

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA STAVEBNÍ**

**KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV**



**ENERGETICKÉ HODNOCENÍ BYTOVÉHO  
DOMU A OPTIMALIZACE ŘEŠENÍ**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**JAKUB ČERVINKA**

**Vedoucí bakalářské práce : doc. Ing. Michal Kabrhel, Ph.D.**

**2015/2016**



## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Červinka

Jméno: Jakub

Osobní číslo: 409648

Zadávací katedra: K125 Technická zařízení budov

Studijní program: Architektura a stavitelství

Studijní obor: Architektura a stavitelství

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Vytápění a energetické zhodnocení bytového domu

Název bakalářské práce anglicky: Heating system and energy evaluation of the residential building

Pokyny pro vypracování:

Projekt vytápění zadané budov a její energetické hodnocení. Projekt - Textová část - technická zpráva, výpočet tepelných ztrát, návrh otopných ploch, předběžný návrh dimenzí rozvodů, energetické výpočty a optimalizace řešení. Výkresová část - půdorysy, svislý řez, detail technické místnosti, funkční schéma.

Seznam doporučené literatury:

Kabele, Karel : TECHNICKÁ ZAŘÍZENÍ BUDOV. Vytápění. ČVUT. Praha 2014. ISBN 978-80-01-05203-7

ČSN EN 12831 Tepelné soustavy v budovách - Výpočet tepelného výkonu. ČNI 2005

ČSN EN 12828 Tepelné soustavy v budovách - Navrhování teplovodních otopných soustav. ČNI 2014.

Jméno vedoucího bakalářské práce: doc. Ing. Michal Kabrhel, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 1.3.2016

Termín odevzdání bakalářské práce: 20.5.2016

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.*

1.3.2016

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Prohlašuji, že jsem svoji bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a podkladů.

Praha 20. 5. 2016

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval doc. Ing. Michalu Kabrhelovi, Ph.D. za odborné vedení mé bakalářské práce.

# Obsah

ANOTACE.....	6
<b>1 ÚVOD .....</b>	<b>7</b>
1.1 Cíl práce.....	7
<b>2 ENERGETICKÁ NÁROČNOST BUDOV .....</b>	<b>8</b>
2.1 Průkaz energetické náročnosti .....	9
2.1.1 Nákladově-optimální úroveň.....	9
2.1.2 Budova s téměř nulovou spotřebou energie .....	10
2.2 Energetický audit.....	10
2.3 Energetický posudek.....	10
<b>3 ENERGETICKÉ ZHODNOCENÍ ZADANÉ BUDOVY .....</b>	<b>11</b>
3.1 Původní stav domu do roku 2015 .....	12
3.1.1 Energetické zhodnocení původního stavu.....	12
3.2 Navrhovaný stav v projektu rekonstrukce.....	13
3.2.1 Navržená energetická opatření .....	13
3.2.2 Energetické zhodnocení navrhovaného stavu.....	15
3.3 Porovnání s původním stavem.....	15
<b>4 OPTIMALIZACE ŘEŠENÍ .....</b>	<b>17</b>
4.1 Varianta 1 .....	17
4.1.1 Navržená energetická opatření .....	18
4.1.2 Energetické zhodnocení varianty 1.....	19
4.2 Varianta 2 .....	19
4.2.1 Navržená energetická opatření .....	19
4.2.2 Energetické zhodnocení varianty 2.....	20
4.3 Varianta 3 .....	21
4.3.1 Navržená energetická opatření .....	21
4.3.2 Energetické zhodnocení varianty 3.....	21
<b>5 VYHODNOCENÍ .....</b>	<b>22</b>
<b>6 ZÁVĚR.....</b>	<b>23</b>
Seznam použité literatury.....	24
Použitý software.....	25
Seznam obrázků.....	25
Seznam tabulek .....	25
Seznam příloh .....	25

## **Anotace**

Cílem této textové části bakalářské práce je energetické zhodnocení zadaného bytového domu a vypracování několika variant optimalizace projektového řešení. V závěru práce varianty porovnám a z různých hledisek zhodnotím.

## **Klíčová slova**

bytový dům, vytápění, energetické hodnocení, optimalizace

## **Abstract**

The aim of this text part of the bachelor's thesis is an energy evaluation of specified residential building and developing a several variants of project optimization. In conclusion, I will compare all variants and evaluate them from various angles of view.

## **Keywords**

residential building, heating system, energy evaluation, optimization

# 1 Úvod

V dnešní době se klade velký důraz na snižování energetické náročnosti budov. Evropská legislativa nás již několik let vede tímto směrem za účelem snížení spotřeby energie i emisí CO<sub>2</sub>. EU poskytuje členským zemím značné finance na podporu této myšlenky. Proto se i Česká Republika snaží motivovat investory, kteří mohou v rámci právě probíhajících dotačních programů získat finanční příspěvek na energetická opatření staveb či výměnu starých neekologických kotlů na tuhá paliva za nový, ekologicky šetrnější zdroj tepla.

V této práci se zaměřím na budovu pavlačového domu z poloviny 19. století, jenž může svým vysokým nárokem na spotřebu tepla jen stěží konkurovat současným trendům. Dům se nachází v pražské památkové zóně Karlín. Historické domy mají pro památkáře velkou cenu, a proto se snaží regulovat projekty rekonstrukcí, aby nedošlo k narušení dobového rázu domu, a to hlavně fasády do ulice, oken a hlavní římsy. Z toho důvodu většinou nemohou být tyto fasády zateplený z vnější strany a k dosažení úspor musí tedy dojít jiným způsobem.

