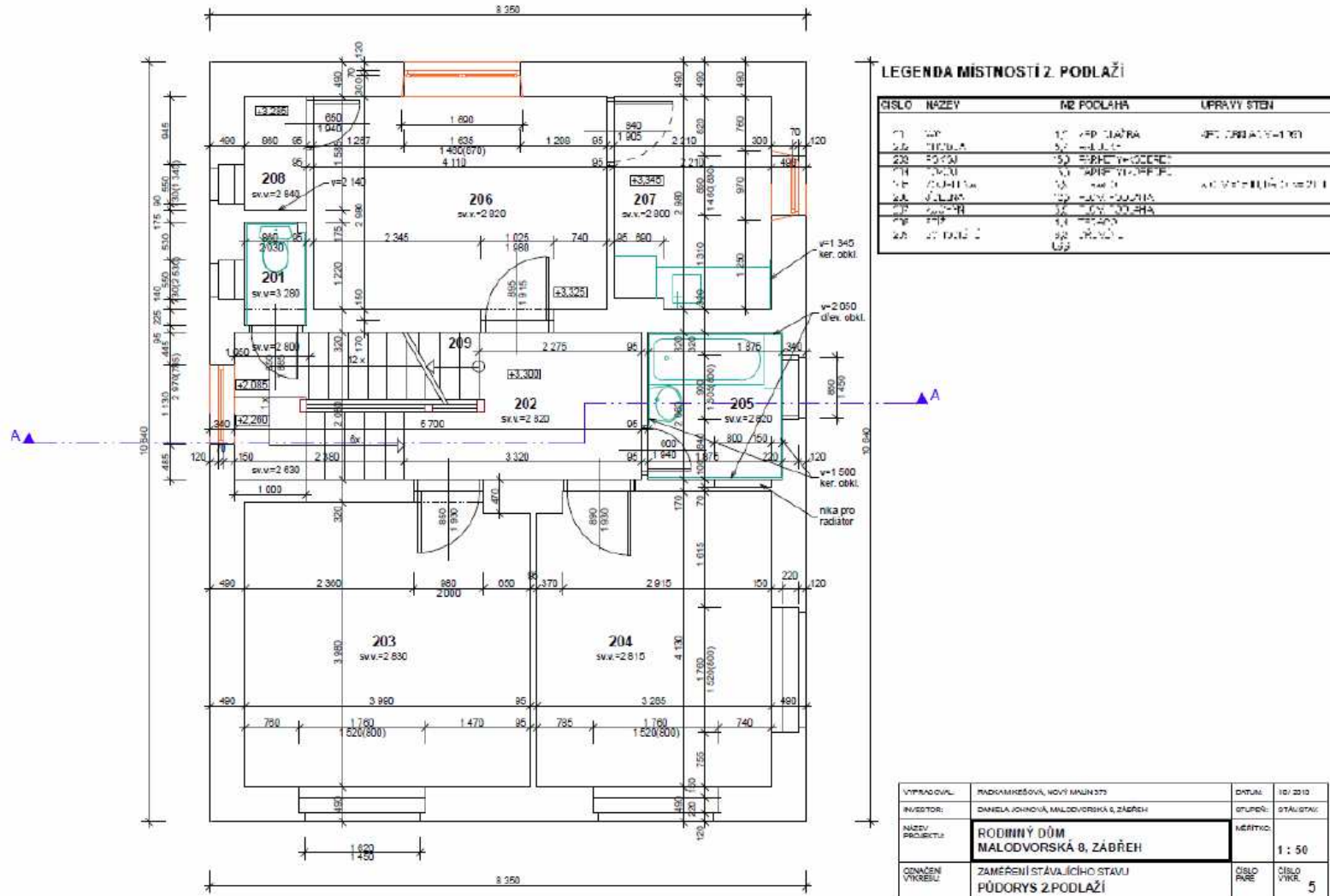
Příloha 1: Výkresová dokumentace RD - pohledy



