

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ  
KATEDRA EKONOMIKY, MANAŽERSTVÍ A  
HUMANITNÍCH VĚD



**Ekonomické hodnocení energeticky úsporné výstavby: Návrh  
řešení vytápění a větrání v novostavbě RD**

**Cost-effective Assessment of Energy Saving Building:  
Heating & Ventilation Proposal used in new build family house**

**Studijní program:** Elektrotechnika, energetika a management

**Obor:** Ekonomika a řízení energetiky

**Vedoucí práce:** Ing. Jiří Beranovský, Ph.D. MBA

**Bc. Josef Slabihoudek**

**Praha**

**2016**

České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: Slabihoudek Josef

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management  
Obor: Ekonomika a řízení energetiky

Název tématu: Ekonomické hodnocení energeticky úsporné výstavby: Návrh řešení vytápění a větrání v novostavbě RD

Pokyny pro vypracování:

- technická a legislativní analýza problematiky v ČR a v zahraničí
- návrh variant vytápění a větrání pro novostavbu RD
- ekonomické a technické porovnání a vyhodnocení variant

Seznam odborné literatury:

Beranovský, J., Pokorný, J. (2014): Je úsporný dům opravdu úsporný? Z čeho postavit úsporný dům? Praha, EkoWATT, Centrum pro obnovitelné zdroje a úspory energie z.s., ISBN 978-80-87333-10-5  
Koloděj, J.: Ekonomická výhodnost pasivních domů, 2012

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jiří Beranovský, MBA, Ph.D. – Ekowatt

Platnost zadání: do konce letního semestru akademického roku 2016/2017

L.S.

*Prof. Ing. Jaroslav Knápek, CSc.*  
vedoucí katedry

*Prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.*  
děkan

V Praze dne 11.2.2016

# Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 26. 5. 2016

---

Bc. Josef Slabihoudek

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval především rodičům, kteří mě podporovali při mém studiu. Dále děkuji svému vedoucímu Ing. Jiřímu Beranovskému, Ph.D. MBA, který mi umožnil pod jeho vedením vypracovávat tuto diplomovou práci, poskytl materiály a cenné rady.

## **Anotace**

Cílem této diplomové práce je navrhnout systém vytápění a větrání pro novostavbu rodinného domu. Teoretická část se zabývá legislativou týkající se nízkoenergetických a pasivních domů, požadavků na vytápění a větrání, dále pak popisuje jednotlivé možnosti a technologie vytápění a větrání. Praktická část se zaměřuje na konkrétní skutečnou stavbu rodinného domu. Zahrnuje popis stávajícího stavu z hlediska tepelně izolačních vlastností a technického zařízení budovy. Dále praktická část obsahuje detailní návrh jednotlivých variant instalace a jejich technicko – ekonomické zhodnocení s doporučením nejuvhodnější varianty.

## **Klíčová slova**

Technické zařízení budov, tepelné ztráty, tepelná čerpadla, vzduchotechnika, technicko – ekonomické zhodnocení

## **Annotation**

The aim of this thesis is heating & ventilation proposal used in new build family house. The theoretical part is focused on legislation for energy saving buildings and passive houses, the requirements for heating and ventilation, describes the possibilities and technologies of heating and ventilation. The practical part focuses on a specific family house. It includes description of the current status in terms of thermal insulation properties and building interior installation. The practical part also includes detailed proposals for the building interior installation and their technical - economic evaluation with recommendations of the best option.

## **Keywords**

Building interior installation, heat pumps, ventilation, technical - economic evaluation

# Obsah

Prohlášení .....	
Poděkování .....	
Anotace.....	
Klíčová slova .....	
Annotation .....	
Keywords .....	
Obsah .....	
Úvod.....	1
1 Technická a legislativní analýza problematiky v České republice a v zahraničí .....	2
1.1 ČSN 73 0540 – část 2: Požadavky.....	2
1.2 TNI 73 0329 .....	8
1.3 ČSN EN ISO 13 790 .....	10
1.4 Zákon č. 406/2000 Sb.....	12
1.5 Vyhláška č. 78/2013 Sb .....	14
1.6 Technická a legislativní analýza problematiky v zahraničí .....	17
1.6.1 Metodika PHPP .....	17
1.6.2 EPBD a EPBD II.....	17
2 Návrh variant vytápění a větrání pro novostavbu rodinného domu .....	19
2.1 Možnosti vytápění.....	19
2.1.1 Tepelná čerpadla.....	19
2.1.2 Kotel na pevná paliva .....	26
2.2 Možnosti větrání .....	29
2.2.1 Zpětné získávání tepla – rekuperace.....	31
2.3 Popis stávajícího stavu objektu.....	34
2.4 Tepelná ztráta objektu .....	37

2.4.1	Prostup tepla vícevrstvou konstrukcí .....	38
2.4.2	Souhrn konstrukcí a skleněných ploch .....	42
2.4.3	Výsledné tepelné ztráty.....	43
2.5	Navrhované varianty .....	44
2.5.1	Varianta 1. – Tepelné čerpadlo – hlubinné vrty – voda.....	46
2.5.2	Varianta 2: - Tepelné čerpadlo zem – voda (bez zateplení) .....	51
2.5.3	Varianta 3. – Tepelné čerpadlo zem – voda (se zateplením) .....	53
2.5.4	Varianta 4. – Tepelné čerpadlo vzduch – voda (se zateplením).....	63
3	Ekonomické, technické porovnání a vyhodnocení variant.....	65
3.1	Výpočet předpokládané spotřeby tepelných čerpadel .....	65
3.2	Výpočet ohřevu teplé užitkové vody.....	68
3.3	Výpočet předpokládané spotřeby Vzduchotechniky.....	69
3.4	Provozní náklady a životnost komponentů jednotlivých variant .....	70
3.5	Ceny a růst cen .....	71
3.6	Růst cen elektřiny .....	71
3.7	Růst cen hnědého uhlí a palivového dřeva .....	71
3.8	Volba diskontu.....	72
3.9	Rozhodovací kritérium .....	73
3.10	Výběr výsledné varianty .....	73
3.11	Citlivostní analýzy .....	74
3.11.1	Citlivostní analýza – růst cen elektřiny .....	74
3.11.2	Citlivostní analýza – ocenění vlastní práce .....	75
3.11.3	Citlivostní analýza – inflace .....	76
3.11.4	Citlivostní analýza – diskont .....	76
3.12	Shrnutí kapitoly 3 .....	77
4	Závěr.....	78
	Seznam obrázků .....	79
	Seznam grafů.....	80

Seznam použitých zdrojů .....	82
Seznam použitých norem.....	86
Seznam použitých zákonů a vyhlášek .....	87
Přílohy .....	87



# Úvod

S neustále rostoucími požadavky na snížení energetické náročnosti se setkáváme každý den. Ne vždy však musí jít nutně o opatření, která nám jsou nepříjemná. Krásným příkladem je vývoj výstavby rodinných domů, u kterých má zavedení nízkoenergetického, pasivního či dokonce nulového standardu přínos nejen z hlediska globální úspory energie, ale především pozitivně ovlivní bydlení majitelů takového domu, nejen z finančního hlediska.

Energeticky úsporné výstavby jdou ruku v ruce s moderními způsoby vytápění, jako jsou tepelná čerpadla, možnostmi větrání se zpětným získáváním tepla a automatizovanými systémy starajícími se o přívětivé klima uvnitř budovy.

Toto téma jsem si vybral také z toho důvodu, že je potřeba vybrat nový způsob vytápění pro novostavbu rodinného domu mých rodičů. Současný stav s kotlem na pevná paliva je nevyhovující a nesplňuje představy o komfortním bydlení.

V rámci práce bych se rád zaměřil v teoretické části na legislativu kolem domů s nízkou energetickou náročností, možnosti vytápění a větrání, v praktické části potom na současný stav rodinného domu z hlediska tepelně izolačních vlastností a návrh variant vytápění a větrání. Poté jednotlivé varianty vyhodnotím a doporučím tu nejvýhodnější z nich.

# 1 Technická a legislativní analýza problematiky v České republice a v zahraničí

V této kapitole popíší problematiku technické a legislativní provázanosti v České republice. Budu se zde věnovat jednotlivým zákonům, normám a dalším právním předpisům vztaheným k stavbám především rodinných domů. Zároveň vysvětlím některé pojmy, jako jsou nízkoenergetický dům, pasivní dům, průkaz energetické náročnosti budovy, energetický štítek, energetický audit a další.

## 1.1 ČSN 73 0540 – část 2: Požadavky [2N]

Tato norma mimo jiné definuje základní pojmy, jako budovy s velmi nízkou energetickou náročností, pasivní dům, nulový dům, energeticky nezávislý dům a podobně. Jelikož jsou požadavky na jednotlivé provedení rozdílné, považuji za nutné se této normě věnovat velice podrobně.

Aktuální česká technická norma, ČSN 73 0540 – 2 včetně změny Z1 z dubna 2012, nese název Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky. Předmětem této normy jsou tepelné technické požadavky pro navrhování a odvětrávání budov s požadovaným stavem vnitřního prostředí při jejich užívání. Tyto požadavky jsou kladeny zejména z důvodu zajištění hospodárného plnění úspory energie, tepelné ochrany budov, zajištění ochrany zdraví, zdravých životních podmínek a životního prostředí. Tato norma se vztahuje na nové budovy, stavební úpravy, udržovací práce, změny v užívání budov a další změny dokončených budov. Naopak se tato norma nevztahuje pro budovy převážně velkoplošně otevřené, jako jsou například nafukovací haly, stany, mobilní buňky, skleníky, stájové objekty, chladírny, a mrazírny a dále také stavby bez požadavků na stav vnitřního prostředí. Stavbami bez požadavku na vnitřní prostředí rozumíme stavby, na které nejsou požadavky na ochranu zdraví, zdravých životních podmínek, životního prostředí a základní požadavek na úsporu energie a tepelnou ochranu budov.

V části A.5 této normy se hovoří o budovách s velmi nízkou energetickou náročností. Tato definice vznikla proto, aby se dosáhlo stavu, kdy budou všechny novostavby realizovány ideálně jako budovy s nulovou energetickou náročností, jako takzvané nulové budovy, nebo takové úrovni blízké. Způsobu, jak těchto cílů dosáhnout napomáhají různá stavební řešení s velmi redukovanou potřebou tepla na vytápění a dalších energetických potřeb, jako jsou například příprava teplé vody, chlazení, energie spotřebovávaná na provoz technického zázemí

budovy a dále elektrické energie spotřebovávané na provoz domácích elektrických spotřebičů. Dalším důležitým kritériem je přednostní volba energetických zdrojů s nízkým faktorem energetické přeměny. Energetickou přeměnou rozumíme přepočítání energie na vstupu do budovy na množství energie primární k tomuto účelu uvolněné a použití systémů produkujících energii z obnovitelných zdrojů v budově nebo jejím bezprostředním okolí nezávisle na aktuální potřebě budovy.

V případě změn staveb se dle této normy uplatňuje shodný přístup s uvážením všech omezení technické a i netechnické povahy. Jako netechnická omezení můžeme například zařadit faktory památkové ochrany a majetkoprávní omezení.

Přímo v normě je napsáno, že soubor požadavků pro hodnocení pasivních budov vychází především z odborných zahraničních podkladů s důrazem na provázanost s českými technickými normami. Považuji za zajímavé, že norma pokládá soubor požadavků pro hodnocení energeticky nulových domů pouze za orientační, z důvodu nedostatku zkušeností a nejednotnosti přístupu hodnocení zahraničních podkladů.

Norma dále uvádí, co se uplatňuje pro hodnocení energeticky nulových budov. Je to přístup započtení roční bilance potřeb a produkce s využitím energetických sítí, zejména z důvodu vybavenosti systémy s produkcí energie z obnovitelných zdrojů, částečně, nebo úplně nezávisle na aktuální potřebě energie takovýchto budov.

Norma dále definuje nízkoenergetické budovy (část A.5.2.), kde říká, že nízkoenergetické budovy jsou charakterizovány nízkou potřebou tepla na vytápění. Nízké potřeby tepla na vytápění je dosahováno zejména optimalizací stavebního řešení obálky budovy. Dále je potřeba dodržet míru součinitele prostupu tepla a měrné potřeby tepla na vytápění. Tyto hodnoty dále stanovují normy a technické normalizační informace ČSN EN ISO 13790, TNI 73 0329 a TNI 73 0330.

Jako pasivní budovy norma definuje stavby, které jsou charakterizovány minimalizovanou potřebou energie na zajištění požadovaného stavu vnitřního prostředí a minimalizovanou potřebou primární energie z neobnovitelných zdrojů na jejich provoz díky optimalizovanému stavebnímu řešení a dalším opatřením. Norma uvádí, jakým způsobem se stanoví hodnoty potřeby tepla na vytápění, potřeby dodané energie na chlazení, přípravu teplé vody, pomocné elektrické energie na provoz energetických systémů budovy a dodané elektrické energie na elektrické spotřebiče. Tyto hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce.

		<b>Průměrný součinitel prostupu tepla</b> $U_{em}$ [W/(m <sup>2</sup> K)]	<b>Měrná potřeba tepla na vytápění</b> [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	<b>Měrná potřeba energie na chlazení</b> [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	<b>Měrná potřeba primární energie</b> [kWh/(m <sup>2</sup> a)]
Obytná budova	Rodinný dům	≤ 0,25 požadováno ≤ 0,20 doporučeno	≤ 20 požadováno ≤ 15 doporučeno	0 <sup>2)</sup>	≤ 60
	Bytový dům	≤ 0,35 požadováno ≤ 0,30 doporučeno	≤ 15	0 <sup>2)</sup>	≤ 60
Neobytná budova s převažující teplotou 18 °C až 22 °C		≤ 0,35 <sup>1)</sup>	≤ 15	≤ 15	≤ 120
Ostatní budovy		Požadavky stanoveny individuálně s využitím aktuálních poznatků odborné literatury			≤ 120
<p>1) Uvedená hodnota je doporučená, nejvýše však musí být rovna odpovídající hodnotě <math>U_{em,rec}</math> jak je uvedeno v této tabulce</p> <p>2) Stavební řešení musí být takové, aby strojní chlazení nebylo potřebné. Pokud by výjimečně bylo dodatečně použito, musí být odpovídajícím způsobem zahrnuto do hodnocení primární energie, a to i kdyby se jednalo o individuální jednotky považované za elektrické spotřebiče.</p>					

Tabulka 1 - Základní vlastnosti pasivních budov [2N]

Je zde odkazováno na postup dle ČSN EN ISO 13790, který dále využívá vstupní údaje uvedené v TNI 73 0329 A TNI 73 0330. U pasivních budov je povinně hodnocenou vlastností celková průvzdušnost obálky budovy podle ČSN EN 13829, TNI 73 0329 a TNI 73 0330. Celková intenzita výměny vzduchu  $n_{50}$  při tlakovém rozdílu 50 Pa nesmí překročit hodnotu  $n_{50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$ . Při hodnocení primární energie jsou zahrnuty roční energetické potřeby dle následující tabulky:

	Obytné budovy	Neobytné budovy
Vytápění	X	X
Chlazení a úprava vlhkosti	- <sup>1)</sup>	X
Příprava teplé vody	X	X
Pomocná elektrická energie na provoz energetických systémů budovy	X	X
Elektrické	-	-

1) Stavební řešení musí být takové, aby strojní chlazení nebylo potřebné. Pokud by výjimečně bylo (dodatečně) použito, musí být odpovídajícím způsobem zahrnuto do hodnocení primární energie, a to i kdyby se jednalo o individuální jednotky považované za elektrické spotřebiče.

Tabulka 2 - Přehled energetických potřeb zahrnutých do hodnocení primární energie pasivních budov [2N]

V případě přepočtu množství dodané energie na hodnoty odpovídající primární energii se využívá faktor energetické přeměny, který se stanovuje dle následující tabulky:

Zdroj	Faktor energetické přeměny [kWh/kWh]
Zemní plyn a další fosilní paliva	1,1
Elektrická energie	3,0
Dřevo, ostatní biomasa	0,05
Dřevěné peletky	0,15
Soustava zásobování teplem – fosilní paliva	1,5
Soustava zásobování teplem – kombinovaná výroba elektřiny (35 %) a tepla	1,1
Soustava zásobování teplem – kombinovaná výroba elektřiny (70 %) a tepla	0,8
Soustava zásobování teplem – biomasa	0,3
Solární systémy termické	0,05
Solární systémy fotovoltaické – použití pro vlastní potřebu budovy	0,05
Solární systémy fotovoltaické – zapojené do veřejné sítě	0,2
Solární systém fotovoltaický nahrazující konvenční výrobu elektrické energie <sup>1)</sup>	-2,8
Spalování biomasy nahrazující výrobu tepla spalováním plynu <sup>1)</sup>	-1,0

Zdroj	Faktor energetické přeměny [kWh/kWh]
1) Hodnoty jsou odvozeny zjednodušeně, jako rozdíl faktoru energetické přeměny obnovitelného a konvenčního zdroje (pro fotovoltaický systém: $0,2 - 3,0 = -2,8$ (záporná hodnota). Obdobně lze odvodit další hodnoty.	

Tabulka 3 - Referenční hodnota faktoru energetické přeměny pro přepočítání na hodnoty primární energie z neobnovitelných zdrojů [2N]

V případě využití dálkového vytápění, kogenerační výroby a dalších kombinovaných energetických systémů se hodnoty stanovují dle ČSN EN 15316-4-5.

V normě je uvedeno, že při výpočtu hodnocení pasivních budov se můžou výsledné hodnoty lišit v závislosti na jednotlivých národních metrikách. Tyto rozdíly by měly být nepodstatné, je ovšem nutné zvážit, jaký výpočet vztažné podlahové plochy a jaké vnitřní tepelné zisky byly uvažovány. Důležitým faktem je, že požadavky jsou stanoveny pouze pro budovy s návrhovou teplotou v intervalu 18 °C až 22 °C. Pro ostatní budovy norma doporučuje využít poznatky publikované v odborné literatuře.

V části A.5.4 je předběžně definována energeticky nulová budova. Její hodnocení vychází z roční bilance energetických potřeb a energetické produkce v budově a jejím okolí vyjádřené v hodnotách primární energie. V rámci hodnocení se předpokládá, že i nulový dům je připojen do obvyklé energetické sítě. Jelikož se v blízké době očekává upřesnění způsobů hodnocení a míry započitatelnosti energie exportované z budovy, tak se norma se prozatím odvolává na standardy pasivní budovy. Jsou stanoveny dvě základní úrovně hodnocení:

- Úroveň A – Do energetických potřeb budovy se započítává potřeba tepla na vytápění, energie na chlazení, přípravu teplé vody, pomocná elektrická energie na provoz energetických systémů budovy, elektrická energie na umělé osvětlení a elektrické spotřebiče.
- Úroveň B – Počítá se stejně jako úroveň A, ale elektrická energie na elektrické spotřebiče se neuvažuje.

V následující tabulce je uvedeno, co se považuje za dosažení úrovně energeticky nulové budovy a co za úroveň blízkou energeticky nulové budově.

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

Tabulka 4 - Základní požadavky na energeticky nulové budovy [2N]

Obdobně jako u pasivních budov i zde je specifikováno, co vše se zahrnuje do hodnocení primární energie. Jsou to roční energetické potřeby dodané energie na vytápění a chlazení dle normy ČSN EN ISO 13790, dále hodnoty energie pro přípravu teplé vody, pomocné elektrické energie na provoz energetických systémů budovy a hodnoty elektrické energie na elektrické spotřebiče minimálně dle TNI 73 0329 a TNI 73 0330. Pro správné hodnocení primární energie vyprodukované v souvislosti s budovou je potřeba zahrnout jak roční produkci z obnovitelných zdrojů energie, tak i energie využitá prostřednictvím energetické sítě. Tyto hodnoty je potřeba opět přepočíst dle výše uvedené tabulky 3.

	Obytné budovy		Neobytné budovy	
	Úroveň A	Úroveň B	Úroveň A	Úroveň B
Vytápění	X	X	X	X
Chlazení a úprava vlhkosti vzduchu	<sup>-1)</sup>	<sup>-1)</sup>	X	X
Příprava teplé vody	X	X	X	X
Pomocná elektrická energie na provoz energetických systémů budovy	X	X	X	X
Umělé osvětlení	X	X	X <sup>2)</sup>	X <sup>2)</sup>
Elektrické spotřebiče	X	-	X	-
<p>1) Stavební řešení musí být takové, aby strojní chlazení nebylo potřebné. Pokud by výjimečně bylo dodatečně použito, musí být odpovídajícím způsobem zahrnuto do hodnocení primární energie, a to i kdyby se jednalo o individuální jednotky považované za elektrické spotřebiče.</p> <p>2) Záměrně odlišně od hodnocení pasivních neobytných budov.</p>				

Tabulka 5 - Přehled energetických potřeb zahrnutých do hodnocení primární energie energeticky nulové budovy [2N]

Při výpočtu hodnocení budovy je také možné zahrnout produkci elektrické energie z obnovitelných zdrojů, které nejsou přímo na hodnocené budově. Mohou se tak nacházet například na přístřešcích, plotech a dalších budovách v blízkosti objektu hodnoceného. Tyto zdroje však mohou figurovat pouze v hodnocení jedné budovy.

V bodě A.5.5. této normy se nalézá definice energeticky nezávislých budov. Jak název napovídá, jedná se o objekty, které jsou bez potřeby dodávek energie ze zdrojů mimo budovu. Platí doporučení, aby byla takováto stavba řešena jako pasivní. U takovýchto staveb je nutno řešit akumulaci energie do tepelných zásobníků a tím vyrovnat energetickou produkci a spotřebu.

Na závěr jsou shrnuta doporučení pro navrhování obvodových konstrukcí, zdrojů elektrické energie, tepla a chladu, otopných a chladících soustav, větrání. Této problematice se budu věnovat podrobněji v příslušných kapitolách.

## 1.2 TNI 73 0329 [3N]

Tato technická normalizační informace ze srpna 2010 popisuje zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace rodinných domů s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění. Vznik této TNI si vynutil nárůst výstavby nízkoenergetických a energeticky pasivních domů. Bylo zapotřebí zpracovat ucelený dokument pro popis jejich hodnocení. Tento postup vychází ze zahraničních zkušeností s navrhováním a hodnocením domů s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění, tedy



s nízkoenergetickými a pasivními domy. Dále je tento TNI v souladu s původními českými technickými normami a normami evropskými. Údaje zde uvedené je také možné použít pro hodnocení domů, které mají vyšší potřebu tepla a je u nich plánována rekonstrukce za účelem tuto potřebu snížit. V rámci hodnocení jsou v nejvyšší možné míře využity postupy obsažené v metodě PHPP. PHPP, neboli passive house planning package je celoevropsky nepoužívanější nástroj pro návrh pasivních domů [6]. Jedná se o návrhový nástroj v prostředí tabulkového editoru jako je například Microsoft Excel, umožňující výpočty topné zátěže, řízeného větrání, energetické bilance a mnoho dalšího.