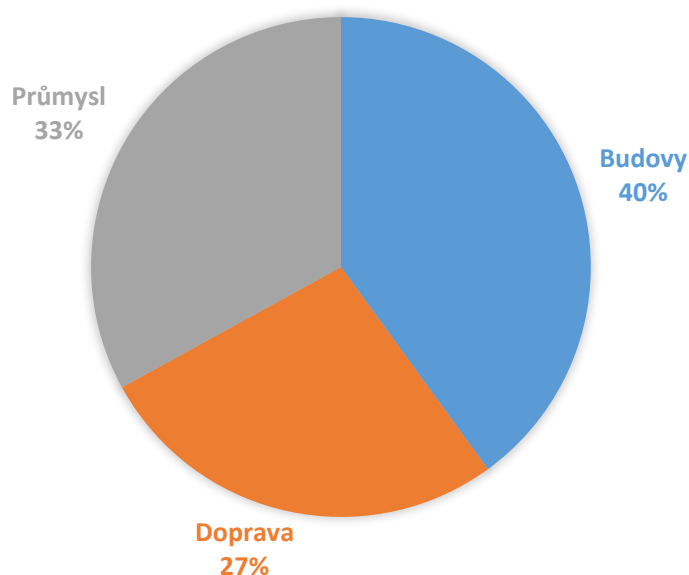
## 1.1 Cíl práce

Cílem textové části mé bakalářské práce je zhodnotit energetickou náročnost zadaného bytového domu. Vycházím z projektové dokumentace ke změně územního rozhodnutí a stavebního povolení z roku 2015, která řeší stavební úpravy objektu. Dále se pokusím ve třech modelových variantách optimalizovat toto řešení a v závěru tyto varianty z různých hledisek zhodnotím.

## 2 Energetická náročnost budov

Energetická náročnost budov je dnes velice aktuálním tématem. Tento pojem nám sděluje, jaké celkové množství energie je potřebné pro provoz budovy. Jedná se tedy hlavně o potřebu energie na vytápění, přípravu teplé vody, osvětlení, chlazení, úpravu vlhkosti vzduchu a větrání. Dále bych rád stručně vysvětlil, odkud se k nám tento pojem dostal.

Evropská Unie v roce 2002 vydala první směrnici o energetické náročnosti (Směrnice 2002/91/ES), avšak v roce 2010 byla nahrazena novou, a to zrevidovanou verzí pod názvem Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU, kde se v úvodu konstatuje, že podíl budov na celkové spotřebě energie v EU tvoří 40%. Na základě tohoto faktu se unie zavázala k dlouhodobému snižování energetické závislosti a snížení emisí skleníkových plynů o 20% do roku 2020 (ve srovnání s rokem 1990). Proto je vyvíjen tlak na implementaci obnovitelných zdrojů energie v budovách. Směrnice ve svém znění ukládá členským státům řadu povinností, např. vytvořit nástroj pro snižování energetické náročnosti budov či zavedení systému certifikace energetické náročnosti budov [1].



**Obr. 2.1 – Spotřeba energie v EU (Eurostat 2008) [2]**

V české legislativě byl obsah evropské směrnice doplněn do zákona č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií a následně do vyhlášky č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov, v němž však byl evropský výraz certifikát nahrazen slovem průkaz. V těchto právních předpisech jsou definovány požadavky na energetickou náročnost novostaveb a rekonstrukcí.



## 2.1 Průkaz energetické náročnosti

Průkaz energetické náročnosti (dále jen PENB) je dokument obsahující informace o energetické náročnosti budovy. Mezi ukazatele energetické náročnosti patří celková primární energie za rok, neobnovitelná primární energie za rok, celková dodaná energie za rok, dílčí dodané energie pro technické systémy vytápění, větrání, úpravu vlhkosti vzduchu, přípravu teplé vody a osvětlení za rok, průměrný součinitel prostupu tepla, součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí na systémové hranici a účinnost technických systémů. Na základě těchto vypočtených parametrů a jejich porovnání s referenční budovou, tedy budovou stejně velkou, tvarovanou, umístěnou, zastíněnou, se stejným vnitřním uspořádáním, se stejnými klimatickými údaji jako pro hodnocenou budovu, ale s referenčními vlastnostmi konstrukcí a technických systémů, průkaz zatřídí budovu podle stupnice známek A – G [3].

Vypracování PENB je povinné od 1. 4. 2013, kdy Vyhláška o energetické náročnosti budov č. 78/2013 Sb., nabyla účinnosti, pro veškeré novostavby, při renovaci více než 25% obálky dokončené budovy a při prodeji či nového pronájmu domu. Vyhláška definuje nové pojmy jako "nákladově-optimální úroveň požadavků na energetickou náročnost" a "budova s téměř nulovou spotřebou energie"

### 2.1.1 Nákladově-optimální úroveň

Novostavby a renovované budovy dnes musí plnit požadavky na energetickou náročnost, kdy musí splnit tzv. nákladově-optimální úroveň. Tato úroveň je splněna, pokud vybrané ukazatele energetické náročnosti hodnocené budovy nejsou vyšší než hodnoty ukazatelů pro referenční budovu.

Nových budov a budov s téměř nulovou spotřebou energie se týkají tři kritéria, která musí splnit, a to neobnovitelnou primární energii za rok, celkovou dodanou energii za rok a průměrný součinitel prostupu tepla. Renovované budovy mají více možností. Buď budova splní požadavek na neobnovitelnou primární energii za rok a zároveň průměrný součinitel prostupu tepla, nebo celkovou primární energii za rok a zároveň průměrný součinitel prostupu tepla, nebo dílčí součinitele prostupu tepla měněných konstrukcí a zároveň účinnost technických systémů.