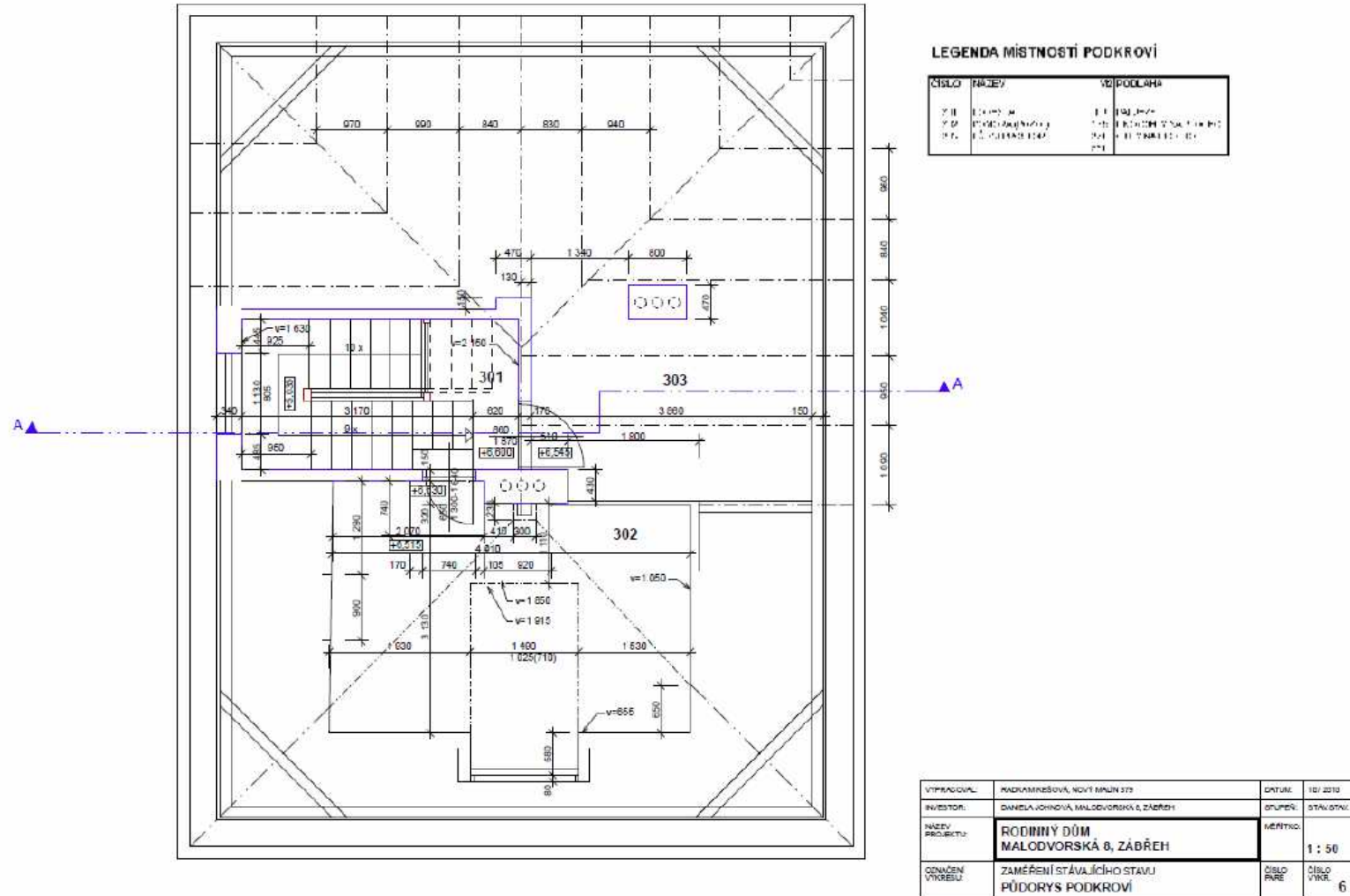
Příloha 2: Výkresová dokumentace RD - půdorys 1.NP



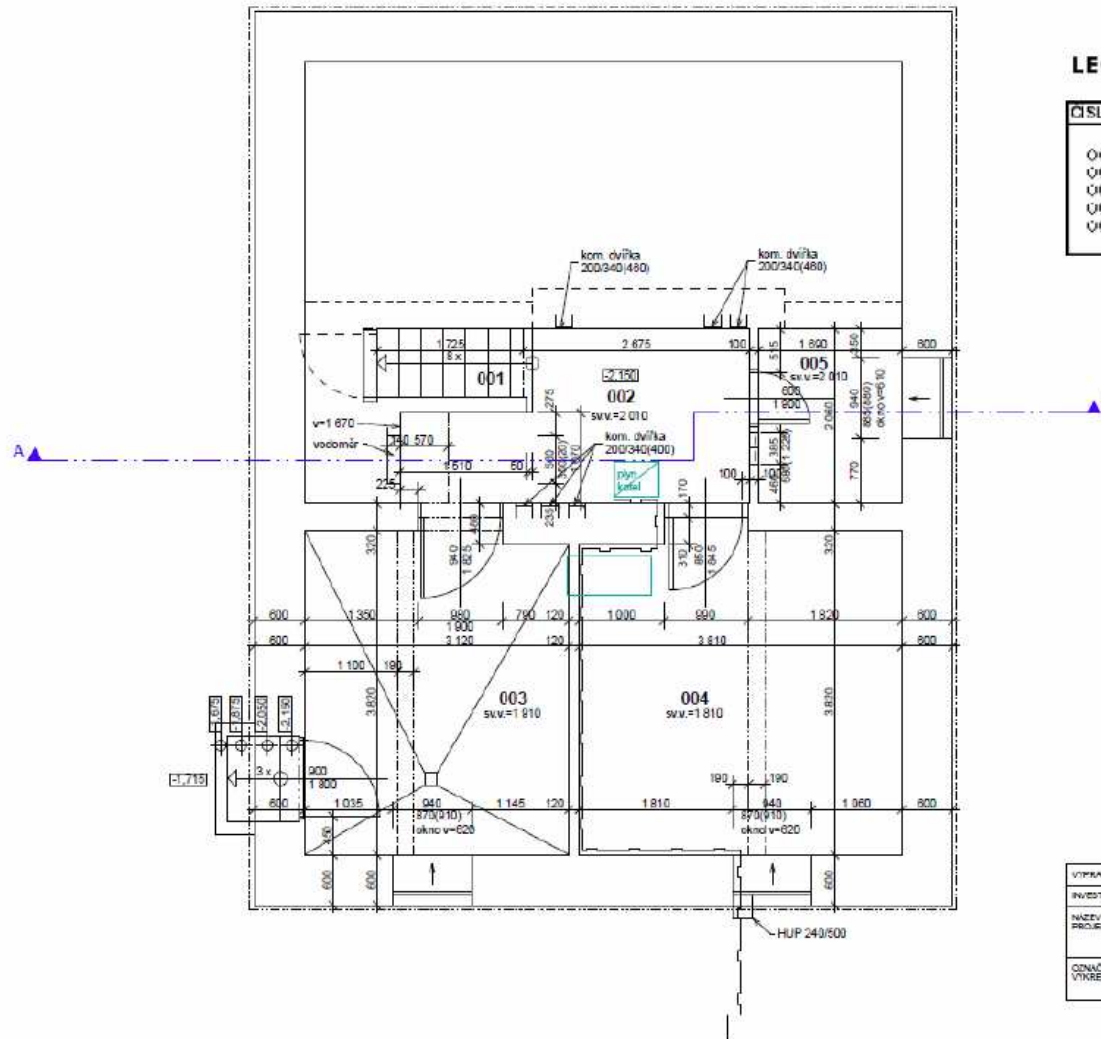
Příloha 3: Výkresová dokumentace RD - půdorys 2.NP