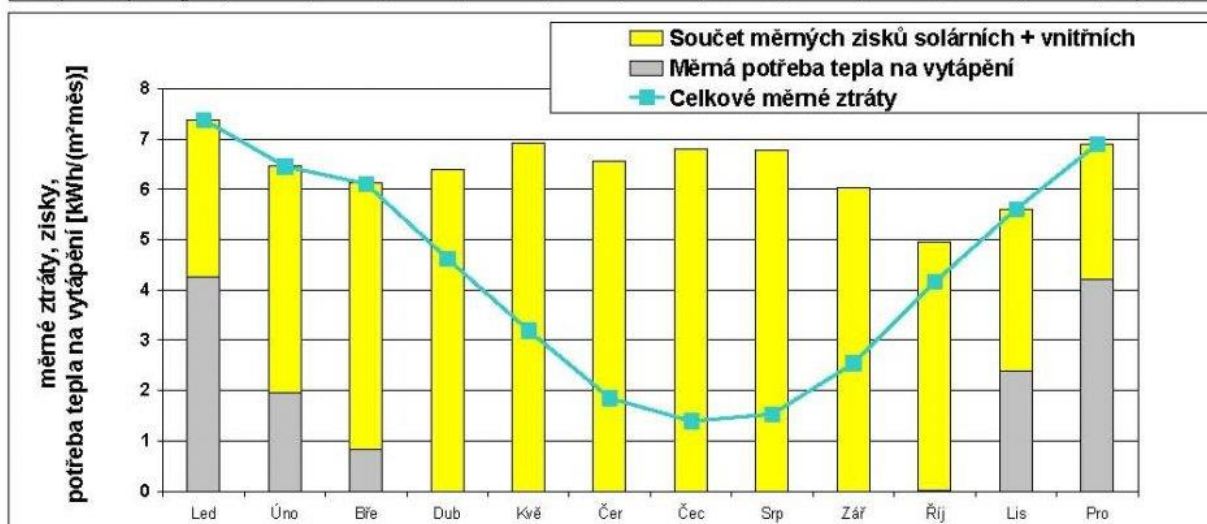
### Návrh pasivního domu

#### MĚRNÁ POTŘEBA TEPLA NA VYTÁPĚNÍ MĚSÍČNÍ METODA

Klíma:	Standard Německo
Objekt:	PD - koncový řadový dům Kranichstein
Místo:	Damstadt Kranichstein

Vnitřní teplota:	20	°C
Typ objektu/využití:	Řadový dům/byty	
Vytápěná podlahová plocha $A_{T1A}$ :	156	m <sup>2</sup>

	Led	Úno	Bře	Dub	Kvě	Čer	Čec	Srp	Zář	Říj	Lis	Pro	Rok	
Hodinotupně - exteriér	15,1	13,1	12,1	8,9	5,7	3,0	2,1	2,5	4,7	8,2	11,4	14,1	101	kWh
Hodinotupně - podlaha	7,4	7,0	7,6	6,9	6,3	4,7	4,2	3,9	4,5	5,2	5,8	6,8	70	kWh
Ztráty - vnější	1019	882	817	599	387	205	143	170	317	557	773	955	6824	kWh
Ztráty - zemina	132	124	135	122	112	83	75	69	80	92	103	121	1249	kWh
Celkové měrné ztráty	7,4	6,5	6,1	4,6	3,2	1,8	1,4	1,5	2,5	4,2	5,6	6,9	51,8	kWh/m <sup>2</sup>
Solární zisky - Sever	25	38	66	94	127	140	140	112	76	46	25	18	908	kWh
Solární zisky - Východ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kWh
Solární zisky - Jih	195	397	444	568	572	511	538	578	538	424	215	141	5112	kWh
Solární zisky - Západ	6	11	18	26	33	32	33	29	22	14	6	4	235	kWh
Solární zisky - Horiz.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kWh
Solární zisky - Neprůhledr	19	36	54	83	105	104	107	94	69	43	21	13	746	kWh
Vnitřní zdroje tepla	244	220	244	236	244	236	244	244	236	244	236	244	2670	kWh
Součet měrných zisků sol	3,1	4,5	5,3	6,4	6,9	6,6	6,8	6,8	6,0	4,9	3,2	2,7	63,3	kWh/m <sup>2</sup>
faktor využití	100%	100%	100%	72%	46%	28%	20%	23%	42%	84%	100%	100%	80%	
Potřeba tepla na vytápění	663	304	131	0	0	0	0	0	0	2	372	656	2127	kWh
Měrná potřeba tepla na v	4,3	2,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,4	4,2	13,6	kWh/m <sup>2</sup>



Obrázek 1 - Ukázka návrhu v programu PHPP [6]

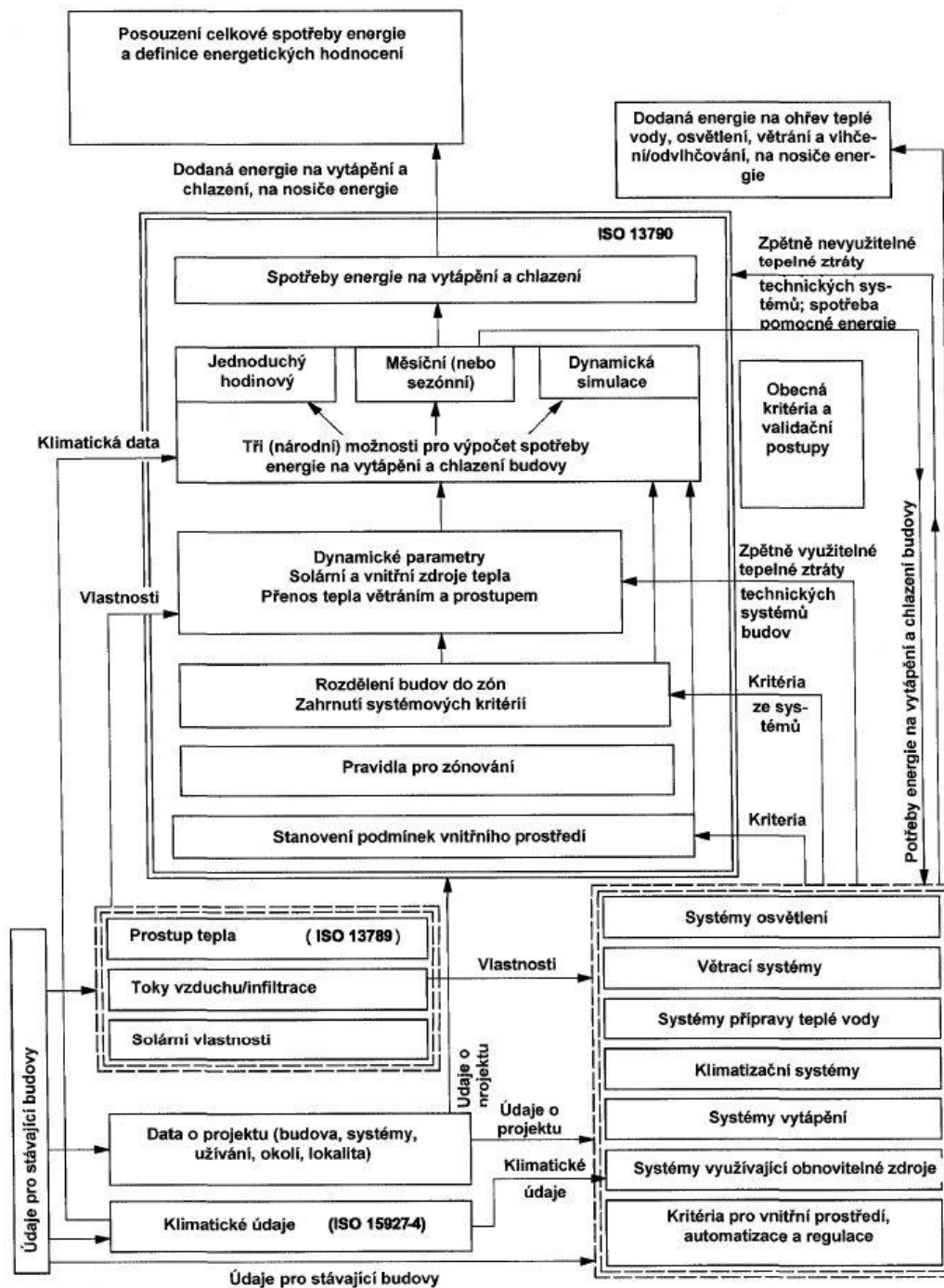
Všeobecně tedy tato technická normalizační informace stanovuje soubor okrajových podmínek výpočtů, způsob užití budovy v referenčním hodnocení pro jednotné započítání vnitřních tepelných zisků a výměny vzduchu a předepisuje jednotný přístup při uvažování pasivních solárních zisků v budově, účinnost přeměny energie v technických zařízeních a přepočet na hodnoty primární energie [3N]. Stanoven je také způsob vyjadřování výsledků hodnocení. Důležitým předpokladem pro výpočet je fakt, že je budova stále užívaná v průběhu roku.

### **1.3 ČSN EN ISO 13 790 –[4N][5]**

Tato velmi obsáhlá norma obsahuje metody pro výpočtová hodnocení roční spotřeby energie na vytápění a chlazení obytných a nebytových budov nebo jejich částí.

Metody obsahují výpočet:

- A. Přenosu tepla prostupem a větráním zóny budovy vytápěné nebo chlazené na konstantní vnitřní teplotu
- B. Příspěvků vnitřních a solárních tepelných zisků v tepelné bilanci budovy
- C. roční potřeby energie na vytápění a chlazení pro zajištění požadované teploty v budově
- D. Roční spotřeby energie na vytápění a chlazení budovy s využitím vstupních údajů



Obrázek 2 - Vývojový diagram postupu výpočtu a propojení na další normy [4N]

Výpočet se provádí na určité časové období, standardně na jeden měsíc, hodinu, celé období vytápění nebo chlazení.

Svým zpracováním je určena především pro specialisty a tvůrce výpočetních programů. Jejím rozsahem je dán také snahou zachytit různorodost klimatických podmínek v jednotlivých zemích a faktem, že její obsah a podrobnost prognóz o energetické a finanční náročnosti provozu budovy přesahuje hranice několika odborností. Upravuje totiž od stavební části, přes vytápění,

větrání, chlazení až po regulaci a další. Norma je silně provázána jak s ostatními národními normami, které na ni hojně odkazují, tak s evropskou legislativou z oblasti energetické náročnosti budov. Popsány jsou nejrůznější simulační metody, principy zajištění kompatibility výsledků různých metod a společná pravidla pro okrajové podmínky a fyzikální vlastnosti bez ohledu na konkrétní typ výpočtu.

Jedním z důvodů vzniku této normy je poskytnutí nástrojů pro posouzení přínosu stavebních prvků a technických systémů k úsporám energie a celkové energetické náročnosti budov. Připravena byla z pověření Evropské komise a Evropského sdružení volného obchodu, konkrétně pověření M/343. Vychází z evropské směrnice 2002/91/EC na energetickou náročnost budov, známou spíše pod zkratkou EPBD - Energy Performance of Building Directive.

#### **1.4 Zákon č. 406/2000 Sb.[1Z]**

Zákon č. 406 z roku 2000 o hospodaření energií implementuje do českého právního systému směrnice Evropského parlamentu a rady 2009/28/ES o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů, 2009/125/ES o stanovení rámce pro určení požadavků na ekodesign výrobků spojených se spotřebou energie, 2010/30/EU o uvádění spotřeby energie a jiných zdrojů na energetických štítcích výrobků spojených se spotřebou energie a v normalizovaných informacích o výrobku, 2010/31/EU o energetické náročnosti budov a 2012/27/EU o energetické účinnosti.

Předmětem tohoto zákona jsou především:

- A. Opatření pro zvyšování hospodárnosti užití energie a povinnosti fyzických a právnických osob při nakládání s energií
- B. Státní energetická koncepce, územní energetická koncepce, státní program na podporu úspor energie a využití obnovitelných a druhotných zdrojů energie
- C. Požadavky na ekodesign u výrobků, které jsou spojeny se spotřebou energie
- D. Uvádění spotřeby energie a jiných hlavních zdrojů na energetických štítcích výrobků spojených se spotřebou energie
- E. Informování a vzdělávání v oblasti úspor energie a využití obnovitelných a druhotných zdrojů
- F. Částečně pravidla pro poskytování energetických služeb

Dle § 7 je stavebník nové stavby povinen plnit požadavky na energetickou náročnost budovy podle prováděcího právního předpisu a při podání žádosti o stavební povolení, nebo

žádosti o změnu stavby před dokončením doložit průkaz energetické náročnosti budovy, který obsahuje hodnocení. Dále jsou zde uvedeny termíny, do kdy je potřeba splnit požadavky na energetickou náročnost budovy. Termíny jsou různé pro orgány veřejné moci a soukromé vlastníky. Přehled uvádím v následující tabulce:

Orgán veřejné moci		Soukromý vlastník	
Vztažná plocha	Termín	Vztažná plocha	Termín
$\geq 1500 \text{ m}^2$	Do 1. ledna 2016	$\geq 1500 \text{ m}^2$	Do 1. ledna 2018
$\geq 350 \text{ m}^2$	Do 1. ledna 2017	$\geq 350 \text{ m}^2$	Do 1. ledna 2019
$\leq 350 \text{ m}^2$	Do 1. ledna 2018	$\leq 350 \text{ m}^2$	Do 1. ledna 2020

Tabulka 6 - Přehled termínů pro splnění požadavků nulových budov [1Z]

Z těchto údajů vyplývá, že od roku 2020 by se měly stavět pouze budovy s téměř nulovou spotřebou energie.

Zákon dále uvádí povinnost stavebníka, společenství, nebo vlastníka budovy opatřit si průkaz energetické náročnosti při výstavbě nových budov, nebo při větších změnách dokončených budov. V tomto zákoně jsou uvedeny podmínky pro opatření tohoto průkazu, jeho podobě a obsahu se věnuje podrobněji vyhláška č. 78/2013 Sb. V § 9 tohoto zákona je definován energetický audit. Za energetický audit můžeme považovat nejkompaktnější zhodnocení budovy z pohledu všech využívaných energií v budově a stavební konstrukce budovy [7]. Obsahem auditu jsou i návrhy úsporných opatření, doporučení nejvhodnější varianty a její ekonomický rozbor. Provést energetický audit mají podle tohoto zákona povinnost všichni, jejichž celková energetická spotřeba na všech odběrných místech převyšuje:

- A. 1500 GJ/rok v případě státních složek a příspěvkových organizací
- B. 35 000 GJ/rok pro fyzické a právnické osoby

ale pouze u těch budov, které mají celkovou roční spotřebu vyšší než 700 GJ. V zákoně je uvedeno kdo může energetický audit provádět. Je to energetický specialista s osvědčením Ministerstva průmyslu a obchodu, který absolvoval příslušné přezkoušení. Toto přezkoušení se skládá z ústní a písemné části, pořádá ho Státní energetická inspekce a provádí ho před zkušební komisí jmenovanou Státní energetickou inspekcí.

## 1.5 Vyhláška č. 78/2013 Sb [2Z]

Tato vyhláška vydaná 22. března 2013 zpracovává směrnici Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU o energetické náročnosti budov a nařízení komise č. 244/2012.

Předmětem vyhlášky je:

- A. Nákladově optimální úroveň požadavků na energetickou náročnost budovy pro nové budovy a větší změny dokončených budov
- B. Metodu výpočtu energetické náročnosti budovy
- C. Vzor posouzení technické, ekonomické a ekologické proveditelnosti alternativních systémů dodávek energie
- D. Vzor stanovení doporučených opatření pro snížení energetické náročnosti budovy
- E. Vzor a obsah průkazu a způsob jeho zpracování a
- F. umístění průkazu v budově.

Důležitou částí této vyhlášky je specifikace vzhledu a obsahu průkazu energetické náročnosti budovy – PENB. Tento průkaz můžeme považovat za celkové zhodnocení objektu z energetického pohledu. Když ho srovnáme s energetickým auditem, tak není zdaleka tak podrobný a nezabývá se jednotlivými úspornými opatřeními. Jeho platnost je 10 let, vydává ho energetický specialista, který úspěšně absolvoval předepsané přezkoušení podle § 10 zákona č. 406/2000 Sb. Toto oprávnění uděluje ministerstvo průmyslu a obchodu [7].

## Jak číst průkaz energetické náročnosti

Nová vyhláška nahradí původní vyhlášku č. 148/2007 Sb., podle které se průkazy zpracovávaly do roku 2012. Hodnocení energetické náročnosti se podle ní počítalo méně vypovídajícím způsobem, proto se hodnoty ukazatelů energetické náročnosti nemusejí ani pro stejný dům shodovat. Důvodem změny byla potřeba jednoznačnějšího výpočtu. Pokud se například v reklamních materiálech budou uvádět hodnoty podle původního průkazu, musejí tak vždy být označeny.

Tato hodnota říká, jak je budova kompaktní. Čím nižší hodnota, tím má budova v poměru ke svému objemu méně ploch, kterými uniká teplo. U stávajících budov již není možné tento faktor změnit. Ovlivnit jej lze při projektování nové budovy ve stádiu architektonického návrhu. Hodnota faktoru se běžně pohybuje zhruba mezi 0,2 (velmi kompaktní budova) a 1,2 (nekompatní budova).

Celková dodaná energie je hlavním ukazatelem energetické náročnosti budovy. Zjednodušeně řečeno se jedná o energii, která vstupuje do budovy nebo v některých případech na pozemek. Jde tedy například o množství elektřiny, které by proteklo elektroměrem při typizovaném užívání domu. Obdobně se může jednat o plyn či dálkové teplo. V případě pevných paliv, jako je biomasa či uhlí, se jedná o množství energie obsažené v palivu, které vám dovezou do domu. Do dodané energie se také počítá solární záření dopadající na sluneční kolektory nebo fotovoltaické panely a energie prostředí, kterou může využívat tepelné čerpadlo.

Všechny měrné hodnoty jsou vztaženy na jeden metr čtvereční energeticky vztažené plochy. Ta je uvedena v záhlaví průkazu.

Černá šipka s bíle vepsanou hodnotou ukazuje vždy stav hodnocené budovy a její zařazení do třídy energetické náročnosti. V případě prodeje či pronájmu jde o stávající budovu, v případě výstavby či renovace jde o hodnotu, kterou dosáhne nová resp. renovovaná budova. Zobrazená měrná hodnota zařazená do příslušné třídy slouží k porovnání energetické náročnosti jednotlivých budov mezi sebou.

Bílá šipka s černě vepsanou zkratkou slova "Doporučení" ukazuje, jak by se mohla zlepšit energetická náročnost budovy realizováním doporučených opatření (pokud jsou stanovena).

Tato část průkazu ukazuje energetickou kvalitu obálky a jednotlivých technických systémů budovy. Z toho lze vyčíst, zda nejvíc energie připadá na vytápění, nebo třeba na osvětlení, a na co se má vlastník soustředit, pokud chce energii a peníze ušetřit. Význam šipek je obdobný jako u hodnocení celkové dodané a neobnovitelné primární energie na první straně průkazu.

### PRŮKAZ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY

vydaný podle zákona č. 406/2000 Sb., o hospodáření energií, a vyhlášky č. xxx/2012 Sb., o energetické náročnosti budov

Ulice, číslo: .....  
 PSČ, místo: .....  
 Typ budovy: .....  
 Plocha obálky budovy: ..... m<sup>2</sup>  
 Objemový faktor tvaru A/V: ..... m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>  
 Celková energeticky vztažná plocha: ..... m<sup>2</sup>

FOTO

### ENERGETICKÁ NÁROČNOST BUDOVY

Celková dodaná energie (Energie na vstupu do budovy)		Neobnovitelná primární energie (Vliv provozu budovy na životní prostředí)	
Měrné hodnoty kWh/(m <sup>2</sup> ·rok)			
Mírně až velmi úsporná <b>A</b>	Dop. A	XXX	Dop. XXX
Velmi úsporná <b>B</b>	XXX B	XXX	XXX
Úsporná <b>C</b>	XXX C	XXX	XXX
Méně úsporná <b>D</b>	XXX D	XXX	XXX
Nehospodárna <b>E</b>	XXX E	XXX	XXX
Velmi nehospodárna <b>F</b>	XXX F	XXX	XXX
Mírně až velmi nehospodárna <b>G</b>	XXX G	XXX	XXX
Hodnoty pro celou budovu MWh/rok	XX		XX

### DOPORUČENÁ OPATŘENÍ

Opatření pro	Stanovena
Vnější stěny:	<input checked="" type="checkbox"/>
Okna a dveře:	<input checked="" type="checkbox"/>
Střechu:	<input checked="" type="checkbox"/>
Podlahu:	<input type="checkbox"/>
Vytápění:	<input checked="" type="checkbox"/>
Chlazení/klimatizaci:	<input type="checkbox"/>
Větrání:	<input checked="" type="checkbox"/>
Příprava teplé vody:	<input type="checkbox"/>
Osvětlení:	<input checked="" type="checkbox"/>
Jiné:	<input type="checkbox"/>

Popsat opatření je v protokolu průkazu a vyhodnocení jejich dopadu na energetickou náročnost je zahrnuto v příloze průkazu.

### PODÍL ENERGOONOSITELŮ NA DODANÉ ENERGIÍ

Hodnoty pro celou budovu MWh/rok

■ Elektřina ze sítě  
 ■ Teplo z energie prostředí  
 ■ Zemní plyn

### UKAZATELE ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY

Obálka budovy	Vytápění	Chlazení	Větrání	Úprava vlhkosti	Teplá voda	Osvětlení
Díleč dodané energie						
Měrné hodnoty kWh/(m <sup>2</sup> ·rok)						
A	Dop.		Dop.		Dop.	
B					XX	XX
C	X,XX	XX				
D			XX			
E						
F						
G						
Hodnoty pro celou budovu MWh/rok	XX	XX	XX	XX	XX	XX

Zpracovatel: .....  
 Kontakt: .....  
 Osvědčení č.: .....  
 Vyhотовeno dne: .....  
 Podpis: .....

Plocha obálky budovy je součet ploch vnějších stěn, oken, střechy a podlahy domu. Je to tedy plocha hranice, přes kterou uniká teplo do okolí.

Energeticky vztažná plocha je měřena po jednotlivých podlažích vždy k vnějším okrajům obvodových stěn. Je proto větší, než běžně uváděná užitná plocha. Její přesný výpočet stanoví vyhláška. Na energeticky vztažnou plochu se vážou všechny měrné hodnoty uvedené v tomto průkazu. Měrnou hodnotu daného ukazatele energetické náročnosti lze získat vydělením hodnoty pro celou budovu právě energeticky vztažnou plochou.

Neobnovitelná primární energie zjednodušeně říká, jaký je vliv budovy na životní prostředí. Tedy kolik neobnovitelné energie dodáme, aby se do budovy dodala třeba elektřina. Pokud do budovy dodám 1 MWh elektřiny ročně, pak potřebujeme 3x1 MWh primární energie k její výrobě (protože elektrárny fungují s určitou účinností). Naopak pokud využíváme solární energii, pak na 1 MWh dodané energie nepotřebujeme žádnou neobnovitelnou primární energii (ta je tedy 0 MWh).