Splnění požadavků se nevztahuje např. na budovy menší než 50m<sup>2</sup>, stavby pro rodinnou rekreaci, kulturní památky a budovy v památkové rezervaci nebo zóně, pokud by mělo splnění některých požadavků výrazně změnit charakter budovy (platí pro zadaný bytový dům této práce) a pro další výjimky. [4]

### **2.1.2 Budova s téměř nulovou spotřebou energie**

V případě budovy s téměř nulovou spotřebou energie hovoříme o objektu s velmi nízkou energetickou náročností, jehož spotřebu energie pokrývají ve velké míře obnovitelné zdroje. Veškeré novostavby rodinných domů budou muset splňovat tento standard od roku 2020 podle zákona o hospodaření energií (č. 406/2000 Sb.). Dále se pak tento požadavek na energetickou náročnost bude vztahovat na bytové domy s energeticky vztažnou plochou nad 1500m<sup>2</sup> od roku 2018, nad 350m<sup>2</sup> od roku 2019 a menší od roku 2020. Pro veřejné budovy platí to samé jako pro bytové domy, avšak s předsunutými termíny o 2 roky dopředu. [4]

## **2.2 Energetický audit**

Energetický audit (dále jen EA) má za účel v písemné formě informovat o způsobech a úrovni využívání energie v budově i energetickém hospodářství a zároveň poskytuje doporučená energeticky úsporná opatření, která berou ohled i na ekologii.

Vypracování EA je v současné době povinné dle zákona č. 406/2000 Sb. v § 9 pro:

- organizační složky státu, organizační složky krajů a obcí a příspěvkové organizace, jejichž budovy celkem spotřebují více než 1 500 GJ a týká se jednotlivých budov se spotřebou vyšší než 700 GJ
- fyzické a právnické osoby, jejichž budovy celkem spotřebují více než 35 000 GJ a týká se opět jednotlivých samostatně zásobovaných budov se spotřebou vyšší než 700 GJ [5]

## **2.3 Energetický posudek**

Energetický posudek je definován dle novely zákona č. 318/2012 Sb. jako písemná zpráva, rozsahově menší než EA, která obsahuje hodnocení vypracované podle předem nastavených kritérií. Nejčastěji se dnes využívá pro prokazování splnění podmínek dotačních programů (např. Nová zelená úsporám). [6]

### 3 Energetické zhodnocení zadané budovy

Předmětem energetického zhodnocení je řadový pavlačový dům z poloviny 19. století, nacházející se v pražské památkové zóně Karlín v bezprostřední blízkosti výstupu ze stanice metra Křižíkova. Objekt výrazně poničily povodně v roce 2002. Od té doby přestal splňovat požadavky pro bydlení a zůstal prázdný. V průběhu dalších let Magistrát hl. m. Prahy, odbor památkové péče (dále jen MHMP OPP), postupně zamítal několik verzí projektu rekonstrukce, a až v loňském roce schválil konečnou podobu projektu. Nyní již několik týdnů probíhají stavební práce na jeho obnově.



*Obr. 3.1 – Fotografie bytového domu pořízená v dubnu 2016 (foto autor)*

V nadcházejících částech práce vždy uvedu některé vypočtené parametry energetické náročnosti pro daný stav objektu. Podrobné protokoly výsledků budou k dispozici v elektronické podobě na přiloženém CD. Jako nástroj pro hodnocení energetické náročnosti zadané budovy jsem zvolil výpočetní program Energie 2015, který zohledňuje metodické postupy a požadavky dle platných evropských i českých předpisů. Pro výpočet tepelně technických vlastností stavebních konstrukcí jsem použil program Teplo 2010.

## 3.1 Původní stav domu do roku 2015

Podobu domu určila poslední přestavba z roku 1921, kdy objektu přibyla dvě podlaží. Dům tedy celkově tvořila čtyři nadzemní podlaží, nevytápěná půda a nevytápěný suterén. Obvodové stěny jsou postaveny ze smíšeného zdiva v tloušťce 950 – 450mm ( $U = 0,846 - 1,524 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ). Vodorovné nosné konstrukce tvoří dřevěné trámové stropy. Sedlovou střechu hlavní části nesla dřevěná vaznicová soustava ze stojatých stolic. Výplně otvorů se sestávaly ze špaletových oken ( $U_w = 2,35 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ), luxfer ( $U_w = 2,34 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  a dřevěných plných dveří ( $U_w = 2,3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ).

Jako zdroj tepla na vytápění sloužila lokální kamna na tuhá paliva, která by už dnes nespĺňovala třetí emisní třídu. Teplá voda se ohřívala také lokálně elektrickými zásobníkovými ohříváči v každém bytě.

### 3.1.1 Energetické zhodnocení původního stavu

▪ Objemový faktor tvaru budovy A/V	0,4 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
▪ Energeticky vztažná plocha	1282 m <sup>2</sup>
▪ Průměrný součinitel prostupu tepla $U_{em}$	1,19 W/(m <sup>2</sup> ·K)
▪ Klasifikace budovy dle energetického štítku	F
▪ Potřeba tepla na vytápění za rok	229,587 MWh
▪ Měrná potřeba tepla na vytápění	179 kWh/(m <sup>2</sup> ·a)
▪ Dodaná energie za rok	452,732 MWh
▪ Měrná dodaná energie budovy	353 kWh/(m <sup>2</sup> ·a)
▪ Emise CO <sub>2</sub> za rok	190,492 t
▪ Neobnovitelná primární energie za rok	562,532 MWh
▪ Měrná neobnovitelná primární energie	439 kWh/(m <sup>2</sup> ·a)

## 3.2 Navrhovaný stav v projektu rekonstrukce

V projektu rekonstrukce z loňského roku došlo k několika stavebním úpravám domu, které mají za účel zajistit především stabilitu objektu, zvětšit obytnou i komerční plochu a v neposlední řadě také snížit jeho energetickou náročnost. Z uvedených důvodů vznikne přístavba dvorních křídel, nové schodiště s výtahem, zastřešení dvorního prostoru v 1.NP a obytné podkroví.