Příloha 4: Výkresová dokumentace RD - půdorys podkrovní



Příloha 5: Výkresová dokumentace RD - půdorys sklepa

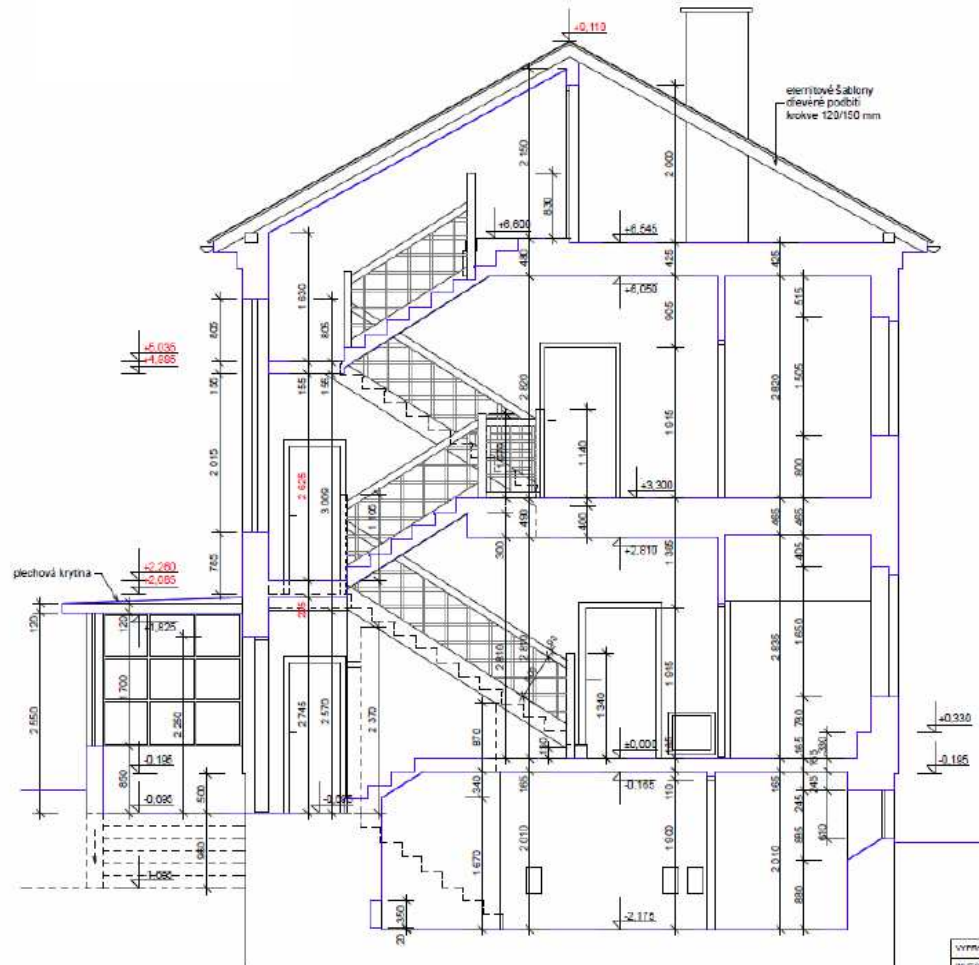


**LEGENDA MÍSTNOSTÍ SKLEPA**

ČÍSLO	NÁZEV	MZ PODLAHA
001	OC OC ĚTĚ	1,5 CCM FOTĚR
002	CI DOCA	0,9 CCM FOTĚR
003	PLA KOČÁRY	11,0 CCM FOTĚR
004	SKLIF	14,5 CCM FOTĚR
005	KVODRA	3,5 CCM FOTĚR OC,3

VYPRACOVAN:	MADRAMKREŠOVÁ, NOVÝ MĚLNÍK 373	DATA:	10/2010
INVESTOR:	DANIELA JIŘINOVÁ, MALODVORSKÁ 6, ZÁBŘEH	STUPEŇ:	STÁVAJÍCÍ
NÁZEV PROJEKTU:	<b>RODINNÝ DŮM MALODVORSKÁ 6, ZÁBŘEH</b>	MĚŘITVO:	1 : 50
ODNACENÍ VÝKRESU:	ZAMĚŘENÍ STÁVAJÍCÍHO STAVU PŮDORYS SKLEPA	ČÍSLO PÁRE:	ČÍSLO VÝKR. 3

Příloha 6: Výkresová dokumentace RD - řez A - A



VYPRACOVAN:	PADRA MIKŠŮVÁ, NOVÝ MALÝN 373	Datum:	16.12.2018
INVESTOR:	DMRBLAJOHOVÁ, MALODOVORSKÁ 8, ZÁBRĚH	STUPEŇ:	STAV.3.PL.
NÁZEV PROJEKTU:	<b>RODINNÝ DŮM MALODOVORSKÁ 8, ZÁBRĚH</b>	MĚRÍTKO:	<b>1:50</b>
ODKAZENÍ VÝKRESU:	ZÁMĚŘENÍ STÁVAJÍCÍHO STAVU REZ A - A	ČÍSLO KRES:	ČÍSLO VÝKRS: 7



## Příloha 7: Výpočet součinitele prostupu tepla (obvodová stěna, stávající stav)

### UMÍSTĚNÍ STAVBY

Podle obce Olomouc  
 Podle teplotní oblasti a nadmořské výšky — vybrat teplotní oblast — Nadm. výška  m n.m.  
 Návrhová teplota venkovního vzduchu v zimním období  $\theta_e$   °C