Vynásobením měrných hodnot energeticky vztažnou plochou získáme výsledné hodnoty pro celou budovu. Ty odpovídají jejímu typizovanému užívání. Pokud budeme přetápět nebo přijde tuhá zima, pak skutečná spotřeba uvedené hodnoty převyšuje. Pozn.: hodnoty pro celou budovu jsou v megawatthodinách, kdežto měrné hodnoty jsou v kilowatt hodinách na metr čtvereční za rok. Jedna megawatthodina je tisíc kilowatt hodin.

Zde je vidět, zda zpracovatel stanovil doporučená opatření vedoucí ke snížení energetické náročnosti budovy. Ze zákona má tuto povinnost pouze u větší renovace, nicméně vlastník budovy si tuto službu může objednat i v ostatních případech. Podrobný popis opatření je v několikostránkovém protokolu, který vždy doprovází grafickou podobu průkazu.

Podle tohoto grafu si vlastník budovy či zájemce o její koupi nebo pronájem může udělat představu o ročních nákladech na energii při jejím typizovaném užívání. Hodnoty dodané energie za rok podle jednotlivých tzv. energonositelů si jednoduše vynásobí běžnou cenou megawatthodiny. Cena energie se liší podle dodavatele a tarifu, lze ji dohledat například v poslední faktuře. Pro položku „Slunce a energie prostředí“ se pak hodnota přirozeně násobí nulou.

Zpracovatel průkazu získává svou autorizaci od Ministerstva průmyslu a obchodu. Musí mít příslušné vzdělání, zkušenost a projít úspěšně zkouškou. Při chybně zpracovaném průkazu mu hrozí odebrání autorizace a pokuta. Ke svému podpisu nemusí dávat razítko, k příslušné autorizaci se žádná nepřiděluje. Pokud je razítko otištěno, jde o osobní razítko nebo razítko související s jinou odbornou činností zpracovatele. V případě pochybností lze jméno zpracovatele ověřit podle čísla osvědčení na internetových stránkách Ministerstva průmyslu a obchodu.

Pozn.: Uveden je vzor průkazu energetické náročnosti

Obrázek 3 - Průkaz energetické náročnosti budovy [8]

Od 1. 1. 2013 platí povinnost zpracovat PENB také v těchto situacích: [7]

- A. Od 1. ledna 2013 při prodeji nebo pronájmu budovy nebo její ucelené části, jako je například byt
- B. Od 1. července 2013 budovy užívané orgány veřejné moci s celkovou energeticky vztažnou plochou větší než 500 m<sup>2</sup>
- C. Od 1. ledna 2015 stávající bytové domy nebo administrativní budovy s celkovou energeticky vztažnou plochou větší než 1500 m<sup>2</sup>
- D. Od 1. července 2015 budovy užívané orgány veřejné moci s celkovou energeticky vztažnou plochou větší než 250 m<sup>2</sup>
- E. Od 1. ledna 2016 při pronájmu ucelené části budovy
- F. Od 1. ledna 2017 stávající bytové domy nebo administrativní budovy s celkovou energeticky vztažnou plochou větší než 1000 m<sup>2</sup>
- G. Od 1. ledna 2019 stávající bytové domy nebo administrativní budovy s celkovou energeticky vztažnou plochou menší než 1000 m<sup>2</sup>
- H. Od 1. ledna 2019 stávající rodinné domy s celkovou energeticky vztažnou plochou menší než 350 m<sup>2</sup>



## 1.6 Technická a legislativní analýza problematiky v zahraničí

V rámci českých metodik tepelně technického posuzování budov postačuje hodnocení především podle ČSN 73 054, TNI 73 0329 a vyhlášky č. 78/2013 Sb. Existují však další, především zahraniční nástroje, které se od českých i samy mezi sebou liší. Rozdíly jsou v přesnosti výpočtů, ale také v definovaných okrajových podmínkách [1].

### 1.6.1 Metodika PHPP

Passive House Planning Package je nástroj na optimalizaci a návrh nízkoenergetických a pasivních budov, který vyvinuli v Passivhaus Institutu v Darmstadtu v roce 1991. Na rozdíl od českých metodik se k výpočtu využívá vnitřní podlahová plocha, která je redukována o nevyužívané části, jako jsou sloupy od určité velikosti, schodiště a podobně. Tím dochází k přesnějšímu výpočtu, ale zároveň je tato metodika také přísnější [1]. Z uvedeného vyplývá, že pokud posuzovaný objekt splní podmínky pro pasivní domy stanovené PHI a byl hodnocený metodikou PHPP, určitě vyhovuje TNI 73 0329 a dokonce plní podmínky české legislativy pro budovy s téměř nulovou spotřebou energie. Ukázka návrhu v programu PHPP je na obrázku č. 1. Pro přehled jsem uvedl následující tabulku s rozdílem v požadavcích na pasivní standard rodinného domu podle TNI a PHPP.

Kritérium	Označení	Jednotka	Požadavek TNI	Požadavek PHI
Metodika výpočtu			TNI 73 0329	PHPP
Měrná potřeba tepla na vytápění	EA	kWh/(m <sup>2</sup> .rok)	≤ 20	≤ 15
Potřeba primární energie z neobnovitelných zdrojů	PEA	kWh/(m <sup>2</sup> .rok)	≤ 60	≤ 120
Neprůvzdušnost obálky budovy	n50	h <sup>-1</sup>	≤ 0,6	≤ 0,6

Tabulka 7 - Rozdíl v požadavcích na pasivní standard RD podle TNI a PHPP [1]

### 1.6.2 EPBD a EPBD II [3Z][4Z][1][9]

EPBD – Energy performance of building directive je směrnicí Evropského parlamentu pro energetickou náročnost budov z roku 2003. Evropské státy ji měly implementovat do svých právních systémů nejpozději do 4. ledna 2006. Postupem času byla zrušena a nahrazena novou směrnicí EPBD II 2010/31/EU z 19. května 2010 o energetické náročnosti budov, která doplňuje původní směrnici EPBD. U nás došlo k jejímu začlenění do našeho právního systému zákonem

č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií a souvisejícími prováděcími předpisy. Prováděcím předpisem k těmto legislativním úpravám je potom vyhláška č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov.

Tyto směrnice se zaměřují na stále rostoucí podíl budov na celkové spotřebě energie v Evropské unii, který činí 40 % a růst pokračuje. Stanovuje tedy základní opatření k nutnému snižování energetické závislosti a klade důraz především na významné snížení spotřeby energie a využívání energie z obnovitelných zdrojů.

## 2 Návrh variant vytápění a větrání pro novostavbu rodinného domu

### 2.1 Možnosti vytápění

Touto problematikou se podrobněji zabývá norma ČSN EN 15316-4-2 Tepelné soustavy v budovách - Výpočtová metoda pro stanovení energetických potřeb a účinností soustavy - Část 4-2: Výroba tepla na vytápění, tepelná čerpadla.

#### 2.1.1 Tepelná čerpadla [5]

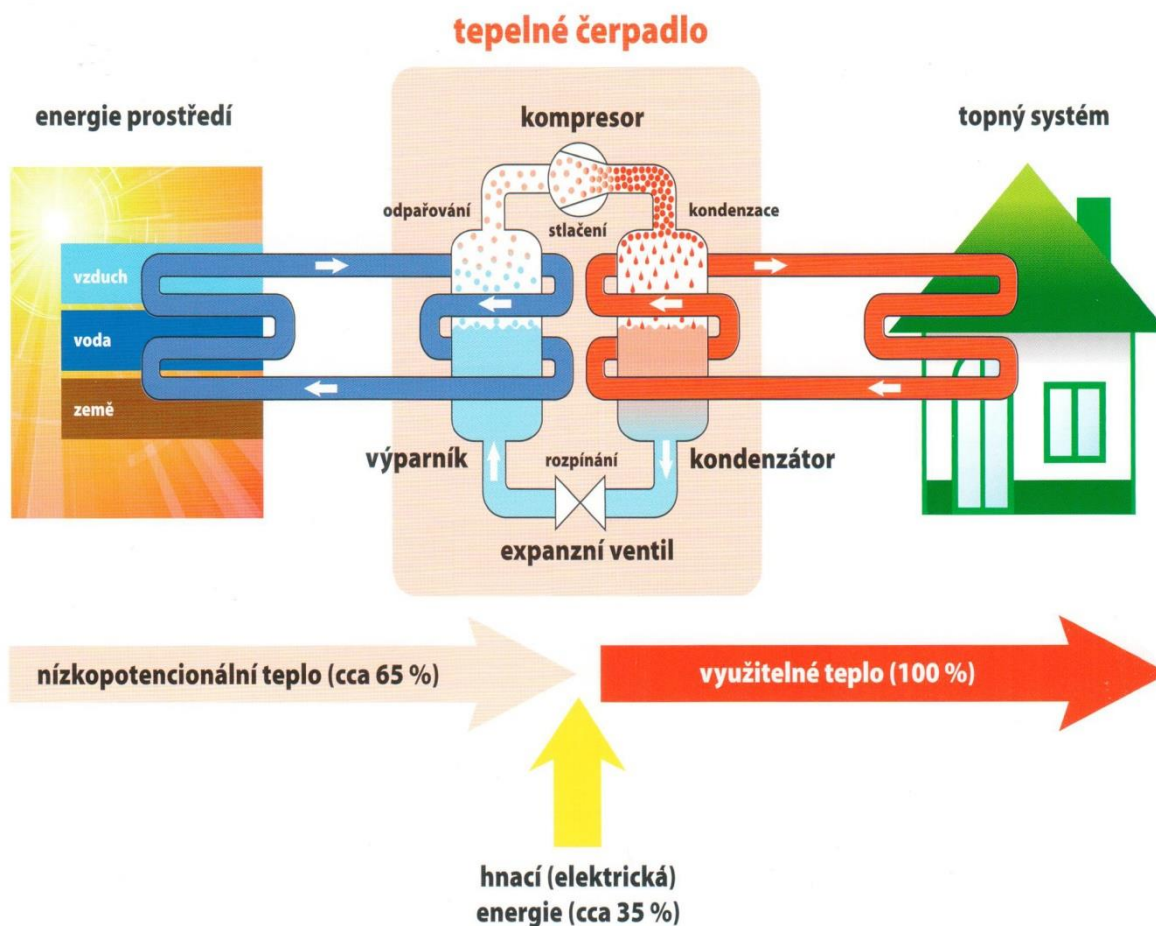
Tepelná čerpadla se řadí mezi takzvané alternativní zdroje energie, protože umožňují získávat tepelnou energii z okolního prostředí a dále ho převádět na vyšší teplotní hladinu za účelem využití pro vytápění, přípravu teplé vody, nebo i dalších zařízení, jako je například bazén. Dále je možno v letním období odčerpávat přebytečnou energii z interiéru do okolí a tím ochlazovat objekt. Podle normy ČSN EN 15316-4-2 je za tepelné čerpadlo považována jednotná nebo oddělená sestava navržená jako jednotka pro přenos tepla. Tato soustava zahrnuje kompresorový chladicí systém nebo dvojici chladicí / sorpční látky pro přenos tepla ze zdroje tepla do obvodu tepla s využitím elektrické energie nebo tepla s vysokou teplotou na odvodu tepla [5N].

Historie tepelných čerpadel sahá až do konce 19. století, kdy první exemplář zkonstruoval skotský matematik a fyzik Wiliam Kelvin. Z důvodu poklesu primárních zásob je poslední dobou kladen důraz na využívání nových, netradičních, nebo obnovitelných zdrojů energie. Tepelné čerpadlo získává z přírodních obnovitelných zdrojů nízkopotenciální teplo, které díky přeměnám chladiva ve vnitřním okruhu převádí na vyšší úroveň. Tento proces je nezbytný, nízkopotenciální energie má nízkou teplotu a nemůže tak být využito pro vytápění přímo.

Princip činnosti lze rozdělit do čtyř základních kroků, při provozu opakujícího se cyklu:

- 1) Vypařování probíhá ve výparníku, pracovní látka zde přebírá teplo ze zdroje. Látka se tímto odpařuje a přechází do kompresoru
- 2) Kompresor stlačí pracovní teplotonosnou látku, u které dojde k jejímu ohřátí

- 3) V kondenzátoru dojde k předání tepla teplotonosné látce topné soustavy, dojde tak jejímu ochlazení a kondenzaci
- 4) Po předání tepla se pracovní teplotonosná látka vrací zpět do výparníku



Obrázek 4 - Schéma tepelného čerpadla [5]

Pro správnou funkci tepelného čerpadla nezávisle na jeho typu jsou potřeba tři samostatné okruhy předávání energie:

1) Primární okruh

Úkolem primárního okruhu je předat tepelnou energii do chladícího okruhu prostřednictvím tepelného výměníku. Jde tedy o zdroj energie pro tepelné čerpadlo, který může mít podobu nemrznoucí směsi, která obíhá v zemním kolektoru, vody ze zdrojové studny, nebo proudu vzduchu procházející výparníkem tepelného čerpadla.

## 2) Kompresorový okruh

Kompresorovým okruhem myslíme uzavřený okruh naplněný chladivem. Na tomto okruhu jsou umístěny oba tepelné výměníky, tedy kondenzátor a výparník, dále potom kompresor a expanzní ventil.

## 3) Sekundární okruh

Účelem sekundárního okruhu je zabezpečení oběhu topné vody ve vytápěném objektu. V režimu vytápění topná voda přebírá teplo od horkého chladiva prostřednictvím tepelného výměníku.

Tepelné čerpadlo je nutné přiměřeně naddimenzovat pro konkrétní vytápěný objekt, aby byl zachován tepelný komfort. Systém vytápění s tepelným čerpadlem se standardně navrhuje jako bivalentní. To znamená, že se při velmi nízkých venkovních teplotách zapojuje dodatečný zdroj tepla. Standardně se jedná o elektrokotel, který může být přímo součástí tepelného čerpadla, nebo samostatně funkčním celkem. Některé systémy tepelných čerpadel, jak jsou země – voda, nebo voda – voda mohou být navrženy jako monovalentní, to znamená, že tepelné čerpadlo pokryje celou spotřebu tepla objektu. U monovalentních systémů tedy není nutné bivalentního zdroje tepla, pokud není kladen požadavek na záložní funkci.

V souvislosti s bivalentními systémy můžeme také narazit na pojem bod bivalence[5]. Tento termín označuje venkovní teplotu, při které je v rovnováze tepelný výkon dodávaný kompresorem a tepelná ztráta domu. Pokud by venkovní teplota klesla, došlo by k připojení bivalentního zdroje.

Topný faktor je definován jako poměr vyprodukovaného množství tepla a vynaložené energie. Je třeba mít na paměti, že úspora energie zajištěná tepelným čerpadlem není přímo úměrná jeho topnému faktoru. Tepelný faktor je taktéž závislý na podmínkách provozu, není tedy po celou dobu provozu konstantní. [3] Zpravidla se udává při různých teplotách vstupního a výstupního média. [4]

$$\varepsilon = \frac{Q_k}{P}$$

$\varepsilon$  [-] topný faktor

$Q_k$  [W] topný výkon tepelného čerpadla

$P$  [W] elektrický výkon potřebný k provozu tepelného čerpadla

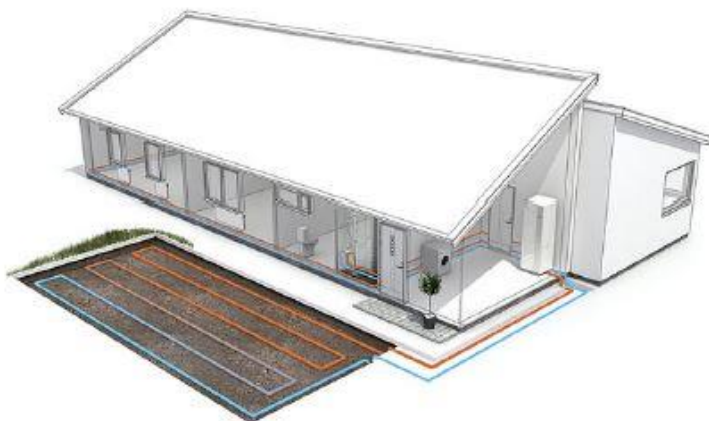
Topný výkon tepelného čerpadla je součtem výkonu získaného z vnějšího prostředí a tepelného výkonu vzniklého chodem kompresoru. U tepelných čerpadel vzduch – voda roste nebo klesá v závislosti na teplotě venkovního vzduchu. Protože u čerpadel země – voda nedochází k změně teploty primárního zdroje, mají tyto systémy konstantní topný výkon.

Štítky účinnosti byly zavedeny od října 2015. Jedná se o povinné značení účinnosti na základě normy ČSN EN 14825, která do českého právního systému vnáší ustanovení evropské směrnice 2009/125/EU. Tento štítek vyjadřuje zkušebně změřený průměrný roční topný faktor. V České republice se tato zkušebna nachází v Brně. Dále známe COP – což je vlastně tepelný faktor a SPF – sezónní topný faktor. [6N]

V závislosti na využívaném zdroji tepla rozdělujeme tepelná čerpadla na systém země – voda, voda – voda, nebo vzduch – voda a podobně.

### **2.1.1.1 Země – voda**

Tepelné čerpadlo s touto konstrukcí využívá teplo z plochy pozemku. Jako primární výměník jsou instalovány polyetylenové trubky s nemrznoucí směsí v horizontální poloze do přibližně 2 metrů pod povrchem pozemku (v nezámrazné hloubce je stálá teplota přibližně 4 °C). Výhodou této instalace je bezesporu úspora nákladů oproti hlubinným vrtům. Mezi nevýhody tohoto provedení závislost topného faktoru na ročním období a fakt, že většinu energie systém přebírá ze zeminy nad sebou, v zimních měsících tedy jeho účinnost klesá. Dále je potřeba mít k dispozici dostatečně velký pozemek. Obecně lze říci, že na 1 kW výkonu tepelného čerpadla je potřeba přibližně 30 m<sup>2</sup> pozemku. Dále je potřeba počítat s faktem, že instalací tohoto zemního kolektoru znemožníme další větší stavby na pozemku – mohlo by totiž dojít k poškození polyetylenových trubek stavební technikou. Pro vášnivě zahrádkáře může být problémem ochlazování povrchové vegetace. [11]



Obrázek 5 - Tepelné čerpadlo země – voda [10]

### **2.1.1.2 Země – voda (vrt)**

Tepelné čerpadlo s využitím hlubinných vrtů je asi finančně nejnákladnější. Cenu nezvyšují ani tak komponenty samotného tepelného čerpadla, ale především hlubinné vrtu. Ty mají průměr 12 až 16 cm a hluboké jsou od 80 do 150 m. Můžeme říci, že na 1 kW výkonu tepelného čerpadla je potřeba přibližně 12 m vrtu. Vrtů může být jeden nebo více, záleží na požadovaném tepelném zisku. V každém z vrtů jsou polyetylenové trubky, které jsou spojeny do smyčky a tvoří tak primární výměník. V tomto výměníku obíhá ekologická nemrznoucí směs. Výhodou vrtů je jejich vysoký topný faktor, tento systém může být a často je projektován jako monovalentní. Další mi nespornými výhodami jsou stabilita výkonu i při extrémně nízkých venkovních teplotách, prostorová nenáročnost (na rozdíl od primárního okruhu uloženého horizontálně v zemi), možnost pasivního chlazení v letních měsících. Chladicí funkce však nemůže plnohodnotně nahradit klasickou klimatizaci, pokud na to není otopná soustava předem

připravena. Využívají-li se k vytápění domu klasické radiátory, je potřeba hlídat rosný bod, aby nedocházelo k jejich rosení a skapávání vody na podlahu. Kromě vysokých investičních nákladů může být pro někoho odrazující nutnost zajištění geologického průzkumu a vyřizování povolení před samotným provedením vrtu(ů). [11]



Obrázek 6 - Tepelné čerpadlo s hlubinným vrtem [10]

#### **1.1.1.1 Vzduch – voda**

Při této konfiguraci tepelného čerpadla dochází k odebírání tepla z venkovního vzduchu. Vzduch je nasáván za pomoci ventilátoru přímo do tepelného čerpadla a předává získané teplo do zásobníku teplé vody, nebo přímo do topného systému. Tento zdroj bývá finančně nejdostupnějším, nicméně topný faktor tohoto zdroje především v zimních měsících výrazně klesá, proto se takovéto systémy zpravidla konfigurují jako bivalentní, pokud se neinstalují v lokalitách, kde se i v zimě teplota vzduchu pohybuje nad 0 °C. Další nevýhodou může být hluk z venkovního ventilátoru, přestože splňuje hygienické normy. Je také potřeba počítat s umístěním venkovní jednotky, která se nemusí hodit k vzhledu budovy, zvláště pokud by takových jednotek bylo více.



Obrázek 7 - TČ vzduch – voda [10]



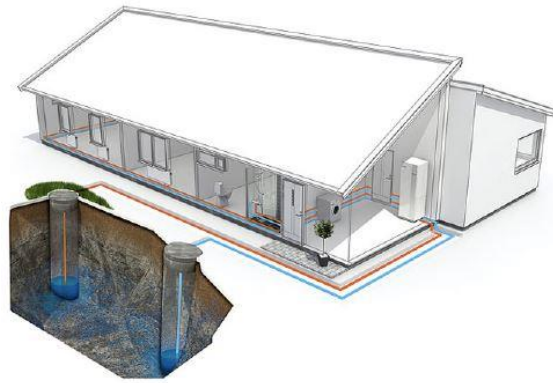
### **2.1.1.3 Vzduch – vzduch**

Tepelné čerpadlo odebírá teplo z venkovního vzduchu, které dále využívá pro ohřev vzduchu uvnitř vytápěné budovy. Tato sestava se používá převážně v malých objektech rekreačního charakteru a pouze jako doplnění stávajícího, většinou elektrického vytápění. Výhodou jsou malé pořizovací náklady, možná funkce čištění vzduchu díky vestavěným filtrům a ionizátorům a odvlhčení místnosti. Nevýhodou je nemožnost takovýmto čerpadlem ohřívat vodu a omezení rozsahu instalace, většinou má čerpadlo vzduch – vzduch pouze jednu vnitřní jednotku.

### **2.1.1.4 Voda – voda**

Tyto systémy využívají tepelné energie povrchové, podzemní a méně často také odpadní vody. V případě povrchových vod lze využít například vodní toky, přírodní a umělé vodní nádrže. Obdobně jako u ostatních sestav i zde vede od tepelného čerpadla smyčka z polyetylenových trubek s nemrznoucí směsí k tomuto zdroji, kde dojde k tepelné výměně a transportu zpět k tepelnému čerpadlu, kde se opět zvýší teplota média pro další využití. Hlavní nevýhodou je omezená dostupnost takového zdroje tepla. Nutné je také získat povolení od správce toku, kterým bývá Povodí, do kterého daný vodní tok spadá.

V případě využití podzemní vody se mohou využít studny, jeskynní jezera, doly a hlubinné vrty. Voda je čerpána přímo do výměníku. Toto řešení však naráží na velmi podstatné problémy s kvalitou vody a s tím související údržba výměníku. Před realizací je nutno provést průzkumy hydrogeologických podmínek. Je nutno počítat s možným kolísáním přítoku podzemní vody (pro rodinný dům je nutná vydatnost minimálně 0,5 l/s), proto se realizace doporučuje v oblastech s velmi dobrými hydrogeologickými podmínkami. Pokud by se realizovala varianta s využitím studny, je nutné provést hydrogeologické posouzení vydatnosti studny pomocí čerpací zkoušky. Ta probíhá po dobu 14 dnů odčerpáváním vody pomocí ponorného čerpadla potřebnou rychlostí. Pro úspěšné splnění této zkoušky nesmí ve studni dojít k vyčerpání vody. Také nesmí být ovlivněny hladiny okolních studní. Až na základě této zkoušky může být vydáno povolení k užívání podzemní vody.