Jelikož se objekt nachází v památkové zóně, MHMP OPP vydal závazné stanovisko, ve kterém specifikoval své požadavky na provedení navrhovaných prací tak, aby nedošlo k narušení dobového rázu domu. A protože nejhodnotnější částí tohoto domu byla pro památkáře uliční fasáda, byl kladen důraz na zachování fasády v co největší míře. Z toho vyplývá, že mezi navržená energetická opatření nemohlo patřit vnější zateplení obvodových stěn směrem do ulice. Mezi další podstatná omezení pro návrh rekonstrukce historických objektů patří nahrazení napodobených špaletových oken se stejným členěním. V tomto případě nařídilo stanovisko obnovit i okna směřující do dvora. Ostatní podmínky stanoviska již nejsou podstatné pro návrh energetických opatření.

### 3.2.1 Navržená energetická opatření

- Nové obvodové stěny do vnitrobloku budou z větší části vyzděny z keramických tvárnic Porotherm 44 (stěna S4b), dále v menší míře z tvárnic Porotherm 25 (stěna S5b) včetně kontaktního zateplovacího systému z minerální vaty o tloušťce 100 mm (maximální  $\lambda_d = 0,041 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ) a v 1.NP v kontaktu se sousedními garážemi pouze z tvárnic Porotherm 25 (stěna S7b).
- Na rozhraní komerční zóny a nového schodišťového prostoru v 1.NP vznikne nová stěna z cihelných tvárnic Heluz 20 (stěna S6b) včetně kontaktního zateplovacího systému z minerální vaty o tloušťce 100 mm (maximální  $\lambda_d = 0,041 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ).
- Nová konstrukce střechy (šikmé střechy Ab a Bb, plochá střecha Db) bude zateplena mezikroevní izolací z minerální vaty a dále v sádkartonovém podhledu o celkové tloušťce minerální vaty 240 mm (maximální  $\lambda_d = 0,037 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ).

- Mezi další úsporná opatření patří zateplení podlahy nad nevytápěným suterénem a zemině (strop C2b a podlaha P1b), kde se pro zateplení použije pěnový polystyren EPS 100S o tloušťce 100mm (maximální  $\lambda_d = 0,037 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ).
- Stávající výplně otvorů se nahradí novými dřevěnými špaletovými okny do ulice ( $U_W = 1,3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ), do vnitrobloku ( $U_W = 1,4 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ) do vnitrobloku a vchodovými protipožárními dveřmi s ( $U_D = 1,4 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ).
- Jako zdroj tepla je v mém projektu vytápění navržen kondenzační kotel Vaillant VU 1006/5-5 ecoTEC plus výkon 100 kW, který pokryje potřebu tepla na vytápění i na přípravu TV. Dále bude realizována nová otopná soustava (viz. Projektová část bakalářské práce).

Všechny měněné konstrukce splňují **požadované** hodnoty na součinitel prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2:2011.

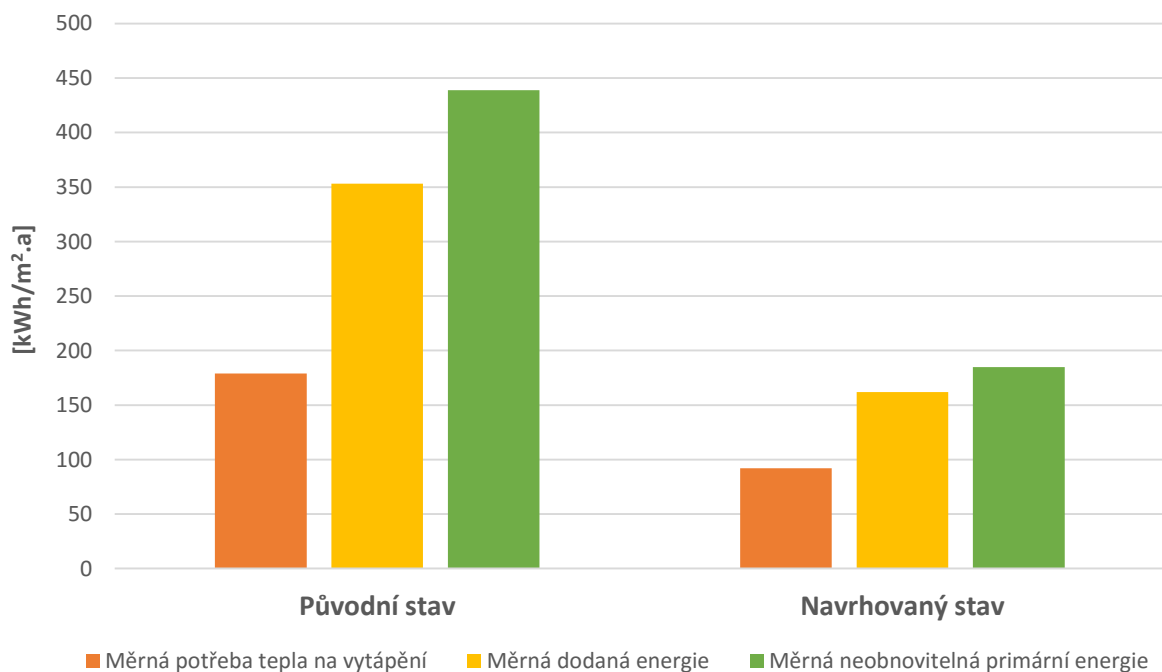
Měněné konstrukce	Plocha konstrukce	Navrhovaná hodnota	Požadovaná hodnota	Stav
	A	U	$U_{N,20}$	
	$\text{m}^2$	$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$	$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$	
<b>S4b</b> – obvodová stěna – Porotherm 44	536,6	0,282	0,30	vyhovuje
<b>S5b</b> – obvodová stěna – Porotherm 25 + MV	129,1	0,230	0,30	vyhovuje
<b>S6b</b> – obvodová stěna – Heluz 20 + MV	48,8	0,292	0,60	vyhovuje
<b>S7b</b> – obvodová stěna – Porotherm 25	116,7	0,404	0,60	vyhovuje
<b>Ab, Bb</b> – šikmé střechy – 240mm MV	494	0,201	0,24	vyhovuje
<b>Db</b> – plochá střecha nad 1.NP – 240mm MV	136,2	0,203	0,24	vyhovuje
<b>C2b</b> – strop nad nevytápěným suterénem	335,3	0,229	0,60	vyhovuje
<b>P1b</b> – podlaha na zemině	147,6	0,347	0,45	vyhovuje
<b>OV..b</b> – okna dřev. špaletová do ulice	169,7	1,30	1,50	vyhovuje
<b>OS..b, OJ..b, OZ..b</b> - okna do dvora	66,8	1,40	1,50	vyhovuje
<b>D..b</b> - vstupní dveře dřevěné protipožární	63,6	1,40	1,70	vyhovuje