### PARAMETRY VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ

Obývací místnosti  
 Návrhová vnitřní teplota v zimním období  $\theta_i$   °C  
 Výpočtová teplota vnitřního vzduchu  $\theta_{ei}$   °C

### TYP KONSTRUKCE

stěna obvodová jednoplášťová konstrukce

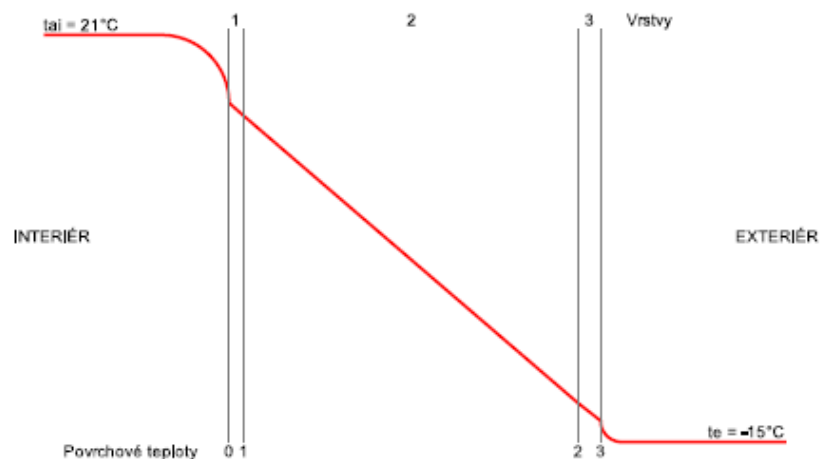
Tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce $R_{si}$						<input type="text" value="0.13"/> m <sup>2</sup> K/W	$\theta_0 = 14,64$ °C
$j$	Materiál	$d$ [m]	$\lambda_u$ [W/mK]	$R_j$ [m <sup>2</sup> K/W]	$\theta_j$ [°C]		
1	<input checked="" type="checkbox"/> Omítka vápenná	<input type="text" value="0,020"/>	<input type="text" value="0,87"/>	0,023	13,58	↓	
2	<input checked="" type="checkbox"/> Zdivo z plných pálených cihel CP	<input type="text" value="0,440"/>	<input type="text" value="0,80"/>	0,55	-11,64	↑ ↓	
3	<input checked="" type="checkbox"/> Břizolit	<input type="text" value="0,030"/>	<input type="text" value="0,90"/>	0,033	-13,17	↑ ↓	
4	<input type="checkbox"/>	<input type="text" value="0,015"/>	<input type="text" value="0,1"/>	-	-	↑	
Tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce $R_{se}$						<input type="text" value="0.04"/> m <sup>2</sup> K/W	$\theta_e = -15$ °C

[Přidat vrstvu konstrukce](#)

Celková tloušťka konstrukce  $d = 0,49$  m

Tepelný odpor konstrukce  $R = 0,61$  m<sup>2</sup>K/W

### Graf průběhu teplot v konstrukci





## ÚDAJE O STAVBĚ

Stavba	Diplomová práce	Zpracovatel	Radka Nová
Adresa		Firma	
Posuzovaná konstrukce	Obvodové zdivo patra	Datum	

## VYHODNOCENÍ KONSTRUKCE

**Součinitel prostupu tepla  
konstrukce**

$$U = 1.29 \text{ W/m}^2\text{K}$$

**Odpor při prostupu tepla  
konstrukce**

$$R_T = 0.78 \text{ m}^2\text{K/W}$$

dle ČSN 73 0540-4 a ČSN EN ISO 6946

## POROVNÁNÍ S POŽADAVKY ČSN 73 0540-2:2011

Posuzovaná konstrukce

Převažující návrhová vnitřní teplota většiny prostorů v objektu  $\theta_{im}$   °C

**Součinitel prostupu tepla konstrukce  $U = 1.29 \text{ W/m}^2\text{K}$  NEVYHOVUJE  
požadované hodnotě  $U_N = 0.3 \text{ W/m}^2\text{K}$  dle ČSN 73 0540-2:2011**

Požadovaná hodnota

$$U_{N,20}$$

0,30 W/m<sup>2</sup>K

Doporučená hodnota

$$U_{rec,20}$$

0,25 W/m<sup>2</sup>K

Doporučená hodnota  
pro pasivní budovy

$$U_{pas,20}$$

0,18 až 0,12 W/m<sup>2</sup>K

## Příloha 8: Tepelné ztráty, potřeba tepla na vytápění (stávající stav)

### LOKALITA / UMÍSTĚNÍ OBJEKTU

Město / obec / lokalita	Olomouc ▼ ?
Venkovní návrhová teplota v zimním období $\theta_{e}$	-15 °C
Délka otopného období $d$	221 dní
Průměrná venkovní teplota v otopném období $\theta_{em}$	8,4 °C

### CHARAKTERISTIKA OBJEKTU

Převažující vnitřní teplota v otopném období $\theta_{in}$ obvyklá teplota v interiéru se uvažuje 20 °C	20 °C
Objem budovy $V'$ vnější objem vytápěné zóny budovy, nezahrnuje nevytápěné podkrovní, garáž, sklepy, lodžie, římsy, ašky a základy	533,064 m <sup>3</sup>
Celková plocha $A$ součet vnějších ploch ochlazovaných konstrukcí ohraničujících objem budovy (automaticky, z nůž zadaných konstrukcí)	429,5309 m <sup>2</sup>
Celková podlahová plocha $A_f$ podlahová plocha všech podlaží budovy vymezená vnitřním lícem obvodových stěn (bez neobyvatelných sklepů a oddělených nevytápěných prostor)	126,142 m <sup>2</sup>
Objemový faktor tvaru budovy $A / V'$	0,81 m <sup>-1</sup>
Trvalý tepelný zisk $H_+$ obvyklý tepelný zisk zahrnuje teplo od spotřebičů (cca 100 W/byt), teplo od lidí (70 W/os.) apod.	380 W
Solární tepelné zisky $H_{s+}$	1439 kWh / rok
<input checked="" type="radio"/> Použít velice přibližný výpočet dle vyhlášky č. 291/2001 Sb. <input type="radio"/> Zadat vlastní hodnotu vypočtenou ve specializovaném programu	