Obrázek 8 - Tepelné čerpadlo voda – voda [10]

Tepelná čerpadla typu voda – voda jsou v případě využití podzemní vody jedny z neúčinnějších. Je tomu především z toho důvodu, že podzemní voda má stálou průměrnou teplotu přibližně 10 °C. Tato teplota se nemění ani s teplotními změnami na povrchu. Topný faktor se pohybuje kolem čísla 6. [12]

### 2.1.2 Kotel na pevná paliva

Kotle na pevná paliva se od sebe liší typem spalovaného paliva. Z tohoto hlediska je potřeba zvážit nejen cenu a dostupnost spalovaného paliva, ale také naše možnosti na jeho skladování. V dnešní době hraje významnou roli také palivová univerzálnost kotle, to znamená, že je schopen spalovat více druhů paliva, nebo dokonce jejich kombinaci. [13]

Významnou vlastností kotle je jeho schopnost řízení spalovacího procesu. Touto schopností máme především na mysli automatickou kontrolu přísunu paliva a spalovacího vzduchu do ohniště. Přísun spalovacího vzduchu dělíme na:

- A. přirozený, který je závislý pouze na tahu komína. Tah komína vytvoří v ohništi podtlak a tím je do ohniště zajištěn přísun vzduchu.
- B. nucený, kdy podtlak v ohništi vytváří a reguluje odtahový nebo tlačný ventilátor. Nucený přísun vzduchu má větší kontrolu nad spalovacím procesem.

Přísun paliva rozděluje norma ČSN EN 303-5. na kotle:

- A. S ruční dodávkou paliva, tedy takové, kde musí obsluha kotle ručně v určitých intervalech v závislosti na rychlosti hoření a tepelném výkonu oddávat palivo do ohniště.
- B. Se samočinnou dodávkou paliva. Jak název napovídá, u tohoto kotle je palivo dávkováno automaticky v závislosti na tepelném výkonu

Kotle můžeme také dělit podle technologie spalování.

### **2.1.2.1 Prohořivací kotel**

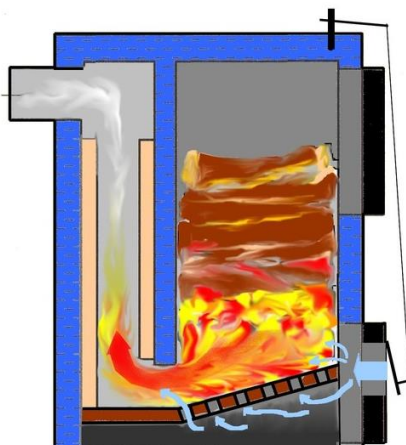
Podle normy ČSN 07 0240 o teplovodních a nízkotlakých parních kotlích se jedná o kotel, v němž probíhá postupné spalování paliva a spaliny procházejí přes vrstvu paliva. U tohoto kotle dochází k rychlému nahoření celé vrstvy paliva. Tato skutečnost vede k nekontrolovatelnému uvolňování prchavé hořlaviny. Typickým představitelem tohoto typu spalování jsou velmi rozšířené litinové kotle. Kvůli nekontrolovatelnému úniku prchavé hořlaviny tyto kotle dosahují maximálně emisní třídy 2. Proto na základě zákona č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší jejich prodej skončil v roce 2013 a po roce 2022 je nebude možné dokonce ani provozovat.



Obrázek 9 - Prohořivací kotel [13]

### **2.1.2.2 Odhořivací kotel**

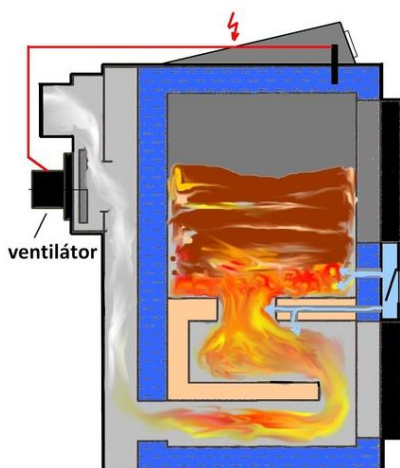
Podle normy ČSN 07 0240 o teplovodních a nízkotlakých parních kotlích se jedná o kotel, v němž probíhá postupné spalování paliva ve vrstvě plynule doplňované a spaliny neprocházejí přes vrstvu paliva. Při spalování u tohoto typu kotle palivo odhořívá postupně ve spodní části násypky. Regulace přísunu paliva je tak závislá na roštování – uvolňování popela z roštu. Oproti prohořivacímu kotli zde prchavá hořlavina uvolněná z paliva prochází zónou vysokých teplot a využití hořlaviny je tak o něco efektivnější. Navzdory tomu i odhořivací kotle dosahují maximálně emisní třídy 3 a proto budou dle zákona č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší jejich prodej ukončen v roce 2017. Provozovány po roce 2022 budou moci být jen za předpokladu, že dosáhly emisní normy 3.



Obrázek 10 - Odořivací kotel [13]

### 2.1.2.3 Zplyňovací kotel

Zplyňovací kotel je vlastně vylepšený odořivací kotel s ručním přikládáním, avšak je vylepšen o ventilátor, který se stará o řízený přísun spalovacího vzduchu za účelem dosažení vyšší úrovně spalování. Touto regulací se také omezil vliv komínového tahu na kvalitu spalování. Díky této nové technologii se výrazně zvýšila kontrola jak nad procesem spalování, tak nad únikem prchavé hořlaviny, která nyní dokonale vyhoří. Tyto kotle standardně dosahují emisní třídy 3, proto se zatím neplánuje zastavení jejich prodeje.

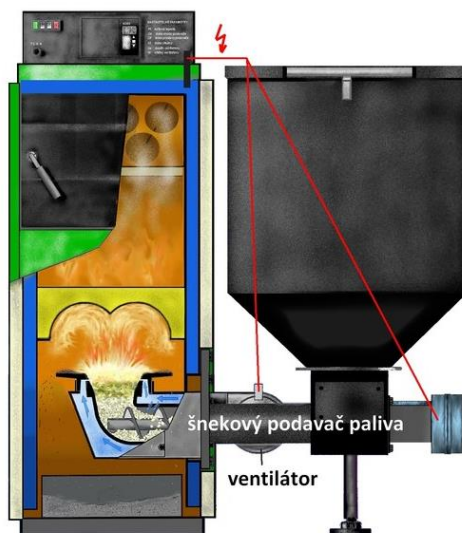


Obrázek 11 - Zplyňovací kotel [13]

### 2.1.2.4 Automatický kotel

Jak název napovídá, hlavní předností automatického kotle je samočinná dodávka paliva. Tento kotel je také vybaven ventilátorem pro přísun spalovacího vzduchu. První samočinné kotle nebyly určeny pro domácí použití, zejména kvůli jejich velikost. Proto se i samotná definice automatických kotlů objevila až v normě EN 303-5, která na našem území nabyla

platnosti v roce 2000. Automatické kotle dosahují při spalování uhlí emisní třídy 3 a 4, při spalování pelet až třídy 5. [13]



Obrázek 12 - Automatický kotel [13]

## 2.2 Možnosti větrání

V současné době je větrání velmi diskutovanou veličinou. Napomáhá tomu především trend energeticky úsporného bydlení, který je jednou z hlavních příčin, proč se lidé začínají zajímat o řízené větrání a kvalitu vzduchu obecně. Na stavbu jako takovou jsou kladeny v souvislosti s rostoucí cenou energií nároky na tepelné izolační vlastnosti stavebních konstrukcí. Například u oken a dveří se řeší míra neprůvzdušnosti. Z toho vyplývá, že se téměř zamezilo přirozenému větrání prostor, což má sice pozitivní dopad z hlediska úspory energií, na druhou stranu má však negativní dopad na kvalitu vzduchu ve vnitřním prostředí a tím i zdraví a pohodu přítomných osob. Vždyť větrání patří od nepaměti k základním hygienickým návykům! Výzkumníci všude po světě se shodují, že nedostatečný přísun čerstvého vzduchu vede mimo jiné k výskytům plísní, které rozhodně lidskému zdraví také neprospívají.

Až do roku 2011 byla situace okolo větrání v České republice nejasná. Některé požadavky byly kladeny vyhláškou č. 268/2009 Sb., nicméně v nedostatečné míře. Doporučené průtoky byly uvedeny v normě ČSN EN 15251. Značná nepřehlednost a neexistence dokumentu, který by jasně definoval množství přiváděného vzduchu a správný návrh větracího systému skončila až s příchodem normy ČSN EN 15 665. [14]

Minimalizace energetické náročnosti se nevyhnula ani větrání, zde se využívá především rekuperace a nuceného větrání. Dále se při návrhu větracího systému zohledňuje počet osob dané místo obývajících. Poměr objemového průtoku přiváděného venkovního vzduchu k objemu vnitřního větraného prostoru nazýváme intenzitou větrání. Jedním ze základních požadavků je trvalý přívod venkovního vzduchu s minimální intenzitou větrání  $0,3 \text{ h}^{-1}$  v pokojích, ložnicích, kuchyních a podobně [7N]. Spíše se však doporučují hodnoty dosahující intenzity větrání  $0,5$  až  $0,7 \text{ h}^{-1}$ . V případě, že nejsou budovy dlouhodobě užívány, je možné snížit intenzitu větrání na hodnotu  $0,1 \text{ h}^{-1}$  [8N].

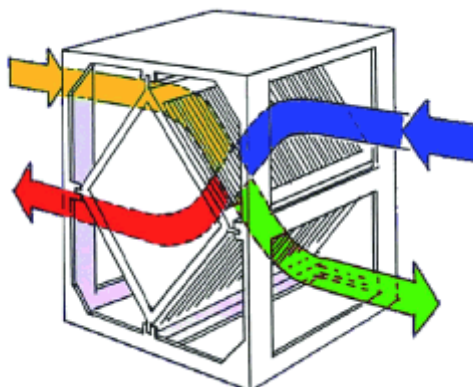
Dalším základním požadavkem je, že systém musí rovněž zajistit odvod vzduchu z místností, kde se vyskytuje zdroj znečišťujících látek. Těmi látkami můžeme mít na mysli škodliviny vznikající při nejrůznějších činnostech v domácnosti, pachy, vlhkost a podobně. Za normálního provozu odpovídá průtok odváděného vzduchu přiváděnému, nicméně pro hygienické zázemí a kuchyň je ještě definováno nárazové větrání, které je intenzivnější, ale po kratší dobu.

Pro trvale obydlené prostory jsou doporučeny především tyto systémy větrání [34]:

- A. Nucené podtlakové větrání – při tomto typu větrání je přívod vzduchu řešen otvory v obvodových stěnách, nebo ve výplních stavebních otvorů. Odvod vzduchu obstarávají lokální odvodové ventilátory nebo jeden centrální. Do přívodu vzduchu se může instalovat tlumič hluku, filtr a je doporučeno, aby umožňoval regulaci průtoku vzduchu. U ventilátorů je nutné, aby jejich konstrukce dovolovala překonat tlakové ztráty přívodních a převáděcích otvorů a odvodního vzduchovodu. Jelikož se větrací otvory umísťují za, nebo nad topná tělesa, je zajištěno ohřívání přívodního vzduchu.
- C. Hybridní větrání – takovýto systém kombinuje přirozené a nucené větrání. Vznik tomuto systému dal požadavek na minimalizaci spotřeby energie při zachování kvality vnitřního vzduchu. Srdcem systému je řídicí systém, který na základě koncentrace  $\text{CO}_2$  nastavuje provozní režim budovy.
- D. Nucené rovnotlaké větrání – je z těchto tří systému nejvíce technicky vyspělé. Větrací jednotka je vybavena filtrací vzduchu a ohříváčem vzduchu. Největší výhodou této sestavy je časté zařazení systému pro zpětné získávání tepla.

### 2.2.1 Zpětné získávání tepla – rekuperace

Zpětné získávání tepla je proces, při kterém se z odváděného vzduchu z budovy odebírá teplo, které je předáváno vzduchu, jenž je do objektu přiváděn.



Obrázek 13 - Zpětné získávání tepla, deskový rekuperátor [34]

Jednotek pro zpětné získávání tepla je několik druhů, které můžeme rozdělit do dvou základních skupin [34] [35]:

#### 1. Rekuperační výměníky

Tyto výměníky jsou založeny na principu předávání vzduchu z odváděného odpadního vzduchu na přiváděný čerstvý vzduch.

##### a. Výměníky s pohonem teponosného média a kapalinovým okruhem

Tato zařízení se skládá ze dvou výměníků tepla, které jsou propojeny kapalinovým okruhem. Přenos tepelné energie tak probíhá ze vzduchu na kapalinu a zpět na vzduch. Jako kapalina se používá zpravidla nemrznoucí směs. Velkou výhodou takového systému je, že příliš nezáleží na vzdálenosti přívodního a odvodního potrubí vzduchotechniky. Pro hovoří také absolutní oddělení odvodního a přívodního vzduchu. Nevýhodou je potřeba pohánět čerpadlo, které tak navyšuje spotřebu elektrické energie. Účinnost takovýchto systémů se pohybuje kolem 60 – 70 %.

##### b. Výměníky bez pohonu teponosného média s tepelnými trubkami

Funkčnost tohoto systému zajišťuje tepelná trubice, což není nic jednoduššího, než uzavřená trubka s chladivovou náplní. Náplň může být čpavek, freon, nebo dokonce pouze voda. Odváděný vzduch proudí kolem spodní části trubky, kde díky vlastnostem chladivové náplně dochází k varu a stoupání náplně vzhůru. Kolem horní části trubky proudí čerstvý vzduch, který se od chladivové náplně ohřívá. Tento

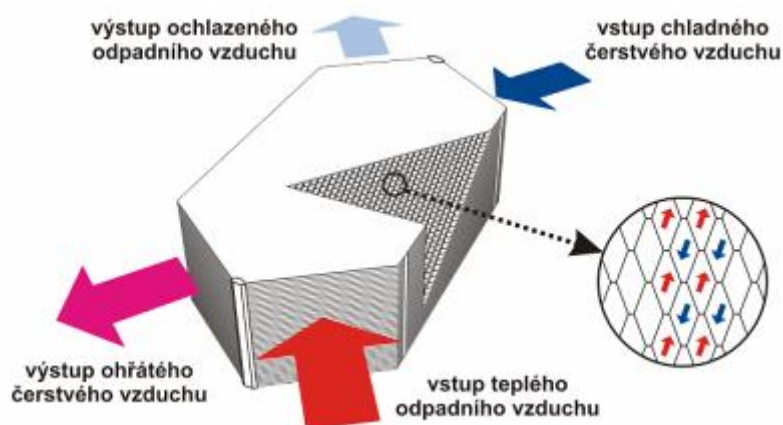
proces se cyklicky opakuje. Velkou výhodou tohoto systému je, že není potřeba dodatečný pohon pro pohyb chladivové náplně. Účinnost takovýchto výměníků se pohybuje kolem 65%.

c. Zařízení s nuceným pohonem chladiva – tepelná čerpadla

U tohoto typu dochází k přenosu výparného tepla chladivové náplně za pomoci kompresoru tepelného čerpadla. Výměníky výparníku a kondenzátoru mohou být odděleny, nebo se mohou nacházet v jedné vzduchotechnické jednotce. Často se využívá v kombinaci s tepelnými čerpadly typu vzduch – vzduch. Systém sice získává teplo ze vzduchu, nicméně nepracuje s výměnou vzduchu v prostorách, proto je nutné dodatečně zajistit potřebné požadavky na kvalitu vzduchu.

d. Přímá výměna tepla – deskové rekuperátory

Deskové rekuperátory jsou z v dnešní době jednoznačně nepoužívanější. Na této skutečnosti se podílí fakt, že v poslední době došlo k výraznému zvýšení účinnosti z původních cca 50 % na dnešních 80- 90 %. Tohoto navýšení bylo dosaženo především změnou konstrukce rekuperátoru z čtvercových na šestiúhelníkové. Touto změnou došlo ke změnám průtoků vzduchu a vylepšení vlastností shodných s protiproudými výměníky. Další nespornou výhodou jsou nízké pořizovací náklady. Není potřeba žádný dodatečný pohon a pro hovoří i bezpečné oddělení přívodního a odvodního vzduchu.



Obrázek 14 - Šestiúhelníkový výměník [34]



## 2. Regenerační výměníky

U tohoto typu zařízení pro zpětné získávání tepla dochází k předávání tepla prostřednictvím akumulační hmoty.

- a. Rotační výměníky jsou zařízení, u kterých dochází ke změně polohy akumulační hmoty při stálém směru vzduchu. Jako akumulační hmota zde figuruje rotor tvořen z hliníkových plechů, který řídí předávání tepla z proudu teplého vzduchu na studený. Účinnost těchto zařízení je přibližně 70 – 85%. Celá výměna je pochopitelně závislá na otáčkách rotoru a rychlostech protékajících proudů vzduchu. Tento systém má však problémy s kondenzací, která působí negativně na rotor, zvláště při nízkých teplotách může dojít k jeho zamrznutí a tím jeho zničení. Zdroj uvádí, že rotor je nejdražší část systému, navíc je k němu potřeba dalšího energetického pohonu a tím se provoz celého systému opět prodražuje.
- b. Přepínací výměníky jsou zařízení, u kterých je akumulační hmota stálá, ale mění se směr vzduchu. Funkčnost zajišťují dva akumulační výměníky, přes které proudí střídavě čerstvý odpadní vzduch. Přepínání zajišťují automatické klapky. Nevýhodou je, že se část vzduchu při přepínání klapek dostává zpět a to v nezanedbatelném množství 5 -10 % z celkového objemu.

## 2.3 Popis stávajícího stavu objektu

Objekt, který jsem si pro tuto práci vybral, je rodinný dům mých rodičů. Stavba byla provedena podle projektu od společnosti Gservis Klassik 165. Dům se nachází v obci Seletice ve střeďočeském kraji, přibližně 17 km od Nymburku v nadmořské výšce 273 m n. m.



Obrázek 15 - Rodinný dům Klassik 165

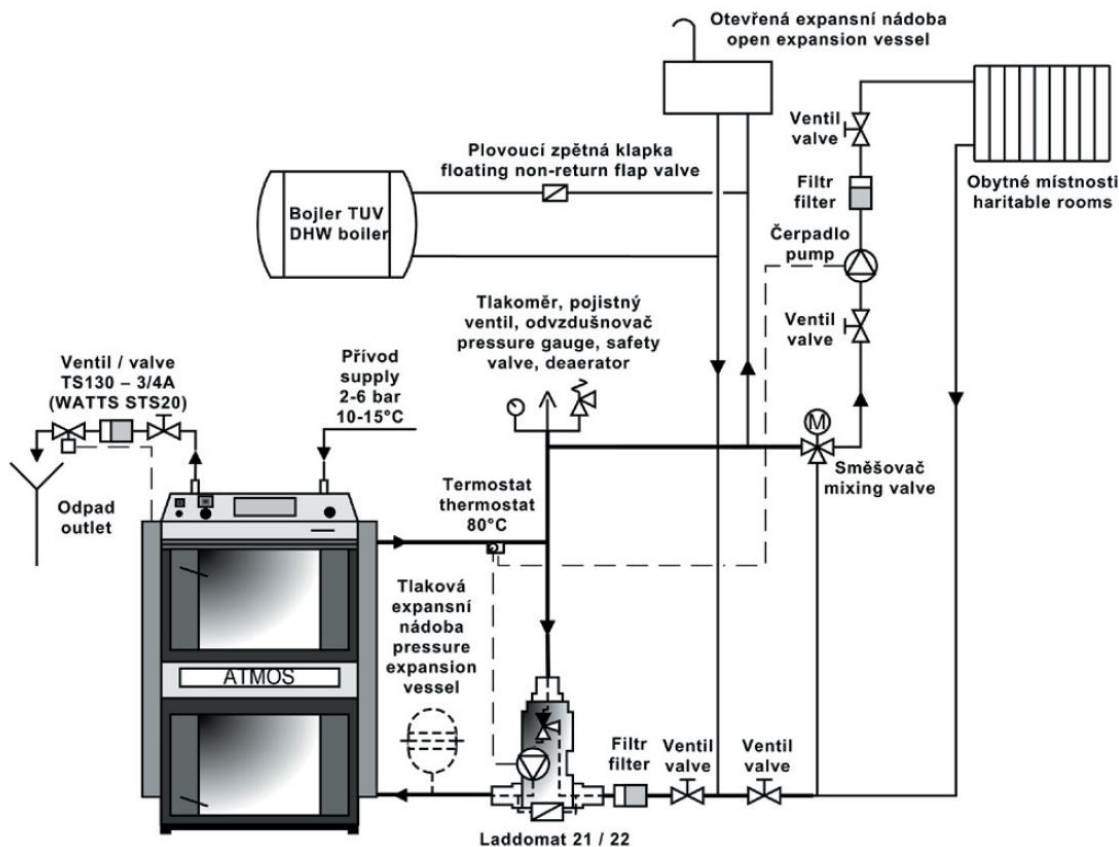
Tuto stavbu jsem si vybral především z toho důvodu, že jsme dům stavěli svépomocí a tak jsou mi známy veškeré okolnosti jeho vzniku - od výkopových prací až po finální instalace. Dalším, především praktickým důvodem mého výběru je fakt, že současný způsob vytápění rodinného domu nám naprosto nevyhovuje a neslučuje se s našimi představami o komfortním bydlení.



Obrázek 16 – Kotel na pevná paliva Atmos C 30 S [36]

Z důvodu neexistující plynofikace obce je v současné době dům vytápěn kotlem na pevná paliva, konkrétně se jedná o Atmos C 30 S s výkonem 22 – 32 kW, což je zplynovací kotel, ve kterém je možné spalovat hnědé uhlí a dřevo. Podle ČSN EN 303 – 5 uvádí výrobce ekologickou třídu 4. Kotel je vybaven odtahovým ventilátorem pro lepší odtah spalin z kotle. Tento kotel je nutné provozovat v zapojení s Laddomatem 21 nebo 22, v našem případě je použit model 21. Laddomat má v systému několik úkolů. Během zátopy pomáhá, aby kotel rychle dosáhl provozní teploty. To je důležité především proto, aby studená

voda ze systému vlivem samotížného oběhu neochlazovala kotel a tím nesnižovala jeho účinnost. Udržení optimální provozní teploty je také nutné pro udržení nízké tvorby dehtu. Pokud jsou v systému akumulční nádrže (zde nikoliv), stará se Laddomat také o jejich optimální nabíjení a převod zbytkového tepla po ukončení topení do nádrží. Další funkcí Laddomatu je hlídání provozní teploty vody v kotli, která se pohybuje od 80 do 90 °C.[37] Právě tato funkce způsobuje obyvatelům domu potíže. Jelikož dům není obýván nepřetržitě, zejména v zimních měsících trvá poněkud dlouho, než se dům po příjezdu z práce vytopí. Je to zapříčiněno skutečností, že kotel si poměrně dlouho topí „sám pro sebe“, než je dosaženo optimální teploty a Laddomat pustí teplou vodu do otopného systému. Tím však dojde k navrácení zchlazené vody do kotle, který se tímto posune opět pod svou optimální provozní teplotu, celý proces se několikrát opakuje a dosažení komfortní teploty se neustále oddaluje. Dalším důvodem nespokojenosti s tímto zařízením je nutnost jeho trvalé obsluhy a znečištění obytných prostor při dodávce paliv a vynášení popela.