**Tab. 3.2 - Součinitele prostupu tepla a plochy zateplovaných a měněných konstrukcí**

### 3.2.2 Energetické zhodnocení navrhovaného stavu

▪ Objemový faktor tvaru budovy A/V	0,35 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
▪ Energeticky vztažná plocha	2337,9 m <sup>2</sup>
▪ Průměrný součinitel prostupu tepla U <sub>em</sub>	0,71 W/(m <sup>2</sup> .K)
▪ Klasifikace budovy dle energetického štítku	E
▪ Potřeba tepla na vytápění za rok	213,997 MWh
▪ Měrná potřeba tepla na vytápění	92 kWh/(m <sup>2</sup> .a)
▪ Dodaná energie za rok	379,267 MWh
▪ Měrná dodaná energie budovy	162 kWh/(m <sup>2</sup> .a)
▪ Emise CO <sub>2</sub> za rok	84,043 t
▪ Neobnovitelná primární energie za rok	433,236 MWh
▪ Měrná neobnovitelná primární energie	185 kWh/(m <sup>2</sup> .a)

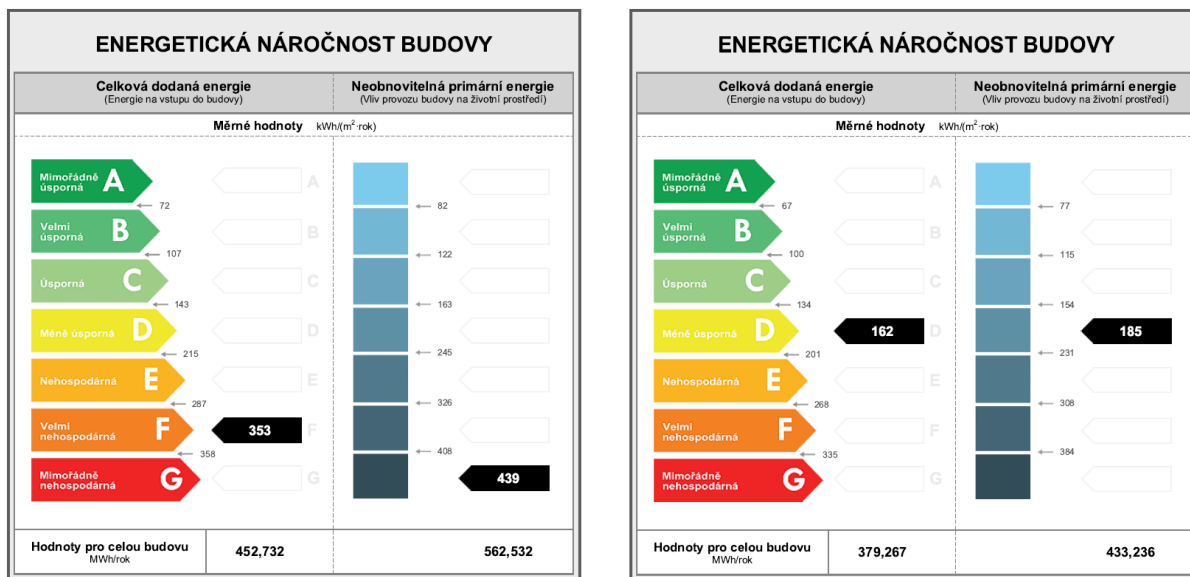
### 3.3 Porovnání s původním stavem



Obr. 3.2 – Srovnání vypočtených měrných hodnot původního a navrhovaného stavu

Při pohledu na vypočtené parametry energetické náročnosti obou stavů, vidíme, že v navrhovaném stavu došlo ke zlepšení všech hodnot. Pokud ovšem srovnáme pouze celkovou

potřebu tepla na vytápění, může se na první pohled zdát, že nedošlo k nijak markantní změně. Musím ale připomenout, že v navrhovaném stavu se v důsledku přístavby dvorních křídel a střešní nástavby téměř zdvojnásobila energeticky vztažná plocha. Proto ve výsledcích uvádím měrné hodnoty vztažené na jednotku plochy, ze kterých je již čitelně vidět patrná změna k lepšímu (viz. Obr. 3.2). Dále ještě pro srovnání přidávám výřezy z průkazů energetické náročnosti budov.



Obr. 3.3 - Klasifikace původního stavu a navrhovaného stavu dle PENB

Jak již bylo zmíněné výše, objekt se nachází v **památkové zóně** a splnění některých požadavků energetické náročnosti by výrazně pozměnilo charakter či vzhled budovy, spadá tento případ mezi výjimky uvedené v zákoně č.406/2000 Sb. v § 7 odst. 5. Z toho vyplývá, že budova, podle návrhu, nemusí být klasifikována do stupně C. [4]



## 4 Optimalizace řešení

Předmětem optimalizace je navrhovaný stav budovy, který vychází z projektové dokumentace k změně územního rozhodnutí a stavebního povolení z roku 2015.