### OCHLAZOVANÉ KONSTRUKCE OBJEKTU / ZATEPLENÍ, VÝMĚNA OKEN

Konstrukce	Součinitel prostupu tepla před zateplením $U_i$ [W/m <sup>2</sup> K]	Tloušťka zateplení $d$ [mm] / nová okna $U_i$ [W/m <sup>2</sup> K]	Plocha $A_i$ [m <sup>2</sup> ]	Činitel teplotní redukce $b_i$ [-]		Měrná ztráta prostupem tepla $H_{Ti} = A_i \cdot U_i \cdot b_i$ [W/K]	
				Před úpravami	Po úpravách	Před úpravami	Po úpravách
Stěna 1	1,29		265,53	1,00	1,00	342,5	342,5
Stěna 2	2,15		7,82	0,49	0,49	8,2	8,2
Podlaha na terénu	1,71		29,22	0,49	0,49	24,5	24,5
Podlaha nad sklepem (sklep je celý pod terénem)				0,45	0,45	0	0
Podlaha nad sklepem (sklep částečně nad terénem)	1,4		27,19	0,49	0,49	18,7	18,7
Střecha	3,03		4,746	1,00	1,00	14,4	14,4
Strop pod půdou	0,8		60,105	0,49	0,49	23,6	23,6
Okna - typ 1	2,35		32,92	1,15	1,15	89	89
Okna - typ 2				1,15	1,15	0	0
Vstupní dveře	3,5		2	1,00	1,00	7	7
Jiná konstrukce - typ 1				1,00	1,00	0	0
Jiná konstrukce - typ 2				1,00	1,00	0	0

#### Nápověda

Normové hodnoty součinitele prostupu tepla  $U_{N,20}$  jednotlivých konstrukcí dle ČSN 73 0540-2:2007 Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky

Návrh součinitel zateplení a orientační hodnoty součinitele prostupu tepla konstrukce s vnějším tepelněizolačním kompozitním systémem

## LINEÁRNÍ TEPELNÉ MOSTY (KONKRÉTNÍ HODNOTY TEPELNÝCH MOSTŮ)

Před úpravami  ▼  
 Po úpravách  ▼

## VĚTRÁNÍ

Intenzita větrání s původními okny  $n_1$

obvyklá intenzita větrání u těsných staveb (novostaveb) je  $0.4 \text{ h}^{-1}$ , u netěsných staveb může být 1 i více

?   $\text{h}^{-1}$

Intenzita větrání s novými okny  $n_2$

obvyklá intenzita větrání u těsných staveb (novostaveb) je  $0.4 \text{ h}^{-1}$ , u netěsných staveb může být 1 i více

?   $\text{h}^{-1}$

Účinnost nově zabudovaného systému rekuperace tepla  $\eta_{\text{rek}}$

zadejte deklarovanou účinnost (ve výpočtu bude snížena o 10 %)

--- bez rekuperace --- ▼

## ROČNÍ POTŘEBA ENERGIE NA VYTÁPĚNÍ

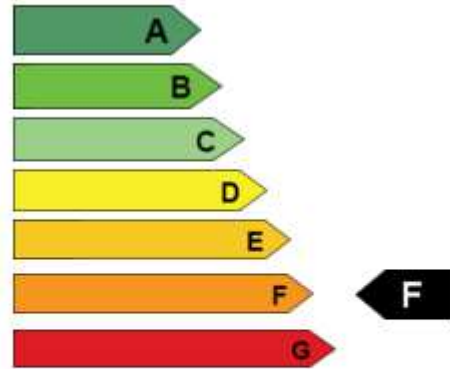
Stav objektu	Měrná potřeba energie
Před úpravami (před zateplením)	435 kWh/m <sup>2</sup>
Po úpravách (po zateplení)	435 kWh/m <sup>2</sup>

**ZELENÁ ÚSPORÁM - VÝŠE PODPORY PRO**  
**RODINNÉ DOMY** ▼

Úspora: 0%

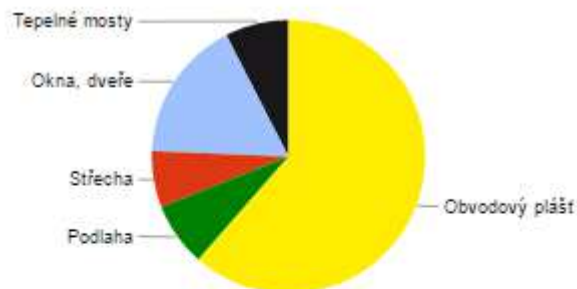
Nemáte nárok na dotaci. Zvolte účinnější zateplení.