Obrázek 17 - Předepsané zapojení kotle s Laddomatem 21/22 [37]

Dalším neduhem tohoto systému bylo původní propojení ohřevu teplé užitkové vody a otopné soustavy, jak je vidět na obrázku výše. Během provozu totiž může nastat situace, kdy se například při vyhasínání kotle vrací z otopného systému do kotle voda chladnější než je ta v bojleru a tím se bojler ochlazuje. Zjednodušeně řečeno nám elektrický bojler ohřívá vodu v otopném systému, což je pochopitelně velice neekonomické, proto bylo toto propojení zrušeno.

O ohřev teplé užitkové vody se tedy stará výhradně elektrický bojler o objemu 200 litrů a výkonu 2,2 kW. Jedná se konkrétně o typ OKCE 200, vyrobený v družstevních závodech v Dražicích. Dále je instalován elektrokotel Protherm Rejnok, schopný pracovat ve čtyřech výkonových stupních – 6, 9, 12, 15 kW. Větrání domu je řešeno okny.

Z důvodu nespokojenosti se stávajícím stavem je nutné nalézt nový zdroj vytápění, který bude efektivní, ekologický a nebude vyžadovat trvalou obsluhu. Jak jsem již nastínil, dům se nachází uprostřed lesů v malé obci, kde není zaveden plyn. Jediným možným řešením je tedy nezávislý zdroj tepla – tepelné čerpadlo.

## 2.4 Tepelná ztráta objektu

Pro správné navrhnutí nového zdroje vytápění a větrání je zapotřebí znát tepelnou ztrátu objektu a roční spotřebu tepla. Tyto údaje jsem vyhledal v technické zprávě ústředního topení, která je součástí dokumentace domu. Zpráva pochází z roku 2000, výpočet je tedy proveden ještě podle staré normy ČSN 060210, která je již v dnešní době zrušena. V technické zprávě je pro tuto oblast uvedena zimní výpočtová teplota  $t_z = -15\text{ °C}$ , tepelná ztráta objektu 26,5 kW a roční spotřeba tepla 57,2 MWh. Protože se mi tyto hodnoty zdají být vysoké a vím, že při stavbě bylo oproti projektu několik změn, které mohou pozitivně ovlivnit vlastnosti domu, musím tyto hodnoty ověřit vlastním výpočtem.

Nejprve jsem ověřil správnost zimní výpočtové teploty  $t_z = -15\text{ °C}$ , protože norma ČSN 060210 již neplatí. Venkovní výpočtové teploty pro jednotlivé oblasti byly rozděleny následovně:  $t_z = -12, -15, -18\text{ °C}$ . Dnes rozdělení řeší norma ČSN 73 0540 – 3, podle této tabulky:

<b>Teplotní oblast</b>	<b>Průměrná nadmořská výška v teplotní oblasti <math>h_m</math> m n.m</b>	<b>Základní návrhová teplota venkovního vzduchu pro 100 m n.m. <math>\Theta_e, 100</math> °C</b>	<b>Základní teplotní gradient nad 100m n.m. <math>\Delta\Theta_e, 0</math> K</b>
1	240	-12	-0,5
2	320	-14	-0,3
3	540	-16	-0,2
4	820	-18	-0,2

Tabulka 8 - Teplotní oblasti České republiky v zimním období, jejich průměrná nadmořská výška, základní návrhová teplota venkovního vzduchu a teplotní gradient [9N]

Vzhledem k nadmořské výšce 273 m n. m jsem zimní výpočtovou teplotu ponechal na hodnotě  $t_z = -15\text{ °C}$

Tepelná ztráta celého objektu je součtem tepelných ztrát všech konstrukcí, ztrát infiltrací a větráním. Pro komerční výpočet tepelných ztrát a vypracování průkazu energetické náročnosti budovy je možné využít speciální placený software. Jelikož jsou všechny místnosti v domě vytápěny na jednu teplotu, konkrétně se vytápění v jednotlivých částech domu neliší o více než 4 °C a je použit jeden systém vytápění a větrání, mohu dle normy ČSN EN ISO 13 790 uvažovat dům jako jednu zónu. Při výpočtu tak nemusím uvažovat prostup tepla z místnosti do místnosti a

stačí mi se zaměřit na obvodové stěny nadzemní, obvodové stěny ve styku se zeminou, strop pod nevytápěným prostorem, a podlahu ve styku se zeminou.

Pro výpočet ztrát je potřeba znát celou konstrukci domu, která tvoří její obálku. Důležitá je především skladba stěn, podlah, stropů a jejich rozměry. Z těchto informací vypočítám tepelně izolační vlastnosti těchto konstrukcí. U oken a dveří jsou tyto hodnoty poskytnuty přímo výrobcem. Dům je dvoupodlažní a je celý podsklepen.

## 2.4.1 Prostup tepla vícevrstvou konstrukcí

Výpočet prostupu tepla vícevrstvou konstrukcí se týká stěn v 1PP, 1NP a 2NP, dále pak podlahy v 1PP a stropu pod nevytápěnou půdou. Pro získání požadovaných hodnot jsem využil online kalkulačku na serveru tzb-info.cz [15].

### 2.4.1.1 1PP - stěny

Při výstavbě rodinného domu byla do připravených pasů pod nosné stěny a dalších 17 cm nad ně vylita základová deska. Poté byl použit systém ztraceného bednění, ze kterého se vystavěly obvodové stěny, připravila armatura a následně se toto bednění vylilo betonem. Dále se stěny a základová deska natřela asfaltovým nátěrem, navařily dvě vrstvy asfaltové lepenky, jedna se skelnou rohoží, druhá s polyesterovou. Tím se připravila izolační vana, do které se teprve začal stavět dům z pálených cihlových bloků Porotherm o šířce 40 cm.

	<b>Materiál</b>	d [m]	$\lambda_u$ [W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]	R <sub>j</sub> [m <sup>2</sup> K/W]	$\theta_j$ [°C]
Exteriér ← Interiér	Omítka	0,03	0,88	0,034	19,2
	Porotherm	0,4	0,150	2,667	-6,71
	Vzduchová vrstva	0,1	0,147	0,68	-13,27
	Asfaltová lepenka	0,004	0,21	0,019	-13,45
	Asfaltová lepenka	0,004	0,21	0,019	-13,46
	Asfalt	0,001	0,7	0,001	13,65
	Železobeton	0,2	1,43	0,14	-15

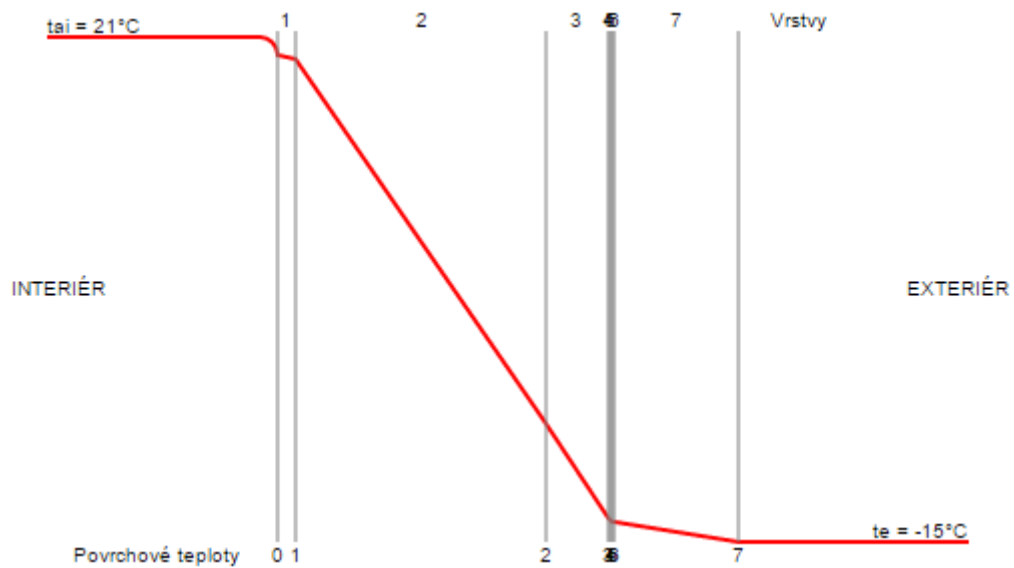
Tabulka 9 - Složení konstrukce stěny 1PP

d [m]                      tloušťka dané části konstrukce

$\lambda_u$  [W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>]        Návrhová hodnota součinitele tepelné vodivosti [9N]

R<sub>j</sub> [m<sup>2</sup>K/W]              Tepelný odpor jednotlivé vrstvy

$\theta_j$  [°C]                    Teplota



Graf 1 - Graf průběhu teplot v konstrukci stěny 1PP

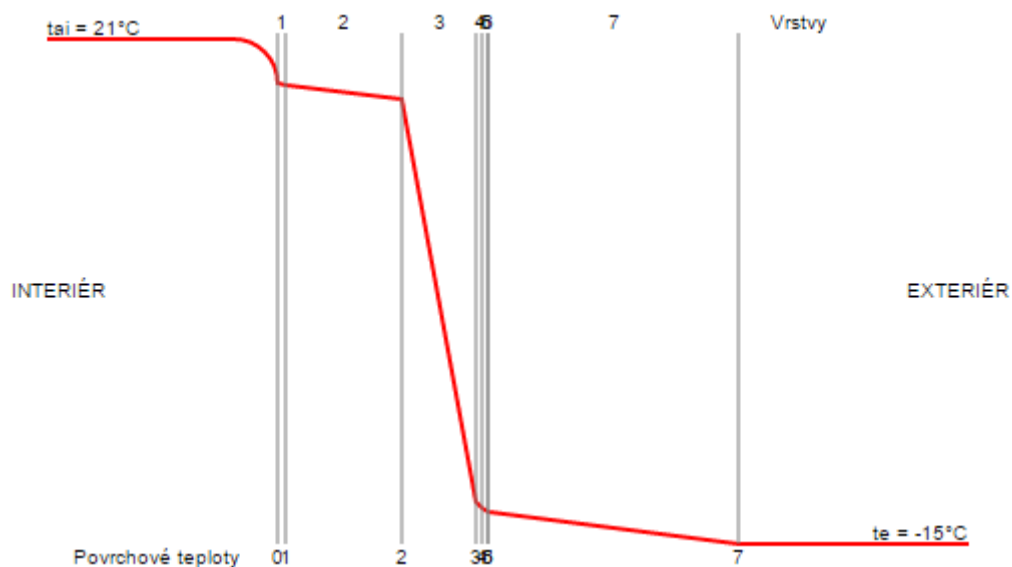
Celkový součinitel prostupu tepla konstrukce stěny v 1PP vyšel  $U = 0,27 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ , Odpor při prostupu tepla konstrukce  $R_T = 3,69 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ .

#### 2.4.1.2 1PP – Podlaha

Do výpočtu podlahy jsem zahrnul tloušťku základové desky 17 cm betonu, asfaltový nátěr, dvě vrstvy lepenky, 5 cm EPS polystyren, další 8 cm vrstvu betonu a keramickou dlažbu vysokou 0,5 cm.

	<b>Materiál</b>	d [m]	$\lambda_u [\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$	$R_j [\text{m}^2\text{K}/\text{W}]$	$\theta_j [^\circ\text{C}]$
Exteriér ← Interiér	Keramická dlažba	0,005	1,3	0,004	17,35
	Železobeton	0,08	1,43	0,056	16,3
	Polystyren EPS	0,05	0,033	1,515	-12,04
	Asfaltová lepenka	0,004	0,21	0,019	-12,39
	Asfaltová lepenka	0,004	0,21	0,019	-12,75
	Asfalt	0,001	0,7	0,001	-12,78
	Železobeton	0,17	1,43	0,119	-15

Tabulka 10 - Složení konstrukce podlahy 1PP



Graf 2 - Graf průběhu teplot v konstrukci podlahy 1PP

Celkový součinitel prostupu tepla konstrukce podlahy v 1PP vyšel  $U = 0,53 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ ,  
 Odpor při prostupu tepla konstrukce  $R_T = 1,9 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$ .

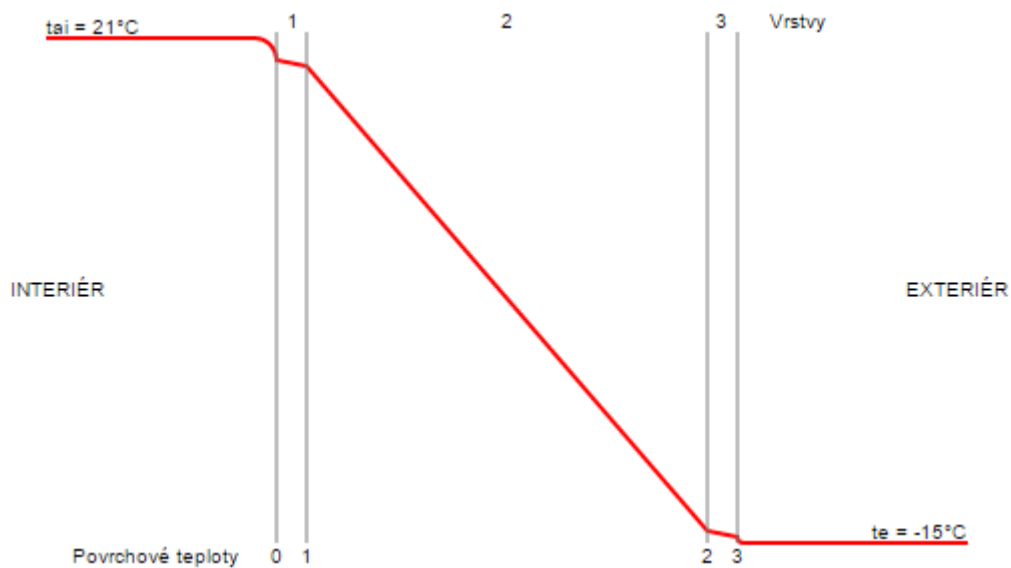
### 2.4.1.3 1NP a 2NP stěny

Stěny v přízemí a patře jsou postaveny opět z pálených cihlových bloků Porotherm o šířce 40 cm, stěny jsou z obou stran nahozeny 3 cm silnou vrstvou omítky. Dům prozatím není dále zateplen.

	<b>Materiál</b>	d [m]	$\lambda_u [\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}]$	$R_j [\text{m}^2\text{K}/\text{W}]$	$\theta_j [^\circ\text{C}]$
Ext. ← Int.	Omítka	0,03	0,88	0,034	18,59
	Porotherm	0,4	0,150	2,667	-14,14
	Omítka	0,03	0,03	0,03	-14,51

Tabulka 11 - Složení konstrukce stěny 1NP a 2NP





Graf 3- Graf průběhu teplot v konstrukci stěny 1NP a 2NP

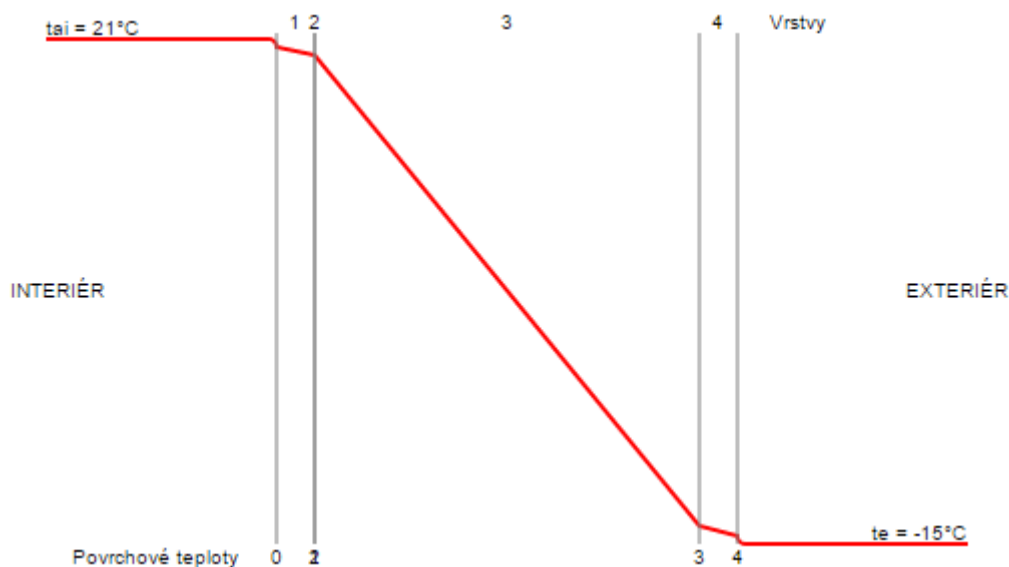
Celkový součinitel prostupu tepla konstrukce stěny v 1NP a 2NP vyšel  $U = 0,34 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ ,  
 Odpor při prostupu tepla konstrukce  $R_T = 2,9 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$ .

#### 2.4.1.4 Strop pod nevytápěným prostorem – půdou 2NP

Strop se skládá ze sádkartonových desek, parotěsné folie, kamenné vlny Rockwool a dřevěných palubek.

	<b>Materiál</b>	d [m]	$\lambda_u [\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}]$	$R_j [\text{m}^2\text{K}/\text{W}]$	$\theta_j [^\circ\text{C}]$
Ext. ← Int.	Sádkarton	0,02	0,22	0,091	19,49
	Folie parotěsná	0,0001	0,35	0	19,49
	Kamenná vlna Rockwool	0,20	0,035	5,714	-13,77
	Dřevěné palubky	0,02	0,18	0,111	-14,42

Tabulka 12 - Složení konstrukce stropu 2NP



Graf 4- Graf průběhu teplot v konstrukci stropu 2NP

Celkový součinitel prostupu tepla konstrukce stropu ve 2NP vyšel  $U = 0,16 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ,  
 Odpor při prostupu tepla konstrukce  $R_T = 6,12 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ .

## 2.4.2 Souhrn konstrukcí a skleněných ploch

Kromě konstrukcí je při výpočtu nutné znát také tepelně izolační vlastnosti oken a dveří. Tyto hodnoty jsem vyhledal na stránkách výrobců. Okna a dveře Rehau jsou od výrobce Milovice s.r.o., jedná se o izolační dvojsklo s hodnotou koeficientu tepelného prostupu  $U = 1,4 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ . Střešní okna Velux mají taktéž hodnotou koeficientu tepelného prostupu  $U = 1,4 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ . Pro určení celkových ztrát domu jsem musel spočítat plochu jednotlivých stěn a odečíst plochu oken. Souhrn i s rozměry uvádím v následující tabulce:

Podlaží	Konstrukce	Součinitel prostupu tepla U [W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup> ]	Plocha [m <sup>2</sup> ]
1PP	Obvodová stěna 1	0,27	102,926
1PP	Podlaha	0,53	89,7
1NP, 2NP	Obvodová stěna 2	0,34	172,2288
2NP	Strop	0,16	99,036
1PP	Okna	1,4	5,25
1NP	Okna	1,4	21,8
2NP	Okna	1,4	5,3
2NP	Okna střešní	1,4	5,9514
1NP	Dveře vstupní	1,4	4,8

Tabulka 13- Souhrn konstrukcí a rozměrů pro výpočet ztrát

Tyto hodnoty jsem dosadil do nástroje pro výpočet tepelné ztráty objektu, který je dostupný na serveru stavba.tzb-info.cz. Tento nástroj je primárně určen pro využití při žádostech o dotace v programu Nová zelená úsporám. [16] Jedná se o zjednodušenou pomůcku k výpočtu tepelných ztrát, nicméně pro moje potřeby bohatě postačuje. Nový zdroj vytápění budu navrhovat s určitou rezervou, výpočet proto nemusí dosahovat přesnosti, jaká by byla potřeba při zpracovávání energetického auditu, nebo průkazu energetické náročnosti budovy.

### 2.4.3 Výsledné tepelné ztráty

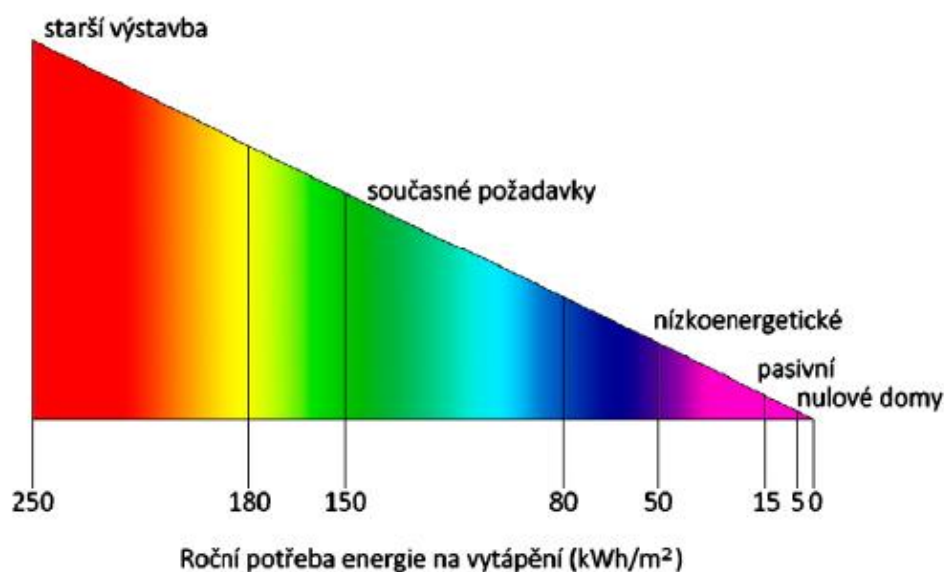
Typ konstrukce	Tepelná ztráta [W]
Obvodový plášť	3022
Střecha	444
Okna, dveře	2112
Větrání	4075
Celkem	9653

Tabulka 14 - Tepelné ztráty jednotlivými konstrukcemi



Graf 5 - Tepelné ztráty konstrukcemi

Tepelná ztráta objektu tedy vyšla kolem 10 kW, což je hodnota, kterou jsem přibližně odhadoval. Součástí přehledu vyhodnocení je také roční potřeba energie na vytápění, která činí 56,1 kWh/m<sup>2</sup>. Tato hodnota se blíží požadavkům na nízkoenergetické domy [1].