### 4.1 Varianta 1

V první variantě optimalizace navrženého stavu provedu pouze vylepšení tepelných vlastností obálky budovy tak, aby součinitele prostupu tepla měněných konstrukcí dosahovaly doporučených i lepších hodnot dle ČSN 73 0540-2:2011. Toho dosáhnu použitím izolačních materiálů s lepší hodnotou součinitele tepelné vodivosti  $\lambda_d$  a v oblastech, kde je dostatek místa, v rozumné míře ještě navýším tloušťku tepelné izolace. Okna taktéž nahradím výrobky s lepšími tepelně technickými parametry. Pouze dveře zůstanou nad doporučenou hodnotou, protože se obávám, že vyrobení replik vstupních dřevěných dveří s požární odolností a zároveň doporučenou hodnotou součinitele prostupu tepla by již nebylo reálné.

Dalším možným zlepšením obálky, které by bylo v daném objektu přípustné s ohledem na MHMP OPP, by mohlo být provedení vnitřního zateplení fasády do ulice. Avšak tento způsob zateplení s sebou nese spíše nevýhody. Dosud používané systémy vnitřního zateplení často způsobovaly vlhkostní problémy konstrukce. I když se dnes již prosazují nové systémy z tzv. kapilárně aktivních materiálů na bázi křemičitanu vápenatého, rozhodl jsem se uliční fasádu z interiéru nezateplovat, neboť by se tímto zákrokem také snížila obytná plocha bytů, což by mohlo být pro investora nepřijatelné řešení.

Cílem této varianty je ukázat, do jaké míry dokážou stejné měněné konstrukce, avšak s doporučenými parametry, zlepšit navržený stav a zda se tento krok vůbec vyplatí.

#### 4.1.1 Navržená energetická opatření

- Obvodová stěna do vnitrobloku (stěna S4b) bude navíc kontaktně zateplena minerální vatou o tloušťce 100 mm (maximální  $\lambda_d = 0,041 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ).
- Na zateplení podlahy nad nevytápěným suterénem a zemině (strop C2b a podlaha P1b) se použije šedý pěnový polystyren EPS GREY 100 o tloušťce 100 mm (maximální  $\lambda_d = 0,031 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ).
- Všechna okna budou nahrazena izolačními trojskly ( $U_w = 0,9 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ).
- V konstrukcích střech (šikmé střechy Ab a Bb, plochá střecha Db) se navýší celková tloušťka minerální vaty o 50 mm, celkem tedy 290 mm (maximální  $\lambda_d = 0,033 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ).

Všechny měněné konstrukce kromě dveří splňují **doporučené** hodnoty na součinitel prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2:2011.

Měněné konstrukce	Plocha konstrukce	Navrhovaná hodnota	Doporučená hodnota	Stav
	A	U	$U_{REC,20}$	
	$\text{m}^2$	$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$	$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$	
<b>S4b</b> – obvodová stěna – Porotherm 44 + MV	536,6	0,16	0,25	vyhovuje
<b>S5b</b> – obvodová stěna – Porotherm 25 + MV	129,1	0,230	0,25	vyhovuje
<b>S6b</b> – obvodová stěna – Heluz 20 + MV	48,8	0,292	0,40	vyhovuje
<b>S7b</b> – obvodová stěna – Porotherm 25	116,7	0,404	0,40	vyhovuje
<b>Ab, Bb</b> – šikmé střechy – 290mm MV	494	0,16	0,16	vyhovuje
<b>Db</b> – plochá střecha nad 1.NP – 240mm MV	136,2	0,16	0,16	vyhovuje
<b>C2b</b> – strop nad nevytápěným suterénem	335,3	0,21	0,40	vyhovuje
<b>P1b</b> – podlaha na zemině	147,6	0,30	0,30	vyhovuje
<b>OV..b</b> – okna dřev. špaletová do ulice	169,7	0,90	1,20	vyhovuje
<b>OS..b, OJ..b, OZ..b</b> - okna do dvora	66,8	0,90	1,20	vyhovuje
<b>D..b</b> - vstupní dveře dřevěné protipožární	63,6	1,40	1,20	nevyhovuje

**Tab. 4.1 - Součinitele prostupu tepla a plochy zateplovanych a měněných konstrukcí varianty I**

## 4.1.2 Energetické zhodnocení varianty 1

▪ Objemový faktor tvaru budovy A/V	0,35 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
▪ Energeticky vztažná plocha	2337,9 m <sup>2</sup>
▪ Průměrný součinitel prostupu tepla U <sub>em</sub>	0,64 W/(m <sup>2</sup> .K)
▪ Klasifikace budovy dle energetického štítku	D
▪ Potřeba tepla na vytápění za rok	202,002 MWh
▪ Měrná potřeba tepla na vytápění	86 kWh/(m <sup>2</sup> .a)
▪ Dodaná energie za rok	362,788 MWh
▪ Měrná dodaná energie budovy	155 kWh/(m <sup>2</sup> .a)
▪ Emise CO <sub>2</sub> za rok	80,761 t
▪ Neobnovitelná primární energie za rok	415,135 MWh
▪ Měrná neobnovitelná primární energie	178 kWh/(m <sup>2</sup> .a)

První varianta dosáhla pochopitelně lepšího průměrného součinitele prostupu tepla, který se zlepšil téměř o 10% a který tak budově zajistil o stupeň lepší hodnocení dle energetického štítku. Ostatní hodnoty dosáhly lepšího výsledku zhruba o 5%. Na druhou stranu by investor vynaložil mnohem více prostředků za nejlepší izolační materiály, které by byly minimálně dvojnásobně dražší. Dále zbývá srovnat špaletová okna s izolačními trojskly, pravděpodobně vyrobená na zakázku. Tam by byl cenový rozdíl s určitostí ještě vyšší.