## ENERGETICKÝ ŠTÍTEK OBÁLKY BUDOVY

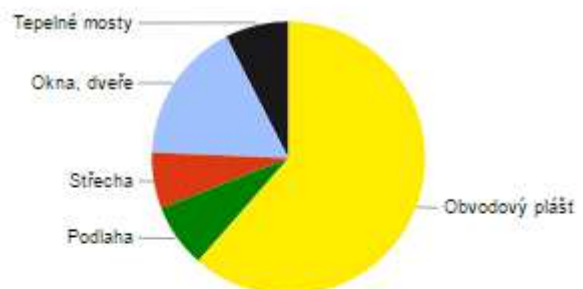


## STAVEBNĚ - TECHNICKÉ HODNOCENÍ

Tepelné ztráty jednotlivými konstrukcemi - před zateplením



Tepelné ztráty jednotlivými konstrukcemi - po zateplení



Typ konstrukce (větrání)	Tepelná ztráta [W]
Obvodový plášť	12277
Podlaha	1510
Střecha	1328
Okna, dveře	3359
Jiné konstrukce	0
Tepelné mosty	1503
Větrání	6737
--- Celkem ---	26714

Typ konstrukce (větrání)	Tepelná ztráta [W]
Obvodový plášť	12277
Podlaha	1510
Střecha	1328
Okna, dveře	3359
Jiné konstrukce	0
Tepelné mosty	1503
Větrání	6737
--- Celkem ---	26714

Příloha 9: Protokol a energetický štítek obálky budovy (stávající stav)

### Protokol k energetickému štítku obálky budovy

#### Identifikační údaje

Druh stavby	Rodinný dům
Adresa (místo, ulice, číslo, PSČ)	Malodvorská 8, Zábřeh
Katastrální území a katastrální číslo	, č.kat.
Provozovatel, popř. budoucí provozovatel	
Vlastník nebo společenství vlastníků, popř. stavebník	
Adresa	
Telefon / E-mail	/

#### Charakteristika budovy

Objem budovy $V$ - vnější objem vytápěné zóny budovy, nezahrnuje lodžie, římsy, atiky a základy	533,0 m <sup>3</sup>
Celková plocha $A$ - součet vnějších ploch ochlazovaných konstrukcí ohraničujících objem budovy	429,53 m <sup>2</sup>
Objemový faktor tvaru budovy $A / V$	0,81 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
Typ budovy	bytová
Poměrná plocha průsvitných výplní otvorů obvodového pláště $f_w$ (pro nebyt. budovy)	0,50
Převažující vnitřní teplota v otopném období $\theta_m$	20 °C
Venkovní návrhová teplota v zimním období $\theta_e$	-15 °C

#### Charakteristika energeticky významných údajů ochlazovaných konstrukcí

Ochlazovaná konstrukce	Plocha $A_i$ [m <sup>2</sup> ]	Součinitel (činitel) prostupu tepla $U_i$ ( $\sum \psi_{k,k} + \sum \chi_i$ ) [W/(m <sup>2</sup> ·K)]	Požadovaný (doporučený) součinitel prostupu tepla $U_{N,rq}$ ( $U_{N,rc}$ ) [W/(m <sup>2</sup> ·K)]	Činitel teplotní redukce $b_i$ [-]	Měrná ztráta konstrukce prostupem tepla $H_T = A_i \cdot U_i \cdot b_i$ [W/K]
Stěna obvodová	265,5	1,29	0,30 (0,25)	1,00	342,5
Stěny podkroví	7,8	2,15	0,30 (0,25)	0,49	8,2
Podlaha na terénu	29,2	1,71	0,45 (0,3)	0,49	24,5
Podlaha nad sklepem	27,1	1,40	0,60 (0,4)	0,49	18,6
Střecha	4,746	3,03	0,24 (0,16)	1,00	14,4
Podlaha podkroví	60,1	0,80	0,30 (0,20)	0,49	23,6
Okna	32,9	2,35	1,50 (1,20)	1,15	88,9
Dveře	2,0	3,50	1,70 (1,20)	1,15	8,1
			( )		
			( )		
<b>Celkem</b>	<b>429,3</b>				<b>528,8</b>

Konstrukce nesplňují požadavky na součinitele prostupu tepla podle CSN 73 0540-2.

### Stanovení prostupu tepla obálky budovy

Měrná ztráta prostupem tepla $H_T$	W/K	528,8
Průměrný součinitel prostupu tepla $U_{em} = H_T / A$	W/(m <sup>2</sup> ·K)	1,23
Doporučený součinitel prostupu tepla $U_{em,rc}$	W/(m <sup>2</sup> ·K)	0,38
Požadovaný součinitel prostupu tepla $U_{em,rq}$	W/(m <sup>2</sup> ·K)	0,49
Průměrný součinitel prostupu tepla stavebního fondu $U_{em,s}$	W/(m <sup>2</sup> ·K)	1,09

Požadavek na stavebně energetickou vlastnost budovy není splněn.

### Klasifikační třídy prostupu tepla obálky hodnocené budovy

Hranice klasifikačních tříd	Veličina	Jednotka	Hodnota
A – B	$0,3 \cdot U_{em,rq}$	W/(m <sup>2</sup> ·K)	0,15
B – C	$0,6 \cdot U_{em,rq}$	W/(m <sup>2</sup> ·K)	0,29
(C1 – C2)	$(0,75 \cdot U_{em,rq})$	(W/(m <sup>2</sup> ·K))	(0,36)
C – D	$U_{em,rq}$	W/(m <sup>2</sup> ·K)	0,49
D – E	$0,5 \cdot (U_{em,rq} + U_{em,s})$	W/(m <sup>2</sup> ·K)	0,79
E – F	$U_{em,s} = U_{em,rq} + 0,6$	W/(m <sup>2</sup> ·K)	1,09
F – G	$1,5 \cdot U_{em,s}$	W/(m <sup>2</sup> ·K)	1,63