Obrázek 18 - Rozdělení budov podle roční potřeby tepla na vytápění [1]

## 2.5 Navrhované varianty

Vzhledem k zjištěným ztrátám domu jsem se rozhodl navrhnout čtyři varianty, které technicky a ekonomicky porovnáím a doporučím tu nejvhodnější z nich. Důležité je také vzít v úvahu, jestli navrhovaným variantám bude dostačovat současný otopný systém. Ten je složen

z ocelových deskových těles radik se stavební výškou 400, 500 a 600 mm. Všechny radiátory jsou opatřeny termostatickou hlavicí. Abych si mohl být zcela jistý potřebným výkonem nového zdroje tepla, provedl jsem jednoduchou zkoušku se současně instalovaným elektrokotlem. Jak jsem již uvedl při jeho popisu, kotel je schopen pracovat ve čtyřech výkonových stupních 6, 9, 12 a 15 kW. Výkon 6 kW nebyl na radiátorech téměř znát, při 15 kW byly rozpáleny více, než kdy od kotle Atmos C30S. Nespornou výhodou tepelného čerpadla v navrhovaných variantách také bude fakt, že systém je automatický, bude držet nastavenou teplotu a nebude tak docházet k vychladnutí celého domu v případě nepřítomnosti jeho obyvatel.

	<b>Současný stav</b>	<b>Varianta 1</b>	<b>Varianta 2</b>	<b>Varianta 3</b>	<b>Varianta 4</b>
<b>Zateplení</b>	Ne	Ne	Ne	Ano	Ano
<b>Vytápění</b>	Kotel na pevná paliva	Tepelné čerpadlo vrty - voda	Tepelné čerpadlo zem - voda	Tepelné čerpadlo zem - voda	Tepelné čerpadlo vzduch - voda
<b>Druhý zdroj vytápění</b>	Elektrokotel	Monovalentní	Monovalentní	Monovalentní	Monovalentní
<b>Teplá užitková voda</b>	Bojler	Bojler	Bojler	Bojler	Bojler
<b>Větrání</b>	Okny	Okny	Okny	VZT	VZT

Tabulka 15 - Varianty rekonstrukce

V rámci návrhu systému tepelného čerpadla je především potřebné zvolit správný topný výkon. Ten je dán součtem výkonu získaného z vnějšího prostředí a tepelného výkonu vzniklého chodem kompresoru. Pro zajištění tepelného komfortu ve vytápěném objektu je potřeba, aby byl výkon tepelného čerpadla přiměřeně naddimenzován. Je důležité si uvědomit rozdílnost topného výkonu v závislosti na typu tepelného čerpadla. Pokud vezmeme v potaz tepelná čerpadla typu vzduch – voda, jejich topný výkon klesá nebo stoupá v závislosti na teplotě primárního zdroje, tedy venkovního vzduchu. Oproti tomu čerpadla typu země – voda, nebo voda – voda mají topný výkon v podstatě konstantní. Správná volba výkonu tepelného čerpadla musí korespondovat s tepelnou ztrátou objektu a má nesporný vliv na plnohodnotnou funkčnost zařízení, jeho bezporuchový provoz a v dlouhodobém horizontu také na úspory za vytápění. [17]

Pro zpracování jednotlivých variant rekonstrukce jsem nejprve musel provést průzkum možných řešení a výrobců jednotlivých technologických zařízení. V případě tepelných čerpadel jsem se nakonec rozhodl pro českého výrobce Mastertherm. K tomuto rozhodnutí jsem se přiklonil jednak na základě pozitivních ohlasů, ale zaujaly mě také snadno dostupné a přehledně zpracované informační materiály. Společnost Mastertherm pořádá pravidelné školení nejen pro instalační firmy, které jsem v rámci přípravy a studia dané problematiky navštívil a dozvěděl se tak cenné informace o jednotlivých produktových řadách a především důležité podrobnosti ohledně návrhu a dimenzování systému tepelných čerpadel.

### **2.5.1 Varianta 1. – Tepelné čerpadlo – hlubinné vrty – voda**

Výkon tepelného čerpadla země – voda se navrhuje v rozmezí 70 – 100% tepelné ztráty budovy [17]. Pokud zvolím výkon, který dosahuje výše tepelné ztráty budovy, bude se jednat o monovalentní systém. Uvažovaná tepelná čerpadla pro tuto variantu jsou označována jako inverterová a výrobce je doporučuje navrhovat vždy jako monovalentní zdroj energie. Inverterová čerpadla jsou založena na ovládní pomocí frekvenčního měniče, který umožňuje plynulou regulaci topného výkonu v rozsahu přibližně 30 – 100 %. Vzhledem k přibližným vypočítaným tepelným ztrátám domu jsem pro tuto konfiguraci zvolil jednotku Mastertherm AquaMaster-45l, s výkonem 14,01 kW a topným faktorem 4,6 při B0W35. Zkratka B0W35 označuje teplotní podmínky, za kterých topný faktor platí. V mém případě tedy B0 – nemrznoucí směs v primárním okruhu o teplotě 0 °C, voda v otopném systému 35 °C. Pokud bychom stejnou jednotku použili v instalaci, kde by zdrojem tepla byla voda o teplotě 10 °C a topná voda o teplotě 35 °C, uvádí výrobce výkon až 19,2 kW a topný faktor 6,3 (tedy při W10W35).



Obrázek 19 - MasterTherm AquaMaster Inverter - 45l [19]

U této varianty realizace tepelného čerpadla je v mém případě primární okruh tvořen jedním, nebo více hloubkovými vrtly. Při návrhu hloubky vrtů jsem se spolehl na rady výrobce, který uvádí, že na 1 kW výkonu tepelného čerpadla je potřeba přibližně 15 m vrtu [18]. V případě nasazení jednotky o výkonu 14 kW je tedy potřeba vybudovat dva vrtly, každý do hloubky alespoň 105 m. Tyto vrtly od sebe musí být vzdáleny nejméně 15 m, aby nedocházelo k jejich vzájemnému ovlivňování. Samotné vystrojení vrtů je technologicky velmi náročné, je za potřebí speciální vrtné soustavy. Po dosažení potřebné hloubky se do každého z vrtů zavedou dvě větve uzavřeného primárního okruhu spolu s injektážní hadicí, která slouží k injektování podloží s vystrojením vrtu. Injektování se provádí od spodu směrem vzhůru speciální termo směsí (betonit), která zabezpečuje efektivnější přestup tepla a zabraňuje poškození jednotlivých vrstev podzemních vod, které by se vrtem mohly takzvaně strhnout [19]. Dále je potřeba do hloubky přibližně 10 m vrtu instalovat pomocné pažení přes nesoudržné vrstvy.



Obrázek 20 - Geotermální sonda a "U" spojka jedné z větví primárního okruhu [19]

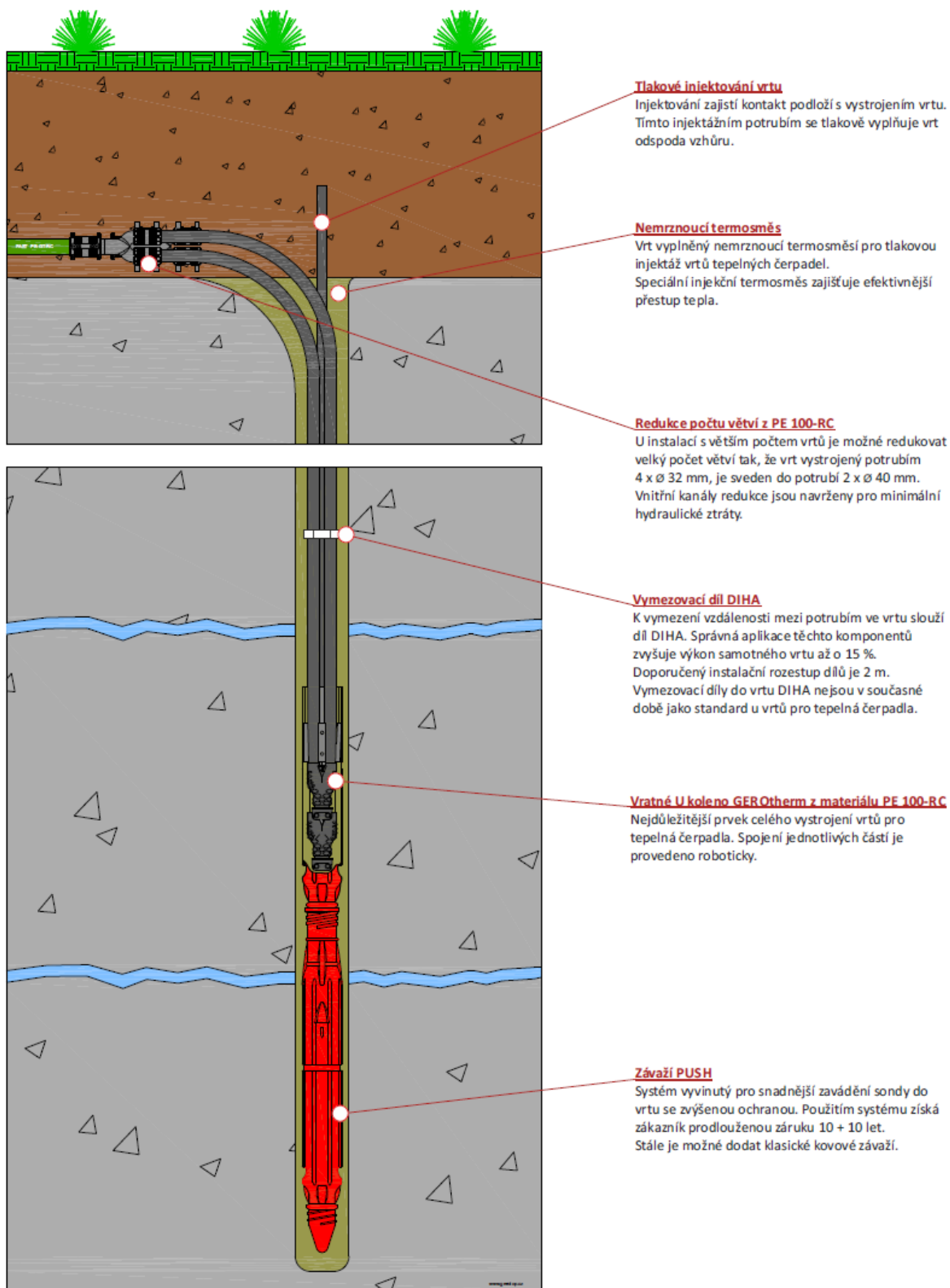
Z každého vrtu nám jdou tedy dvě větve (celkově 8 hadic), které je potřeba správně propojit s tepelným čerpadlem. To se dělá v zařízení zvaném sběrná jímka. Tyto jímky se umísťují vně objektu, obsahují komponenty pro sloučení, hydraulické vyvážení, plnění a odvzdušnění jednotlivých okruhů [21].



Obrázek 21 - Sběrná jímka pro tepelné čerpadla země - voda [21]

Je zřejmé, že pro realizaci hlubinných vrtů je potřeba obstarat patřičná povolení a vyjádření od příslušných úřadů. Jedná se zejména o stavební povolení, vyjádření báňského úřadu a hydrogeologický posudek od místního vodohospodářského úřadu. Dále je jako u jiných staveb potřeba souhlas sousedů [18].





Obrázek 22 - Vystrojení vrtu pro tepelná čerpadla země – voda s hlubinnými vrtů [19]

Do primárního okruhu je potřeba napustit speciální teponosnou kapalinu - STABILfrost. Tato kapalina na bázi monoethylglykolu současně zařízení chrání proti korozi a ředí se s vodou v poměru 1 díl STABILfrostu ku 2,2 dílům vody. [21]

Aby nedocházelo k častému vypínání a zapínání kompresoru, je možné systém doplnit akumulacním zásobníkem topné vody. Díky invertorovému řízení tepelného čerpadla nemusí být tato nádrž zbytečně velká, výrobce doporučuje, aby po instalování zásobníku byl celkový objem topné vody v otopné soustavě minimálně na úrovni 15násobku výkonu tepelného čerpadla [17]. V tomto domě je v otopné soustavě přibližně 300 litrů vody, podmínka je tedy splněna. Vybraný zásobník G380 S/K má objem 380 litrů.

Dále jsem sestavil podrobný rozpočet této instalace, ceny jsem zjistil z ceníků jednotlivých výrobců a poskytovatelů služeb. Mezi pořizovací náklady jsem započítal veškeré komponenty systému tepelného čerpadla, výkopové práce, cenu za dokumentaci a potřebnou úpravu stávající kotelny.

O ohřev teplé užitkové vody se i nadále bude starat pouze elektrický bojler o objemu 200 litrů a výkonu 2,2 kW. Jedná se konkrétně o typ OKCE 200, vyrobený v družstevních závodech v Dražicích. K této variantě se přikláním především z důvodu šetření tepelného čerpadla v letních měsících, kdy může být zcela vypnuto a šetřit tak jeho kompresor. Toto řešení je výhodné také pro vrty, které se přes léto „dobíjejí“ a jejich kapacita je tak plně připravena na topnou sezónu.

<b>Položka</b>	<b>ks</b>	<b>cena/ks [Kč]</b>	<b>Cena celkem [Kč]</b>
MasterTherm AquaMaster - 45 Inventer	1	199000	199000
Zásobník G380 S/K	1	39600	39600
PAK 90 mini, sběrná jímka	1	25800	25800
Geotermální vertikální sonda 4x Ø 32 x 3,0 PE 100-RC 112 m	2	28588	57176
PE potrubí Erdreichkolektor Ø 32 x 3,0	100	47	4700
PE potrubí GEROthern Ø 50 x 4,6	100	76	7600
Elektrospojky a elektroredukce	24	200	4800
Průchodka zdí Ø 50	4	1795	7180
Nemrzoucí směs primárního okruhu STABILfrost 1 litr	175	78	13650
Provedení 1 m vrtu s osazeným výměníkem a vyplnění betonem	210	1000	210000
Pomocné pažení do hloubky 10 m	20	400	8000
Legislativa pro vrt	1	3000	3000
Dokumentace pro územní a stavební povolení	1	5000	5000
Pomocné výkopové práce	1	5000	5000
Materiál pro úpravu kotelny, měděné trubky a kolena	1	30000	30000
Cena celkem bez DPH			620506
Cena s DPH 21%			750812,2 6

Tabulka 16 - Rozpočet varianty č. 1

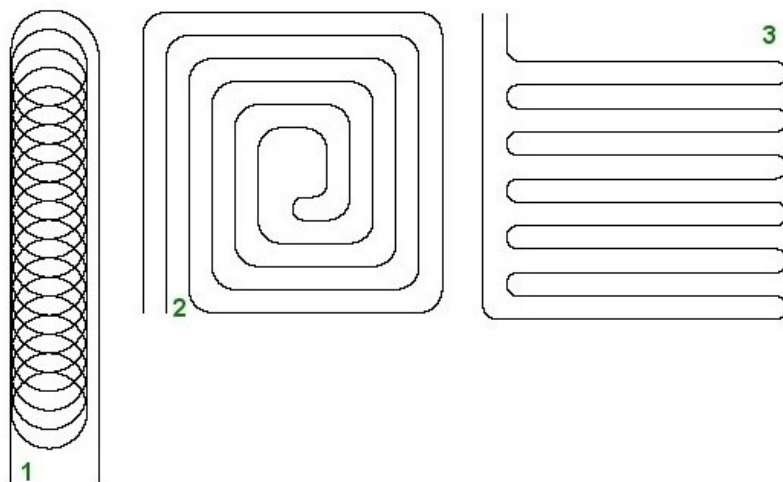
### 2.5.2 Varianta 2: - Tepelné čerpadlo zem – voda (bez zateplení)

Vzhledem ke stejným tepelným ztrátám objektu je tato varianta shodná v komponentech od tepelného čerpadla až po sběrnou jímku s variantou 1. Hlavním rozdílem je nahrazení nákladných zemních vrtů plošnými kolektory. Výrobce uvádí, že je vhodné tyto kolektory dimenzovat v poměru 40 m<sup>2</sup> na 1 kW výkonu tepelného čerpadla. V mém případě bude tedy potřeba vytvořit plošný kolektor o rozloze 560,4 m<sup>2</sup> [18].

Hlavní výhodou plošného kolektoru oproti zemním vrtům jsou nesrovnatelně nižší pořizovací náklady. Je však potřeba počítat s tím, že výstavba kolektoru zasáhne značnou část pozemku, na které nebude v budoucnu možné vystavět další větší objekty. Pro vášnivě

zahrádkáře může být také omezujícím faktem skutečnost, že při provozu zemního kolektoru dochází k ochlazení půdy, což nemusí některým plodinám vyhovovat. Další nespornou výhodou výstavby zemního kolektoru ve srovnání s hlubinnými vrty je administrativní nenáročnost, protože pro povolení výstavby nám stačí podat ohlášení na stavební úřad. Zemní plošný kolektor pracuje s energií slunce, která se v letním období ve formě tepla akumuluje do vrchních vrstev země. Kolektor z polyethylenového potrubí se ukládá do výkopu v nezámrazné hloubce, tedy 1,2 – 1,5 m. Doporučená délka jednotlivých smyček je s ohledem na snížení tlakových ztrát 100 až 200 m. Tyto smyčky se opět stejně jako u hlubinných vrtů sdružují ve venkovní jímce. V zásadě se používají tři možné způsoby ukládání kolektoru [22]:

1. Spirálové uložení se používá v lokalitách s omezeným prostorem pro pokládku.
2. Uložení do meandru je výhodné z hlediska čerpání energie, protože nejstudenější potrubí je ohříváno nejteplejším.
3. Klasické uložení, které je nejpoužívanější, rovnoměrně čerpá energii z celé plochy.



Obrázek 23 - Způsob uložení zemního kolektoru [22]

Vzhledem k dispozici pozemku je nutné využít první možnosti ukládání hadic. Při tomto způsobu ukládání hadic je použito na 1 m<sup>2</sup> kolektoru přibližně 8 – 10 m potrubí. [23]. V mém případě bude tedy potřeba přibližně 5000 m vedení primárního okruhu. Vzhledem k doporučené ideální délce jednotlivých okruhů s ohledem na tlakové ztráty je nutné potřebnou délku rozdělit do 24 samostatných smyček, které budou opět propojeny ve sběrné jímce. Kvůli velkému počtu větví je potřeba ještě dokoupit sestavy pro sdružení smyček, které se následně propojí ve sběrné jímce.

<b>Položka</b>	<b>ks</b>	<b>cena/ks [Kč]</b>	<b>Cena celkem [Kč]</b>
MasterTherm AquaMaster - 45 Inventer	1	199000	199000
Zásobník G380 S/K	1	20388	20388
PAK 90 mini, sběrná jímka	1	25800	25800
Basic 90 ZPK SET pro sdružení smyček	4	19600	78400
PE potrubí Erdreichkollektor Ø 32 x 3,0	580	47	27260
PE potrubí GEROthern Ø 50 x 4,6	100	76	7600
Elektrospojky a elektroredukce	24	200	4800
Průchodka zdí Ø 50	4	1795	7180
Nemrznoucí směs primárního okruhu STABILfrost 1 litr	830	78	64740
Dokumentace pro územní a stavební povolení	1	5000	5000
Výkopové práce	1	20000	20000
Materiál pro úpravu kotelny, měděné trubky a kolena	1	35000	35000
Cena celkem bez DPH			495168
Cena s DPH 21%			599153,28

Tabulka 17 - Rozpočet varianty č. 2

### 2.5.3 Varianta 3. – Tepelné čerpadlo zem – voda (se zateplením)

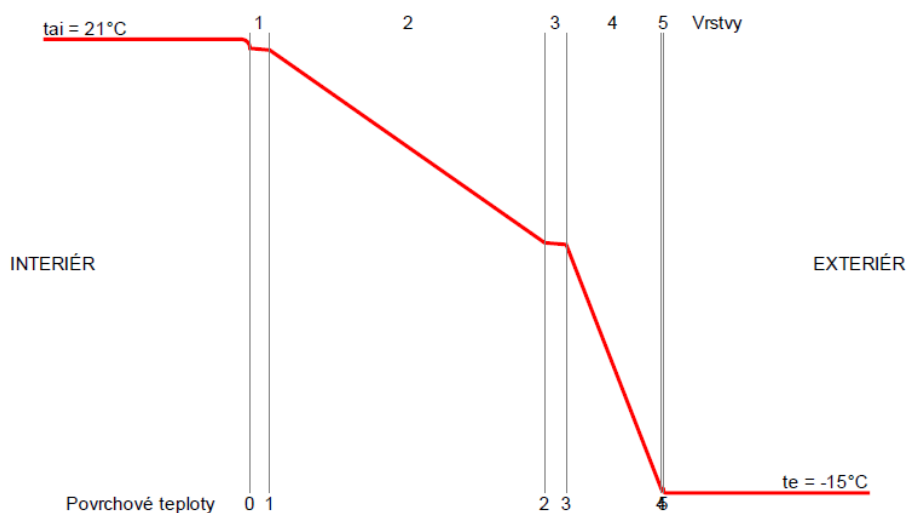
Protože jsem chtěl snížit náklady na zařízení pro vytápění a celkovou energetickou náročnost domu, vzal jsem v úvahu možnost dům zateplit. Předpokládám, že zateplený dům bude mít výrazně nižší tepelné ztráty a tak bude stačit tepelné čerpadlo s nižším výkonem. Abych mohl správně navrhnout tuto variantu, je potřeba vybrat systém zateplení a znovu provést výpočet tepelných ztrát.

Při výběru systému zateplení mám na výběr mezi polystyrenovými deskami a minerální vatou. Zateplení je možné provést na stěnách v 1NP a 2NP, strop je již tvořen vrstvou minerální vaty o síle 20 cm. Pro návrh zateplení jsem se rozhodl použít izolaci od firmy Isover, konkrétně Isover NF 333. Vatu jsem upřednostnil především pro její lepší paropropustnost ve srovnání s polystyrenem. Tato izolace se vyrábí v tloušťkách od 20 do 200 mm. Při zateplování obvodových stěn z pálených cihlových bloků a tloušťce izolace 140 mm uvádí výrobce výslednou hodnotu prostupu tepla konstrukcí  $0,18 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ . Tuto hodnotu opět ověřím pomocí nástroje pro výpočet prostupu tepla vícevrstvou konstrukcí [15].

	<b>Materiál</b>	d [m]	$\lambda_u$ [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ]	$R_j$ [ $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ ]	$\theta_j$ [ $^\circ\text{C}$ ]
Ext. ← Int.	Omítka	0,03	0,88	0,03	19,7
	Porotherm	0,4	0,150	2,667	4,66
	Omítka	0,03	0,03	0,03	4,49
	Isover NF 333	0,14	0,041	3,415	-14,76
	Silikátová finální omítka NOVALITH zrno 1,5 mm	0,0015	0,76	0,002	-14,77

Tabulka 18 - Složení konstrukce stěny 1NP a 2NP při zateplení

Při výběru finální omítky jsem upřednostnil silikátovou omítku před akrylátovou, opět z důvodu lepších paropropustných vlastností.