## 4.2 Varianta 2

Druhá varianta se týká především použití jiného zdroje tepla na vytápění a přípravu TV.

### 4.2.1 Navržená energetická opatření

- Způsob zateplení a volba výplní otvorů zůstávají stejné jako ve variantě 1.
- Jako zdroj tepla byla zvolena kaskáda 3 tepelných čerpadel typu vzduch – voda v kombinaci s bivalentním zdrojem – elektrokotel, kde tepelná čerpadla pokryjí 85% potřeby tepla na vytápění a záložní elektrokotel 15%. Topný faktor při teplotě otopné vody pod 45°C by měl být nejméně 2,9. Tepelná čerpadla spolu s elektrokotlem zajistí i přípravu TV.

## 4.2.2 Energetické zhodnocení varianty 2

▪ Objemový faktor tvaru budovy A/V	0,35 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
▪ Energeticky vztažná plocha	2337,9 m <sup>2</sup>
▪ Průměrný součinitel prostupu tepla U <sub>em</sub>	0,64 W/(m <sup>2</sup> .K)
▪ Klasifikace budovy dle energetického štítku	D
▪ Potřeba tepla na vytápění za rok	202,002 MWh
▪ Měrná potřeba tepla na vytápění	86 kWh/(m <sup>2</sup> .a)
▪ Dodaná energie za rok	347,896 MWh
▪ Měrná dodaná energie budovy	149 kWh/(m <sup>2</sup> .a)
▪ Emise CO <sub>2</sub> za rok	187,711 t
▪ Neobnovitelná primární energie za rok	481,311 MWh
▪ Měrná neobnovitelná primární energie	206 kWh/(m <sup>2</sup> .a)

Použití lepšího zateplení a především kaskády tepelných čerpadel v kombinaci s elektrokotlem by oproti kondenzačnímu kotli jistě zajistilo o něco menší náklady na vytápění a přípravu teplé vody. Jak je známo, tepelná čerpadla odebírají teplo z okolního prostředí, a nezatěžují tedy tolik životní prostředí. Jelikož jsou tepelná čerpadla v ČR poháněná z elektřiny pocházející převážně z neobnovitelných zdrojů, výše uvedené parametry emisí CO<sub>2</sub> a neobnovitelné primární energie vycházejí poměrně vysoké. Pořízení čerpadel přináší také nárok na nízký tarif elektrické energie. Ačkoliv se zdá, že výhody převažují nad nevýhodami, investory často stejně odradí podstatně vyšší vstupní investice než na jiné zdroje. Další nevýhodou pak mohou být potřebné stavební zásahy do budovy - a v případě kaskádového zapojení čerpadel i technologická náročnost.

Kdyby ale tento projekt na rekonstrukci bytového domu nebyl nijak omezen památkáři, tak věřím, že by mohl při současném celkovém zateplení obálky a použitím tepelných čerpadel dosáhnout na finanční podporu dotačních programů, což by už mohlo být pro investora ve výsledku mnohem zajímavější.

## 4.3 Varianta 3

Do poslední varianty dosadím opět alternativní zdroj tepla na vytápění a přípravu TV.

### 4.3.1 Navržená energetická opatření

- Způsob zateplení a volba výplní otvorů zůstávají opět stejné jako ve variantě 1.
- Zdrojem tepla v této variantě bude plně automatický kotel na biomasu, konkrétně typ Vitoligno 300-H, který spaluje dřevěné pelety nebo štěpku.

### 4.3.2 Energetické zhodnocení varianty 3

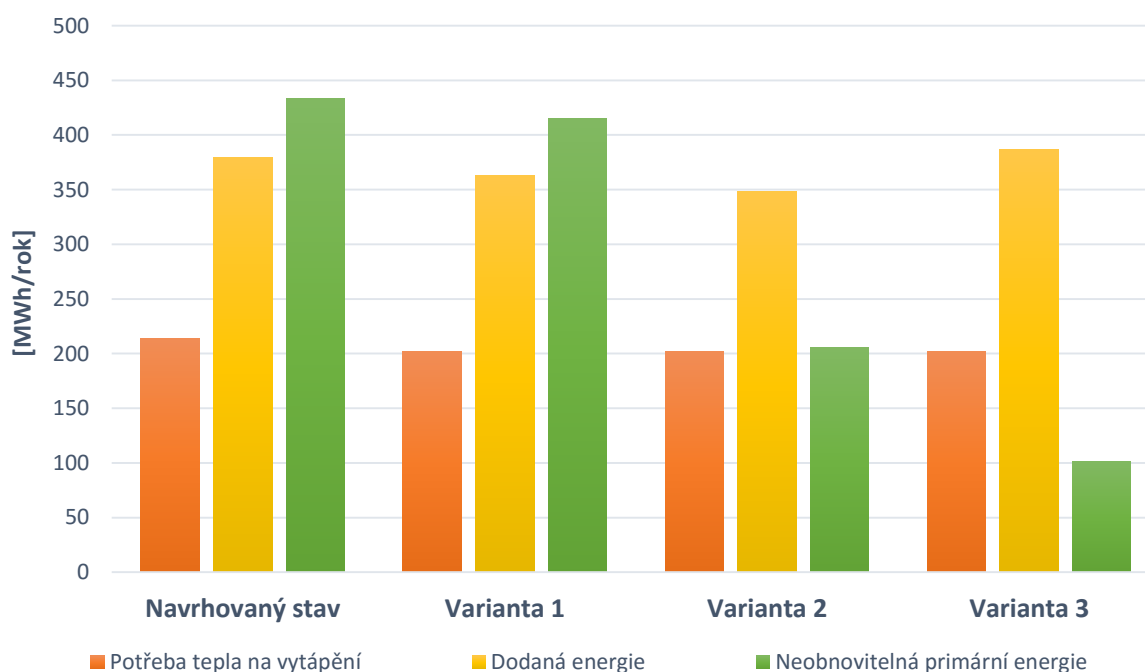
▪ Objemový faktor tvaru budovy A/V	0,35 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
▪ Energeticky vztažná plocha	2337,9 m <sup>2</sup>
▪ Průměrný součinitel prostupu tepla U <sub>em</sub>	0,64 W/(m <sup>2</sup> .K)
▪ Klasifikace budovy dle energetického štítku	D
▪ Potřeba tepla na vytápění za rok	202,002 MWh
▪ Měrná potřeba tepla na vytápění	86 kWh/(m <sup>2</sup> .a)
▪ Dodaná energie za rok	386,608 MWh
▪ Měrná dodaná energie budovy	165 kWh/(m <sup>2</sup> .a)
▪ Emise CO <sub>2</sub> za rok	9,895 t
▪ Neobnovitelná primární energie za rok	101,002 MWh
▪ Měrná neobnovitelná primární energie	43 kWh/(m <sup>2</sup> .a)