Klasifikace: F - velmi nevhodná

Datum vystavení energetického štítku obálky budovy: 20.12.2015

Zpracovatel energetického štítku obálky budovy: Radka Nová

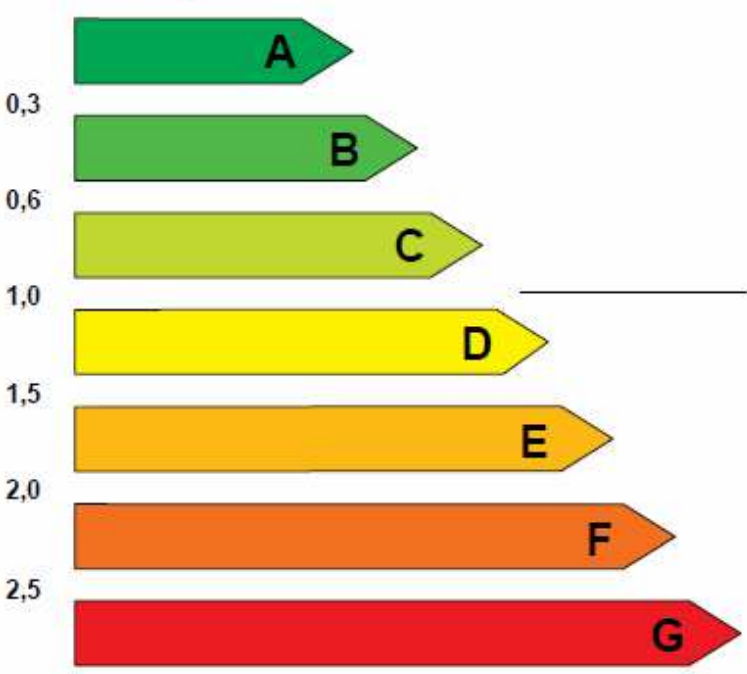
IČ:

Zpracoval: Radka Nová

Podpis: .....

Tento protokol a stavebně energetický štítek odpovídá směrnici 93/76/EWG z 13. září 1993, která byla vydána EU v rámci SAVE. Byl vypracován v souladu s ČSN 73 0540 a podle projektové dokumentace stavby dodané objednatelem.

# ENERGETICKÝ ŠTÍTEK OBÁLKY BUDOVY

Rodinný dům - stávající stav Malodvorská 8, Zábřeh		Hodnocení obálky budovy	
Celková podlahová plocha $A_c = 126,1 \text{ m}^2$		stávající	doporučení
<p><math>Cl</math> Velmi úsporná</p>  <p style="text-align: center;">Mimořádně neekonomická</p>		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">2,13</div>	
Průměrný součinitel prostupu tepla obálky budovy $U_{em}$ ve $W/(m^2 \cdot K)$		$U_{em} = H_T / A$	$1,23$
Klasifikační ukazatele $Cl$ a jim odpovídající hodnoty $U_{em}$ pro $AV = 0,81 \text{ m}^2/\text{m}^3$			
$Cl$	0,30	0,60	(0,75)
$U_{em}$	0,15	0,29	(0,36)
	1,00	1,50	2,00
	0,49	0,79	1,09
	2,50		1,63
Platnost štítku do			
Datum vystavení štítku	20.12.2015		
Štítek vypracoval	Radka Nová		



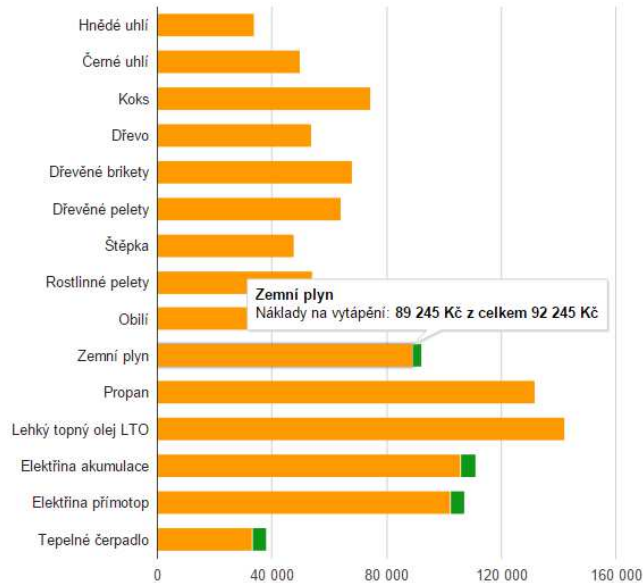
Příloha 10: Výpočet nákladů na vytápění (stávající stav)

**Lokalita domu - klimatická data**

Klimatická oblast	Olomouc
Venkovní výpočtová teplota $t_g$	-15 °C
Průměrná venkovní teplota $t_{es}$	3.4 °C
Délka otopného období $d$	221 dny

**Charakteristika domu a jeho využití**

Celková tepelná ztráta	26,714 kW
Typ provozu objektu	rodina s dětmi
Podlahová plocha $A_d$	126,142 m <sup>2</sup>
Objem budovy $V$	533,064 m <sup>3</sup>
Intenzita výměny vzduchu $n$	1 h <sup>-1</sup>