Graf 6 - Graf průběhu teplot v konstrukci zateplené stěny 1NP a 2NP

Celkový součinitel prostupu tepla konstrukce zateplené stěny v 1NP a 2NP vyšel  $U = 0,16 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ , Odpor při prostupu tepla konstrukce  $R_T = 6,31 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ . Takto zateplená stěna tedy vyhovuje dle normy ČSN 73 0540-2 dokonce hodnotě stanovené pro pasivní domy ( $U_N = 0,18 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ). Nyní jsem musel zjistit, jak by se případné zateplení domu promítlo do jeho celkových tepelných ztrát. Protože se v tomto výpočtu výrazně projevují ztráty způsobené větráním a zateplení domu omezí samovolné větrání stěnami a vstup vodních par, přistoupil jsem u této varianty k návrhu systému nuceného větrání s rekuperací. Přínos takového systému pro tuto variantu spočívá především v omezení ztrát způsobených větráním, dále pak systém zajistí kvalitu vnitřního vzduchu.

Při návrhu systému vzduchotechniky jsem se tedy rozhodl pro řízené větrání s rekuperací tepla s možností dohřevu přiváděného vzduchu v případě velmi nízkých venkovních teplot. Pro návrh jsem využil portfolia výrobků české společnosti Atrea s.r.o., která na našem trhu působí již více než 25 let.

Zvolil jsem koncepci jedné centrální rekuperační jednotky namísto více menších, lokálních. U lokálních jednotek by odpadlo stavebně náročné dodělávání rozvodů jednotlivých větví přívodního a odvodního potrubí, nicméně by takových jednotek bylo potřeba velké množství a dále by vznikl problém s hlučností těchto jednotek, což není u obývacího pokoje, nebo ložnic ideální. Centrální rekuperační jednotku jsem navrhl umístit do technické místnosti v 1PP, která je pro tyto účely jednoduše určena a navíc je výhodně umístěna u středu domu a to považuji za ideální polohu pro centrální rozvod. Konkrétní větve budou instalovány do sádkartonových mezistropů v 1NP a 2NP, v 1PP se nachází klasický kazetový podhled, který taktéž umožňuje bezproblémovou instalaci rozvodů. Největším stavebním zásahem tedy bude instalace vertikálního rozvodného potrubí, které se bude muset zasekat do stěny. Druhým způsobem, jak instalovat vertikální potrubí je vytvořit prostup přes všechna podlaží vedle komínu a takto vzniklý prostor následně zadělat např. sádkartonovými deskami. Výhodou této varianty je téměř nulový zásah do statiky domu, nevýhodou pak zmenšení vnitřního prostoru a náročnost tvorby prostupů přes lité stropy z betonu. Při výpočtu nákladů jsem se nakonec rozhodl pro druhou variantu.

Pro výběr správné centrální jednotky jsem musel vypočítat celkový objem vzduchu, který je potřeba za určitý časový úsek vyměnit. Tyto hodnoty musejí odpovídat vyhlášce 20/2012 Sb., kterou se změnila vyhláška 268/2009 Sb. a normě ČSN EN 15665 Z1.

Požadavek	Trvalé větrání (průtok venkovního vzduchu)		Nárazové větrání (průtok odsávaného vzduchu)		
	Intenzita větrání [h <sup>-1</sup> ]	Dávka venkovního vzduchu na osobu [m <sup>3</sup> /(h·os)]	Kuchyně [m <sup>3</sup> /h]	Koupelny [m <sup>3</sup> /h]	WC [m <sup>3</sup> /h]
Minimální hodnota	0,3	15	100	50	25
Doporučená	0,5	25	150	90	50

Tabulka 19 - Požadavky větrání obytných budov [7N]

Podlaží	Místnost	Podlahová plocha [m <sup>2</sup> ]	Výška stropu [m]	Objem [m <sup>3</sup> ]	Objem vzduchu vyčerpaný/dodaný [m <sup>3</sup> .hod <sup>-1</sup> ]
1PP	Sklad	18,1	2,2	39,82	19,91
1PP	Fitness	26,8	2,2	58,96	29,48
1PP	Hobby	12,3	2,2	27,06	13,53
1PP	Kotelna	8,3	2,2	18,26	9,13
1PP	Sklad	12,3	2,2	27,06	13,53
1PP	Chodba	10,4	2,2	22,88	11,44
1NP	Pokoj	16,1	2,6	41,86	25
1NP	Obývací	28	2,6	72,8	50
1NP	Kuchyň	18,7	2,6	48,62	150
1NP	Chodba	15,3	2,6	39,78	19,89
1NP	WC	1,8	2,6	4,68	50
1NP	Koupelna	3,5	2,6	9,1	90
2NP	Pracovna	12,4	2,45	28,18	50
2NP	WC	2,2	2,45	4,69	50
2NP	Ložnice	23,8	2,45	55,21	50
2NP	Pokoj	17,6	2,45	39,97	25
2NP	Koupelna	14,2	2,45	31,94	90
2NP	Chodba	10,2	2,45	24,99	12,495
				Celkem	759,405
				Ztráty v potrubí	20%
				Potřebná kapacita rekuperační jednotky	911,286

Tabulka 20 - Přehled místností a množství vzduchu

Při výpočtu bylo potřeba zohlednit počet osob v jednotlivých místnostech, aby byl dodržen minimální požadavek  $25 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{os})$  a přibližné ztráty ve vedení vzduchotechniky [26]. Vzhledem ke skutečnosti, že dům obývají z pravidla 2 lidé, nárazově 4, je hodnota  $911,286 \text{ m}^3$  za hodinu zbytečně vysoká. Ve vyhlášce č. 20/2012 je uvedeno, že požadované hodnoty výměny vzduchu  $25 \text{ m}^3$  za hodinu na osobu a polovina objemu místnosti za hodinu je potřeba dodržet v době pobytu osob. Stav vnitřního klimatu budou kontrolovat jednotlivé senzory. Finální výkon jednotky jsem tedy dimenzoval s ohledem na zachování minimální cirkulace v neobývaných



místnostech umístěných především v 1PP, ale se zachováním dostatečné výkonové rezervy v případě chodu odsávání v kuchyni, pobytu většího množství lidí v obývacím pokoji a podobně.

<b>Podlaží</b>	<b>Místnost</b>	<b>Podlahová plocha</b> [m <sup>2</sup> ]	<b>Reálný objem vzduchu vyčerpaný/dodaný</b> [m <sup>3</sup> .hod <sup>-1</sup> ]
1PP	Sklad	18,1	9,955
1PP	Fitness	26,8	14,74
1PP	Hobby	12,3	6,765
1PP	Kotelna	8,3	4,565
1PP	Sklad	12,3	6,765
1PP	Chodba	10,4	5,72
1NP	Pokoj	16,1	10,465
1NP	Obývací	28	18,2
1NP	Kuchyň	18,7	150
1NP	Chodba	15,3	19,89
1NP	WC	1,8	50
1NP	Koupelna	3,5	90
2NP	Pracovna	12,4	14,09
2NP	WC	2,2	2,345
2NP	Ložnice	23,8	27,605
2NP	Pokoj	17,6	19,985
2NP	Koupelna	14,2	15,97
2NP	Chodba	10,2	12,495
		<b>Celkem</b>	<b>479,555</b>
		<b>Ztráty v potrubí</b>	<b>20%</b>
		<b>Potřebná kapacita rekuperační jednotky</b>	<b>575,466</b>

Tabulka 21 – Přehled reálného odhadu potřeby výměny vzduchu

Z této tabulky vyplývá, že bude dostačovat jednotka poskytující větrací objem maximálně 600 m<sup>3</sup> za hodinu. Z nabídky výrobce Atrea jsem tedy vybral jednotku Duplex ECV5.CP.



Obrázek 24 - Rekuperační jednotka Atrea Duplex ECV5.CP [27]

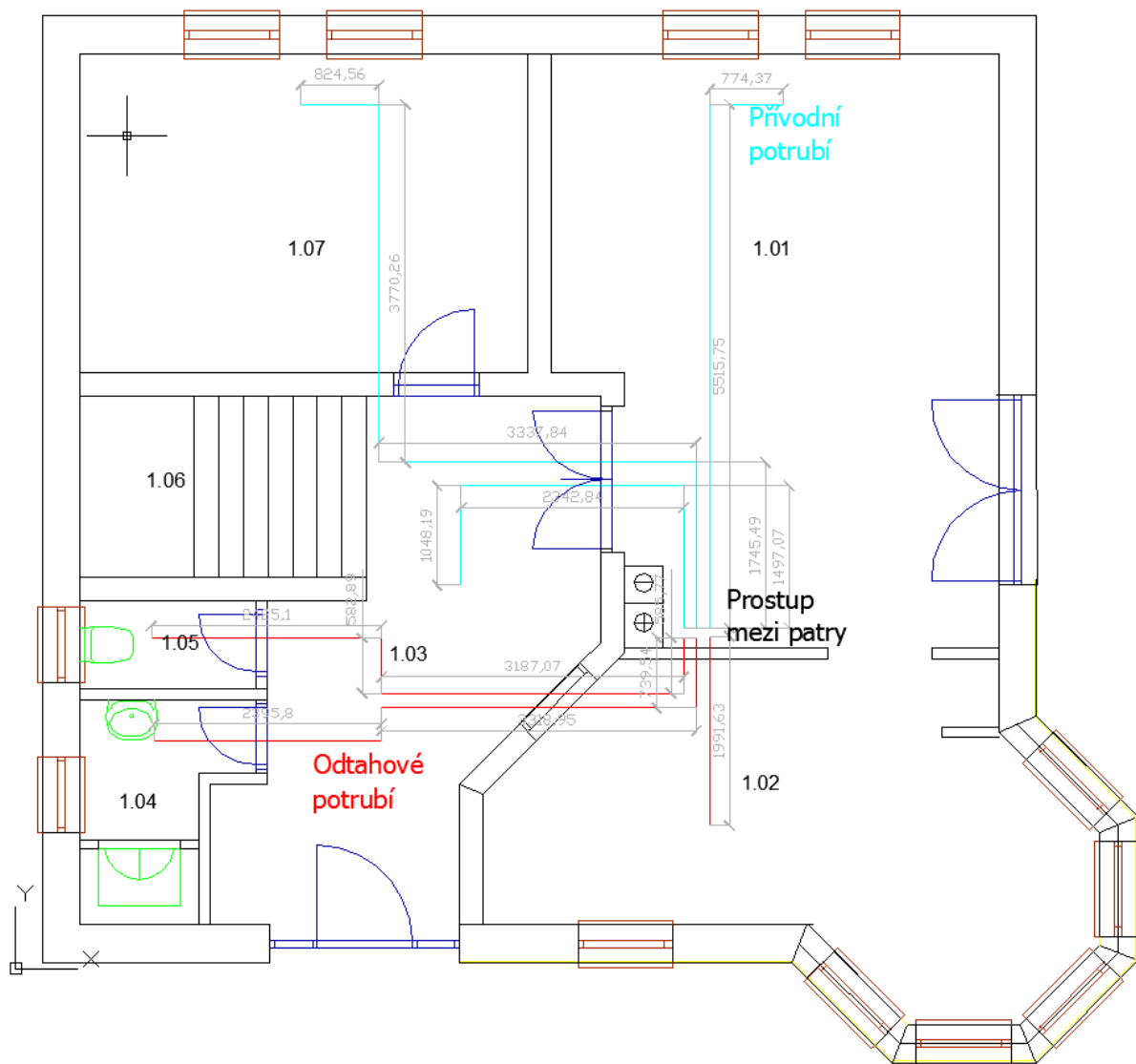
Dalším důležitým ukazatelem kvality vnitřního prostředí je koncentrace oxidu uhličitého  $\text{CO}_2$ , která nesmí překročit 1500 ppm [5Z].

Podle těchto výpočtů a rychlosti proudění vzduchu ve vedení jsem dimenzoval profil vzduchového potrubí. Z důvodu hluku je vhodné dodržet rychlost proudění do  $w = 3 \text{ m/s}$  [25]. Na WC, v koupelnách, fitness a v kuchyni je potřeba zavést sací větev vzduchotechniky, do ostatních místností stačí výfuková. Při výpočtu jsem zjistil, že mohu využít potrubí Atrea GP s vnitřním průměrem 75 mm na všech větvích pro přívod čerstvého vzduchu a odtah odpadního vzduchu, s výjimkou kuchyně, kde je zapotřebí použít potrubí o průměru alespoň 140 mm a koupelen, kde vyhoví potrubí širší než 100 mm. Výpočet je uveden v příloze 1. Na páteřní vertikální vedení je zapotřebí potrubí o minimálním průměru 200 mm pro přívod a 230 mm pro odtah. Protože má každá větev vedení jinou délku, jsou v nich rozdílné také tlakové ztráty. Pro systém je směrodatná větev s nejvyšší tlakovou ztrátou na odvodu a přívodu vzduchu, všechny ostatní větve se musí osadit kompenzačními prvky, které zajistí, že tyto větve budou mít stejnou tlakovou ztrátu jako větve s nejvyšší ztrátou.

Pro návrh vedení jednotlivých větví jsem použil program AutoCad. Zjistil jsem tak potřebnou délku potrubí, na obrázku č. 26 je ukázka návrhu pro 1NP.



Obrázek 25 - Ukázka větvení vzduchovodů [27]



Obrázek 26 - Ukázka návrhu vzduchovodů v 1NP

Do místností, které jsou využívány nejvíce, jsem navrhl instalovat čidla CO<sub>2</sub>. Jedná se především o kuchyň propojenou s obývacím pokojem, ložnice v 2NP, pracovnu, pokoj pro hosty v 1NP a fitness v 1PP. Do koupelen budou instalovány čidla řídící výkon větrání podle vlhkosti. WC obstarají prosté vypínače s časovým doběhem. Aby byl systém schopný aktivně reagovat na tyto čidla, je nutné zakomponovat alespoň základní regulaci Atrea RD5, díky které se mohou nastavit klapky na jednotlivých větvích systému. Sofistikovanější systémy měření a regulace jsem z ekonomických důvodů pro tuto instalaci neuvažoval.

Dále jsem do rozpočtu započítal izolaci na vzduchovody, rozdělovací prvky, odhad stavebních prací a další nezbytné součásti projektu.

Výrobce Atrea uvádí účinnost rekuperace jednotky Duplex EC5 až 95 % [27]. Při výpočtu celkových ztrát domu a energie potřebné na vytápění jsem se však přiklonil k reálnější hodnotě 80 % [28]. Dále jsem musel kvůli dodatečnému zateplení přepočítat celkovou podlahovou plochu a objem budovy, jelikož do výpočtu vstupují vnější rozměry domu.

Typ konstrukce	Tepelná ztráta [W]
Obvodový plášť	1981
Střecha	444
Okna, dveře	2112
Větrání	1053
Celkem	5590

Tabulka 22 - Tepelné ztráty jednotlivými konstrukcemi se zateplením



Graf 7 - Tepelné ztráty jednotlivými konstrukcemi se zateplením

Tepelná ztráta objektu po zateplení vyšla kolem 5,5 kW. Součástí přehledu vyhodnocení je také roční potřeba energie na vytápění, která činí 32,7 kWh/m<sup>2</sup>. Tato hodnota se blíží požadavkům pro pasivní domy [1].

Pro tuto tepelnou ztrátu bude dostačovat tepelné čerpadlo AquaMaster – 22Z, s výkonem 7,8 kW/4,4 COP respektive 8,8 kW/5,9 COP. Adekvátně s potřebným výkonem tepelného čerpadla bude postačovat menší zemní kolektor, konkrétně 312 m<sup>2</sup>.

<b>Položka</b>	<b>ks</b>	<b>cena/ks [Kč]</b>	<b>Cena celkem [Kč]</b>
<b>Tepelné čerpadlo</b>			
MasterTherm AquaMaster - 30l Inverter	1	176900	176900
Zásobník G380 S/K	1	20388	20388
PAK 90 mini, sběrná jímka	1	25800	25800
PE potrubí Erdreichkolektor Ø 32 x 3,0	312	47	14664
PE potrubí GEROthern Ø 50 x 4,6	100	76	7600
Elektrospojky a elektroredukce	12	200	2400
Průchodka zdí Ø 50	4	1795	7180
Nemrzoucí směs primárního okruhu STABILfrost 1 litr	82	78	6396
Dokumentace pro územní a stavební povolení	1	5000	5000
Výkopové práce	1	15000	15000
Materiál pro úpravu kotelny, měděné trubky a kolena	1	35000	35000
Cena bez DPH [Kč]			316328
Cena s DPH 21% [Kč]			382756,88
<b>Zateplení</b>			
Desky Isover NF 333	180	532	95760
Lepidlo Weber tmel 700 25 kg	45	137	6165
Plastová Weber hmoždinka / natloukáč kotva 100 ks/balení	6	580	3480
Práce	1	10000	10000
Drobný stavební materiál	1	5000	5000
Silikátová fasáda Novalith zrno 1,5 mm 1 kg	450	60	27000

<b>Položka</b>	<b>ks</b>	<b>cena/ks [Kč]</b>	<b>Cena celkem [Kč]</b>
Lešení	1	0	0
Cena bez DPH [Kč]			147405
<b>Vzduchotechnika</b>			
Rekuperační jednotka Atrea Duplex ECV5.CP	1	44900	44900
Dohřev přiváděného vzduchu EDO5.V – 1,30 – CP	1	6800	6800
Dotykový ovladač CPA	1	4500	4500
Regulátor RD5	1	6900	6900
Čidlo řídicí výkon dle hladiny CO2 ADS CO2 24	6	4250	25500
Čidlo řídicí výkon dle vlhkosti ADS RH 24	2	2300	4600
Časový spínač pro doběh na WC	2	432	864
Flexibilní PE potrubí ATREA GP 95/75 mm - 1m	120	100	12000
Potrubí pro odtaž Ø 140 mm	30	108	3240
Vertikální potrubí Ø 250 mm	20	252	5040
Izolace Isover ML-3, 20 mm	80	143	11440
Rozdělovací komora	6	2500	15000
Uzavírací klapky - regulační prvky	20	3300	66000
Elektrické rozvody	1	3000	3000
Ventil přívod	13	260	3380
Ventil odtaž	5	280	1400
Stavební práce	1	50000	50000
Cena bez DPH [Kč]			264564
Cena celkem bez DPH [Kč]			728297
DPH [%]			21
Cena celkem s DPH [Kč]			881239,37

Tabulka 23 - Rozpočet varianty č. 3

#### 2.5.4 Varianta 4. – Tepelné čerpadlo vzduch – voda (se zateplením)

S přihlédnutím k tepelným ztrátám zatepleného domu mi přišlo zajímavé navrhnout ještě jednu variantu a to s tepelným čerpadlem typu vzduch – voda. Předpokládám, že investiční náklady této varianty budou výrazně menší především proto, že odpadne nákladné budování primárního okruhu. Vybral jsem jednotku Mastertherm BoxAir – 30l.



Obrázek 27 - Mastertherm BoxAir - 30l [5]

Tato jednotka se instaluje vně objektu, nejlépe na samostatném podstavci, aby se zcela eliminovala možnost přenosu hluku a vibrací do domu jak z ventilátorů, tak z kompresoru [5]. Oproti jednotkám s dělenou konstrukcí, kdy je uvnitř objektu umístěno oběhové čerpadlo a kondenzátor a vně výparník s ventilátorem u této monoblokové jednotky odpadá potřeba chladírenské montáže při instalaci zařízení. Protože je však okruh vytápění vyveden z objektu do tepelného čerpadla, je nutné zajistit ochranu proti zamrznutí topné vody, kdyby například došlo k výpadku elektrické energie v mrazivém počasí. Ochrana se provádí napuštěním okruhu vytápění nemrznoucí směsí [17]. Tuto položku budu v rozpočtu uvažovat jen částečně, protože objekt dříve nebyl trvale obýván a tak se v otopném okruhu již nachází určité množství nemrznoucí směsi. Toto množství je potřeba navýšit, protože do systému přibude vyrovnávací nádrž.

Ostatní investiční náklady zůstávají stejné, jako u varianty 3, včetně zateplení domu a vzduchotechniky s rekuperací.

<b>Položka</b>	<b>ks</b>	<b>cena/ks [Kč]</b>	<b>Cena celkem [Kč]</b>
<b>Tepelné čerpadlo</b>			
MasterTherm BoxAir - 30l Inverter	1	179900	179900
Zásobník G380 S/K	1	20388	20388
Nemrznoucí kapalina Friterm	130	39,90	5187
Průchodka zdí	4	1795	7180
Materiál pro úpravu kotelny, měděné trubky a kolena	1	35000	35000
Cena bez DPH [Kč]			247655
Cena s DPH 21%			299662,55
<b>Zateplení</b>			
Viz. varianta 3			
Cena bez DPH [Kč]			147405
<b>Vzduchotechnika</b>			
Viz. varianta 3			
Cena bez DPH [Kč]			264564
Cena celkem bez DPH [Kč]			659624
DPH [%]			21
Cena celkem s DPH [Kč]			798145,04

Tabulka 24 - Rozpočet varianty č. 4



### 3 Ekonomické, technické porovnání a vyhodnocení variant

V této kapitole jsem mezi sebou porovnal jednotlivé navrhované varianty. Pro správné porovnání jsem musel kromě investičních nákladů stanovit také provozní náklady.

#### 3.1 Výpočet předpokládané spotřeby tepelných čerpadel

Nejprve jsem přistoupil ke stanovení spotřeby tepelných čerpadel během topné sezóny. Nelze jednoduše vzít topné faktory uváděné výrobcem, potřebu tepla na vytápění, cenu elektřiny a získat tak spotřebu elektrické energie. Topné faktory jednotlivých čerpadel se liší v závislosti na pracovních podmínkách. Předpokládám, že změny klimatických podmínek se budou nejvíce projevovat na topném faktoru u tepelného čerpadla vzduch – voda, méně u varianty 2 a 3 se plošným zemním kolektorem a nejméně u varianty 1 využívající hlubinné vrty.

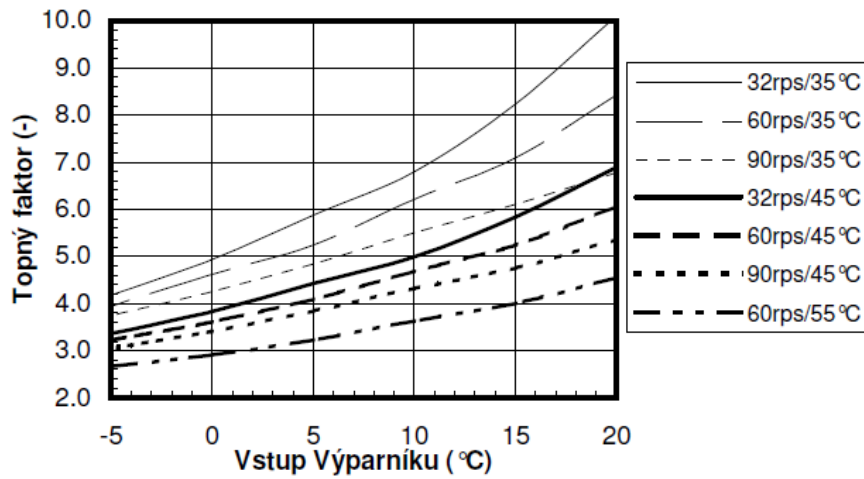
Délku topného období jsem uvažoval v rozmezí 1. září až 31. května, tedy 273 dní. Pro jednotlivé měsíce jsem dohledal průměrné teploty vzduchu od roku 2000 do roku 2016 [29]. Teploty v jednotlivých měsících jsem zprůměroval. Pro tyto klimatické hodnoty a tomu odpovídající teploty primárního okruhu jsem pomocí grafů výkonových údajů jednotlivých tepelných čerpadel určil, s jakým topným faktorem bude možno počítat [30][31][32].