Tato varianta bezesporu dokazuje nejlepší výsledky z ekologického pohledu. Spalováním biomasy dochází díky předešlé fotosyntéze k téměř nulové bilanci CO<sub>2</sub>. Toto palivo patří mezi obnovitelné zdroje energie a zároveň je relativně výhodné. Bohužel biomasa vyžaduje větší prostorové požadavky na skladování a také je třeba řešit dopravu. Kotel s automatickým příkládáním může být zpočátku taktéž vysokou investicí. [7]

## 5 Vyhodnocení

Z konečného srovnání všech možností vyplývá, že k radikální změně došlo pouze u parametru neobnovitelné primární energie, kdy ve variantě 3 klesla hodnota oproti návrhu více než čtyřnásobně. Kotel na biomasu by tímto faktem mohl aspirovat na pomyslného vítěze, ale po zohlednění jeho negativ si nemyslím, že by to byla volba optimální. Posunutí měněných konstrukcí ve variantě 1 na doporučené požadavky by sice vedlo k malé úspoře celkové potřeby na vytápění, avšak za několikanásobně vyšší cenu. Použití tepelných čerpadel by znamenalo obrovský výdaj na začátek, ale z dlouhodobého hlediska a s finanční podporou z dotačního programu by tato varianta obstála.

Nezbývá než se vrátit k navrhovanému řešení, kde všechny měněné konstrukce splňují požadované hodnoty a zdrojem tepla je kondenzační kotel, a vyhodnotit ho jako nejlepší kompromis mezi vstupními investicemi, technologickou náročností, prostorovou náročností, potřebou tepla na vytápění, celkovou dodanou energií, mírou emisí CO<sub>2</sub>, palivem a jeho dostupností.



*Obr. 5.1 – Srovnání všech variant s navrhovaným stavem*

## 6 Závěr

Pevně věřím, že jsem v této textové části bakalářské práce splnil stanovené cíle. První fáze obsahovala seznámení s aktuální legislativou v oblasti energetické náročnosti v ČR. Dále práce pokračuje energetickým hodnocením daného bytového domu v původním i navrhovaném stavu. Druhá část práce se věnuje optimalizaci navrženého řešení, kde byly vytvořeny 3 modelové varianty, které sice dokázaly uspořit více energie, avšak ve výsledku nebyly uznány jako výhodnější.

Domnívám se, že snižování energetické náročnosti budov a implementování obnovitelných zdrojů energie do budov je krokem racionálním, ale stále mám pocit, že v tuzemsku panuje v této oblasti velká míra nevědomosti, nedůvěry a nezájmu.

## Seznam použité literatury

- [1] BÁČOVÁ, Marie. Nová evropská směrnice o energetické náročnosti budov. *Časopis stavebnictví*. [online]. 10.5.2016 [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: [http://www.casopisstavebnictvi.cz/nova-evropska-smernice-o-energeticke-narocnosti-budov\\_N3686](http://www.casopisstavebnictvi.cz/nova-evropska-smernice-o-energeticke-narocnosti-budov_N3686)
- [2] Etics benefits. *European Association for External Thermal Insulation Composite Systems*. [online]. 10.5.2016 [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.etics.eu/views/etics/benefits/index.html>
- [3] HORÁK, Petr aj.. Energetické hodnocení budov [online]. 2015. [cit. 2016-05-12]. ISBN 978-80-214-5274-9. Dostupné z: [http://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/4582\\_sfvt\\_brno\\_energeticke-hodnoceni-budov.pdf](http://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/4582_sfvt_brno_energeticke-hodnoceni-budov.pdf)
- [4] Zákon č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií
- [5] Vyhláška č. 480/2012 Sb. o energetickém auditu a energetickém posudku
- [6] Zákon č. 318/2012 Sb. kterým se mění zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů
- [7] QUASCHNING, Wolker. *Obnovitelné zdroje energií*. Praha: Grada, 2010. ISBN 978-80-247-3250-3.



## **Použitý software**

Energie 2015

Teplo 2010

## **Seznam obrázků**

**Obr. 2.1** – Spotřeba energie v EU (Eurostat 2008)

**Obr. 3.1** – Fotografie bytového domu pořízená v dubnu 2016 (autor)

**Obr. 3.2** – Srovnání vypočtených měrných hodnot původního a navrhovaného stavu

**Obr. 3.3** - Klasifikace původního stavu a navrhovaného stavu dle PENB

**Obr. 5.1** – Srovnání všech variant s navrhovaným stavem

## **Seznam tabulek**

**Tab. 3.2** - Součinitele prostupu tepla a plochy zateplováných a měněných konstrukcí

**Tab. 4.1** - Součinitele prostupu tepla a plochy zateplováných a měněných konstrukcí var. 1

## **Seznam příloh**

Podrobné protokoly jsou dostupné v elektronické podobě na přiloženém CD