Palivo ? / zdroj tepla / účinnost	Cena paliva [Kč]	Spotřeba paliva [rok <sup>-1</sup> ]	Roční náklady [Kč] ?				
			Vytápění	Teplá voda	Elektro	Platby	Invesdice a údržba
Hnědé uhlí <input checked="" type="checkbox"/> Automatický kotel na uhlí ▼ 86 %	2.9 /kg	11 828 kg	33 720	0	0	0	33 720
Černé uhlí <input checked="" type="checkbox"/> Automatický kotel na uhlí ▼ 86 %	5.5 /kg	9 060 kg	49 832	0	0	0	49 832
Koks <input checked="" type="checkbox"/> Prohřívací kotel na koks s AKU nád ▼ 78 %	8.5 /kg	8 752 kg	74 394	0	0	0	74 394
Dřevo <input checked="" type="checkbox"/> Zplynovací kotel na dřevo ▼ 86 %	3.5 /kg	15 414 kg	53 950	0	0	0	53 950
Dřevěné brikety <input checked="" type="checkbox"/> Klasický kotel na dřevo s AKU nádrží ▼ 78 %	4.8 /kg	14 158 kg	67 959	0	0	0	67 959
Dřevěné pelety <input checked="" type="checkbox"/> Speciální kotel na pelety ▼ 92 %	5.4 /kg	11 880 kg	64 151	0	0	0	64 151
Štěpka <input checked="" type="checkbox"/> Kotel na štěpku ▼ 85 %	2.5 /kg	19 126 kg	47 816	0	0	0	47 816
Rostlinné pelety <input checked="" type="checkbox"/> Speciální kotel na rostlinné pelety ▼ 90 %	4.1 /kg	13 172 kg	54 004	0	0	0	54 004
Obilí <input checked="" type="checkbox"/> Automatický kotel univerzální ▼ 91 %	4.2 /kg	11 816 kg	49 626	0	0	0	49 626
Zemní plyn <input checked="" type="checkbox"/> Běžný plynový kotel ▼ 85 % RWE Energie, a.s.	1.25943 /kWh	8 717 m <sup>3</sup>	89 245	0	0	3 000	92 245
Propan <input checked="" type="checkbox"/> Kondenzační kotel ▼ 102 %	35 /kg	3 762 kg	131 678	0	0	0	131 678
Lehký topný olej LTO <input checked="" type="checkbox"/> Kotel s olejovým hořákem ▼ 93 %	28.7 /kg	4 955 kg	142 208	0	0	0	142 208
Elektrina akumulace <input checked="" type="checkbox"/> Teplovodní akumulační nádrže ▼ 95 % D26d ▼ jistič nad 3x32 A do 3x40 A včetně ▼	NT 1.83248 /kWh VT 3.15174 /kWh	57 723 kWh	105 776	0	0	5 436	111 212
Elektrina přímotop <input checked="" type="checkbox"/> Podlahové elektrické plochy ▼ 99 % D45d ▼ jistič nad 3x20 A do 3x25 A včetně ▼	NT 2.21332 /kWh VT 2.69647 /kWh	46 159 kWh	102 165	0	0	5 088	107 253
Tepelné čerpadlo <input checked="" type="checkbox"/> Země/voda ▼ Top. faktor: 4.3 D56d ▼ jistič nad 3x20 A do 3x25 A včetně ▼	NT 2.20516 /kWh VT 2.58394 /kWh	15 003 kWh	33 085	0	0	5 088	38 173

Příloha 11: Kalkulace ceny zateplení (obvodové stěny, EPS Greywall)

Č. p.	Typ	Kód	Popis	MJ	Množství	J. cena	Cena celkem	Hmotnost celkem	Suť celkem
	<b>D</b>	<b>62</b>	<b>Úprava povrchů vnější</b>				<b>293 485,59</b>	<b>3,582</b>	<b>0,000</b>
4	K	622211021	Montáž zateplení vnějších stěn z polystyrénových desek tl do 120 mm	m2	34,182	462,00	15 792,08	0,284	0,000
5	M	283760170	deska fasádní polystyrénová soklová EPS SOKL 3000 1250 x 600 x 100 mm	m2	34,866	390,00	13 597,74	0,122	
15	K	622211021	Montáž zateplení vnějších stěn z polystyrénových desek tl do 120 mm	m2	231,349	462,00	106 883,24	1,925	0,000
16	M	283760400	deska fasádní polystyrénová Isover EPS GreyWall 1000 x 500 x 120 mm	m2	235,976	307,00	72 444,63	0,425	
17	K	622212011	Montáž zateplení vnějšího ostění hl. špalety do 200 mm z polystyrénových desek tl do 80 mm	m	73,868	134,00	9 898,31	0,124	0,000
18	M	283760330	deska fasádní polystyrénová Isover EPS GreyWall 1000 x 500 x 50 mm	m2	11,802	128,00	1 510,66	0,009	
6	K	622252001	Montáž základacích soklových lišt zateplení	m	37,980	82,10	3 118,16	0,002	0,000
7	M	590516530	lišta soklová Al s okapničkou, základací U 16 cm, 0,95/200 cm	m	39,879	127,00	5 064,63	0,024	
8	K	622252002	Montáž ostatních lišt zateplení	m	97,150	47,10	4 575,77	0,024	0,000
9	M	590514700	lišta rohová Al 22 / 22 mm perforovaná	m	102,008	7,14	728,34	0,003	
10	K	622252002	Montáž ostatních lišt zateplení	m	70,350	47,10	3 313,49	0,018	0,000
11	M	590514750	profil okenní zateplovací s tkaninou - Thermospoj 6 mm/2,4 m	m	73,868	32,80	2 422,87	0,002	
3	K	622531011	Tenkovrstvá silikonová zrnitá omítka tl. 1,5 mm včetně penetrace vnějších stěn	m2	231,349	234,00	54 135,67	0,620	0,000
	<b>D</b>	<b>94</b>	<b>Lešení a stavební výtahy</b>				<b>27 192,74</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>
21	K	941111121	Montáž lešení řadového trubkového lehkého s podlahami zatížení do 200 kg/m2 š do 1,2 m v do 10 m	m2	304,510	48,20	14 677,38	0,000	0,000
22	K	941111221	Příplatek k lešení řadovému trubkovému lehkému s podlahami š 1,2 m v 10 m za první a ZKD den použití	m2	6 090,200	0,60	3 654,12	0,000	0,000
20	K	941111821	Demontáž lešení řadového trubkového lehkého s podlahami zatížení do 200 kg/m2 š do 1,2 m v do 10 m	m2	304,510	29,10	8 861,24	0,000	0,000
	<b>D</b>	<b>99</b>	<b>Přesun hmot</b>				<b>891,92</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>
14	K	998011002	Přesun hmot pro budovy zděné v do 12 m	t	3,582	249,00	891,92	0,000	0,000