Topná sezóna	Teplota v daném období [°C]								
	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen
2000/2001	13,6	8,6	3,3	-0,2	-1,2	1	4,2	7,6	15
2001/2002	11,9	11,9	2,4	-2,1	-0,4	4,3	4,7	8,2	16
2002/2003	12,5	7,7	4,7	-1,8	-2	-0,4	3,4	8,1	13
2003/2004	13,6	8,6	3,3	-0,2	-3,4	1,7	3,3	9,3	11,9
2004/2005	13,5	9,4	3,8	-0,2	0,6	-3	2	9,7	13,7
2005/2006	14,7	9,6	2,5	-0,4	-5,4	-2,2	1	8,7	13,3
2006/2007	16,3	10,5	6,1	2,9	4,1	3,6	5,8	11	15
2007/2008	12	7,8	2	0	2	3,1	3,7	8,3	14,2
2008/2009	12,6	8,6	4,6	1,1	-3,9	-0,3	4,1	12,8	14
2009/2010	15,4	7,9	6,3	-0,6	-4,4	-1,3	3,5	8,9	12,1
2010/2011	11,9	6,8	5,2	-4,7	-0,5	-1,3	4,6	11,3	14,1
2011/2012	15,2	8,5	3	3	1	-4,4	6,1	9	15,2

Topná sezóna	Teplota v daném období [°C]								
	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen
2012/2013	13,8	7,6	5,1	-0,4	-1,1	-0,8	-0,3	8,7	12,3
2013/2014	12,6	9,3	4,5	1,8	1,1	2,7	6,9	10,6	12,6
2014/2015	14,7	10,6	6,4	2,5	1,9	0,5	4,8	8,4	13,2
2015/2016	13,7	8,4	6,6	4,9	-0,4	3,6	3,9	8,2	12,7
Průměrná měsíční teplota	13,63	8,86	4,36	0,35	-0,75	0,43	3,86	9,3	13,64

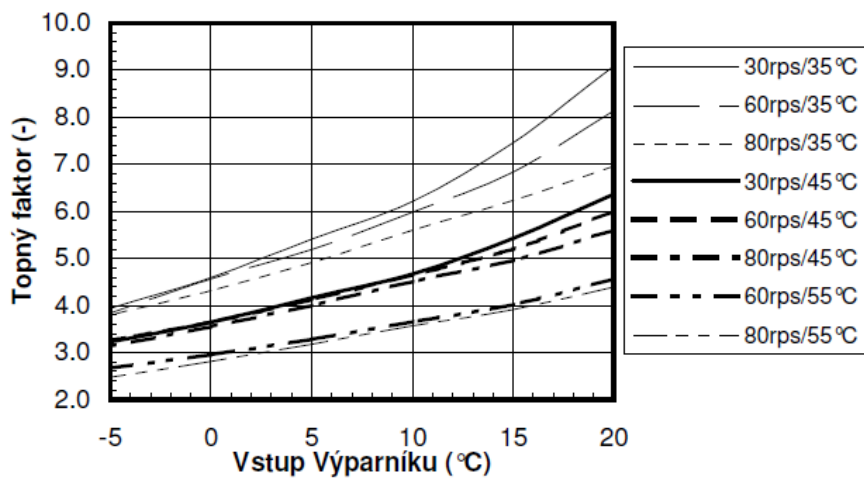
Tabulka 25 - Přehled teplot ve Středočeském kraji 2000 – 2016 [29]

### Topný Faktor $T_v=35/45/55\text{ °C}$

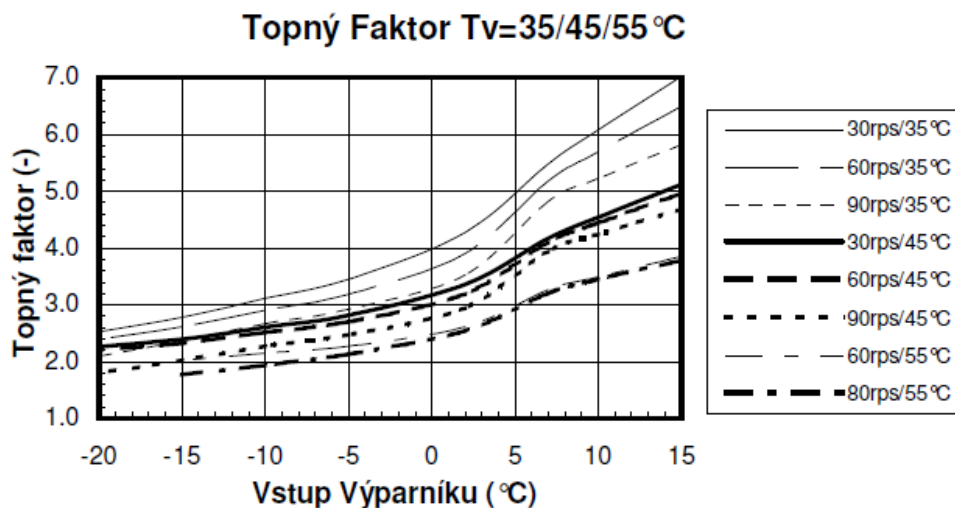


Graf 8 - Mastertherm AquaMaster 45I topný faktor [30]

### Topný Faktor $T_v=35/45/55\text{ °C}$



Graf 9 - Mastertherm AquaMaster 30I topný faktor [31]



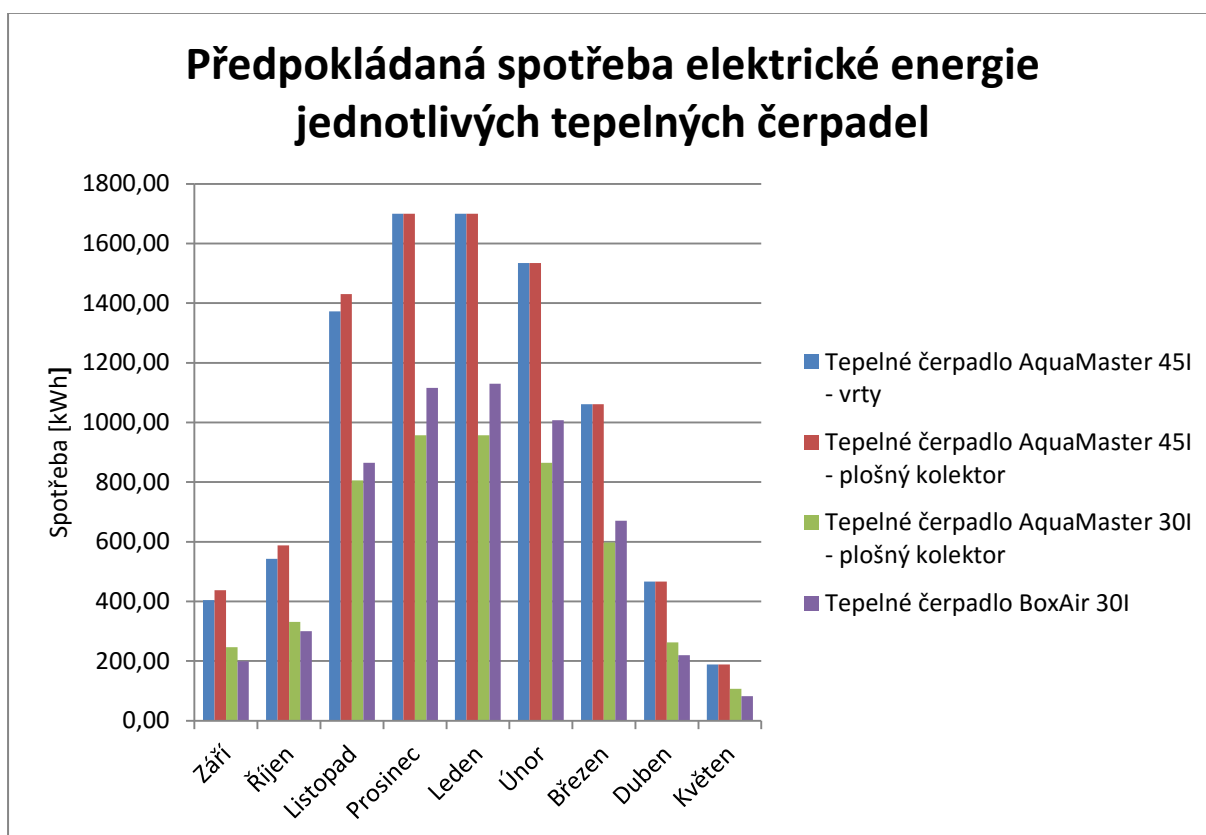
Graf 10 - Mastertherm BoxAir 30l Topný faktor [32]

Celková doba provozu tepelného čerpadla u podobné instalace, jako je moje první varianta, byla za topnou sezónu přibližně 3000 hodin. Tyto hodiny jsem rozdělil k jednotlivým měsícům podle průměrné teploty. Pro ostatní varianty jsem nechal hodiny stejné, aby se při výpočtu projevil především rozdíl teploty primárního okruhu a topného faktoru. Z těchto hodnot jsem následně vypočítal předpokládanou spotřebu elektrické energie za topnou sezónu pro jednotlivá tepelná čerpadla. Shrnutí výpočtu uvádím v následující tabulce, podrobný výpočet se nalézá v příloze 1, záložce Spotřeba TČ.

	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen
AquaMaster 45l Vrty [kWh]	404,13	542,89	1372,41	1699,47	1699,47	1535,01	1061,65	467	188,83
Celkem [kWh]	8970,86								
AquaMaster 45l Kolektor [kWh]	437,81	588,13	1430,81	1699,47	1699,47	1535,01	1061,65	467	188,83
Celkem [kWh]	9108,18								

	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen
AquaMaster 30l Kolektor [kWh]	246,56	331,22	805,79	957,09	957,09	864,47	597,89	263,00	106,34
Celkem [kWh]	5129,44								
BoxAir 30l	199,62	300,51	865,00	1116,00	1130,31	1008,00	670,38	219,92	82,51
Celkem [kWh]	5592,23								

Tabulka 26 - Předpokládaná spotřeba elektrické energie jednotlivých tepelných čerpadel



Graf 11 - Předpokládaná spotřeba elektrické energie jednotlivých tepelných čerpadel

### 3.2 Výpočet ohřevu teplé užitkové vody

Dalším významnou částí spotřeby je ohřev teplé užitkové vody. Řešení je u všech variant stejné, tedy elektrickým bojlerem o objemu 200 litrů a výkonu 2,2 kW. Pro výpočet budu předpokládat spotřebu vody 50 litrů na osobu, počet osob 3. Účinnost elektrického ohřevu  $\eta = 98 \%$ . Následující výpočet jsem provedl podle postupu pro ohřev vody na serveru tzb – info [33].

$$E = m * C_{wh} * (t_1 - t_2) [Wh]$$

$$E = 148,8 * 1,163 * (343,15 - 283,15)$$

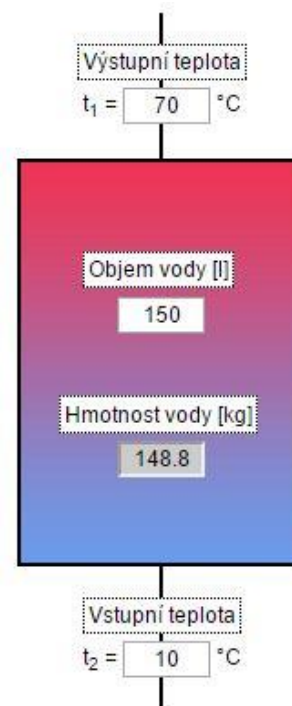
$$E = 10383,26 Wh$$

$$\tau = \frac{1 * E}{P} [h]$$

$$\tau = \frac{1 * 10383,26}{\frac{2200}{0,98}}$$

$$\tau = 4,82 \text{ hodin}$$

$t_1$ [°C]	Výstupní teplota
$t_2$ [°C]	Vstupní teplota
P [W]	Příkon
$\eta$ [-]	Účinnost
m [kg]	hmotnost vody
$C_{wh}$ [(W*h)/(kg*K)]	Měrná tepelná kapacita
E [W*h]	Potřeba energie
$\tau$ [h]	Čas potřebný pro ohřev



Obrázek 28 - Schéma ohřívání TUV [33]

Na ohřátí 150 litrů teplé užitkové vody je potřeba, aby byl bojler v provozu 4,8 hodiny. Za rok se tedy dostávám na hodnotu 3867,23 kWh.

### 3.3 Výpočet předpokládané spotřeby Vzduchotechniky

Při výpočtu vzduchotechniky jsem vzal v úvahu především průtok vyměňovaného vzduchu, který je 575 m<sup>3</sup> za hodinu. Energetickou účinnost jednotky udává výrobce 0,29 W/(m<sup>3</sup>h) [27]. Spočítal jsem tak přibližnou hodnotu spotřeby elektrické energie za rok na průtok vzduchu.

Dále jsem uvažoval potřebu předehřevu přiváděného vzduchu v zimních měsících. Rekuperační jednotka je osazena předehříváčem EDO5, s maximálním výkonem 1300 W. Výrobce uvádí, že předehříváč je schopen ohřát 100 m<sup>3</sup> za hodinu s příkonem 100 W přibližně o 3 °C. Vzhledem k vypočteným průměrným teplotám vzduchu jsem provoz předehřevu omezil na měsíce prosinec, leden a únor. Výslednou předpokládanou roční spotřebu vzduchotechniky jsem získal součtem spotřeby na výměnu vzduchu a předehřevu, tedy 2702,73 kWh. Podrobný výpočet se nachází v příloze 1, v záložce Spotřeba VZT.

### **3.4 Provozní náklady a životnost komponentů jednotlivých variant**

Náklady na provoz tepelných čerpadel, vzduchotechnické jednotky a zařízení na ohřev teplé užitkové vody nekončí pouze u spotřeby elektřiny. Při výpočtu čisté současné hodnoty jsem tak uvažoval náklady spojené s provozem a omezenou životností jednotlivých komponentů, rozprostřenou do celkové doby porovnání 25 let. Doby 25 let jsem zvolil podle životnosti nejdražší komponenty, tedy tepelného čerpadla a jedná se o dobu doporučenou výrobcem v závislosti na podmínkách, které jsem mu popsal.

Výhodou variant s tepelnými čerpadly AquaMaster je, že jsou navržena pro instalaci uvnitř objektu a tak nejsou vystaveny povětrnostním vlivům. Dále pracují s menšími teplotními rozdíly než čerpadla typu vzduch - voda, tudíž jsou jeho komponenty méně namáhané. Přesto je jisté, že se jejich provoz po celou dobu životnosti neobejde bez investic. Z těchto důvodů jsem se rozhodl do výpočtu pro každý rok zahrnout částku, kterou jsem nazval reinvestice TČ fond oprav. Výši částky jsem po dohodě s vedoucím práce stanovil jako 3 % z pořizovací ceny tepelného čerpadla.

Varianta číslo 4 je navržena s tepelným čerpadlem BoxAir, které je instalováno vně objektu, kde je vystaveno povětrnostním vlivům, ale především pracuje s daleko většími teplotními rozdíly, což zapříčiňuje větší namáhání komponentů. Ve výpočtu jsem tedy mimo fondu oprav zohlednil nutnou reinvestici nejdražšího komponentu - scroll kompresoru.

Dalšími komponenty, u kterých jsem předpokládal, že nevydrží 25 let, jsou vyrovnávací nádrž tepelného čerpadla a bojler, které jsem navrhl vyměnit po 12. roce provozu.

V případě vzduchotechniky jsem opět uvažoval fond oprav, výměnu ventilátorů (výrobce udává životnost 40 000 hodin), omezenou životnost čidel CO<sub>2</sub> a vlhkosti, filtry a čištění rozvodů.

V rámci stávající referenční varianty 0, která bude nahrazena jednou z navrhovaných, jsem započítal kromě spotřeby paliva také náklady na jeho dopravu a každoroční příspěvek do fondu oprav na kotel. U této varianty jsem oproti ostatním dále započítal cenu vlastní práce po celou dobu topné sezóny, protože tento systém vyžaduje obsluhu, není automatický. Počítal jsem, že obsluhou kotle na pevná paliva stráví obyvatel domu hodinu denně. Započtením vlastní práce jsem tak zahrnul do výpočtu faktor jistého nepohodlí spojeného se současným provozem oproti navrhovaným variantám.

Další položkou jsou pravidelné kontroly. U elektrospotřebičů připojených do sítě je podle normy ČSN 331500 povinnost provádět pravidelné revize v závislosti na prostředí nejdéle jednou za pět let. U tepelných čerpadel MasterTherm jsem započítal ještě placené kontroly prováděné výrobcem během prvního až šestého roku provozu, výrobce tím podmiňuje platnost sedmileté záruky. U referenční varianty 0 je potřeba dodržovat pravidelné roční revize komínu. Pravidelné revize jsou důležitou, bohužel často opomíjenou povinností.

Podrobný přehled nákladů na provoz a doby obměňování jednotlivých komponent jsou uvedeny v příloze 1, pro každou variantu ve zvláštní záložce ekonomický model.

### **3.5 Ceny a růst cen**

Vzhledem k tomu, že investici bude realizovat soukromá osoba, uvažoval jsem ceny včetně 21 % DPH. Při výpočtu NPV bylo nutné počítat s inflací. Její hodnotu jsem na základě inflačního cíle ČNB platného od roku 2010 stanovil na 2 % [38].

### **3.6 Růst cen elektřiny**

Podle vyhlášky č. 480/2012 Sb. o energetickém auditu a energetickém posudku je růst cen energií stanoven na 3 %. Vzhledem k trendu poslední doby, kdy se cena příliš nezvyšuje, jsem se rozhodl tuto hodnotu ponížít alespoň na 2 %.

### **3.7 Růst cen hnědého uhlí a palivového dřeva**

Na základě historických dat studie ceny pevných paliv pro domácnosti poskytované ministerstvem průmyslu a obchodu jsem stanovil růst na 0,5 %. [39]

### **3.8 Volba diskontu**

Protože jsem výpočet provedl z pohledu investora, tedy soukromé osoby, diskontní sazba vyjadřuje nevyužitou příležitost, respektive jak bych byl schopen zhodnotit danou částku, pokud bych jí investoval jinak. K určení jsem použil internetový srovnávač [www.mesec.cz](http://www.mesec.cz), kde se nachází přehled aktuálních termínovaných vkladů. Nabídky se pohybují až do výše 3,4 %, standardně přes 2 %. Dále je nutné vzít v úvahu daň z úroku, nakonec jsem se rozhodl pro volbu diskontní sazby ve výši 2 %.



### 3.9 Rozhodovací kritérium

Výběr nejvýhodnější varianty jsem provedl na základě výpočtové metody ekonomické efektivity čisté současné hodnoty NPV. Metoda čisté současné hodnoty obsahuje diskontované hotovostní toky [1].

$$NPV_{T_z} = DCF_{T_z} = \sum_{t=0}^{T_z} CF_t * (1 + r)^{-t}$$

$CF_t$  tok hotovosti

$r$  diskontní sazba

$(1 + r)^{-t}$  odúročitel

$T_z$  doba životnosti

Výslednou variantu doporučím za předpokladu, pokud rozdílové NPV stávající a navrhované varianty bude kladné, jedná se čistě o výpočet nákladů, ani jedna z navrhovaných variant nevytváří žádný zisk, cílem je zajistit co největší úsporu.

$$\Delta NPV = NPV_0 - NPV_{\text{varianta 1-4}} \geq 0$$

### 3.10 Výběr výsledné varianty

Na základě výpočtu NPV vyšla nejlépe varianta číslo 2 s tepelným čerpadlem využívající plošný zemní kolektor.

	<b>V0</b> referenční	<b>V1</b>	<b>V2</b>	<b>V3</b>	<b>V4</b>
<b>NPV</b>	-1993719,39	-1387370,30	-1302285,15	-1919796,71	-1913973,00
<b>delta NPV</b>		606349,08	691434,23	73922,67	79746,39

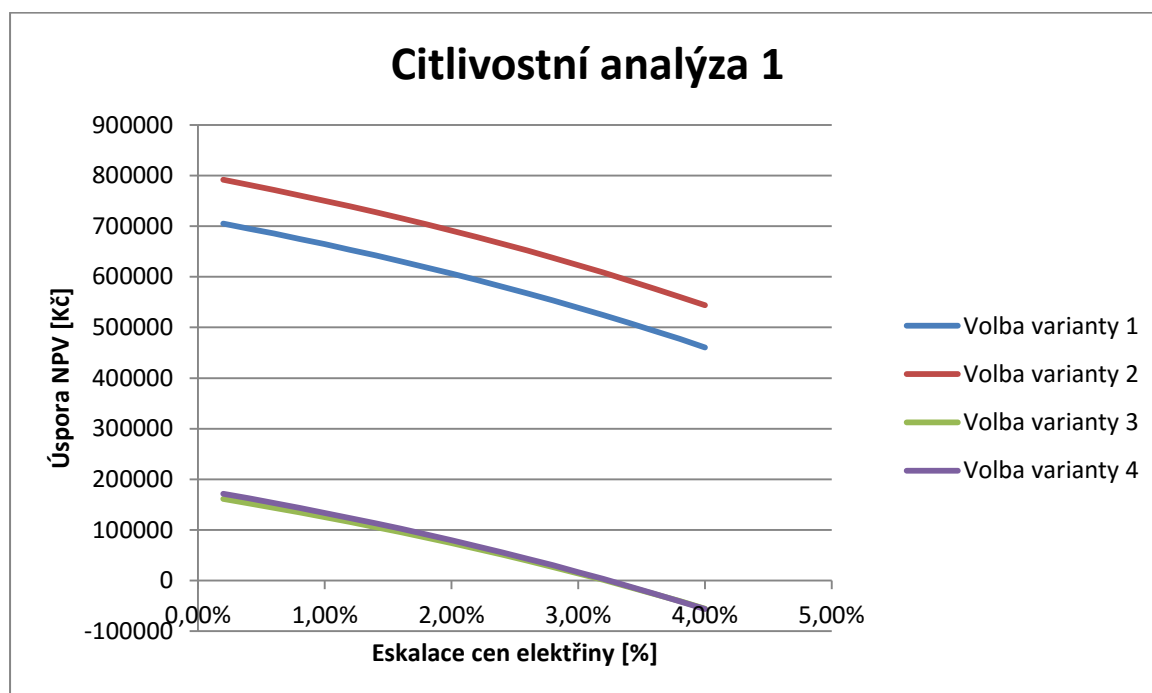
Tabulka 27 - Přehled výsledků NPV a úspor při výběru navrhovaných variant

### 3.11 Citlivostní analýzy

Pro lepší představu, jakou roli hrají jednotlivé vstupní parametry, jsem udělal citlivostní analýzy na růst ceny elektřiny, cenu vlastní práce, inflaci a změnu diskontu. Citlivostní analýzy jsou provedeny ve vztahu k referenční variantě 0.

#### 3.11.1 Citlivostní analýza – růst cen elektřiny

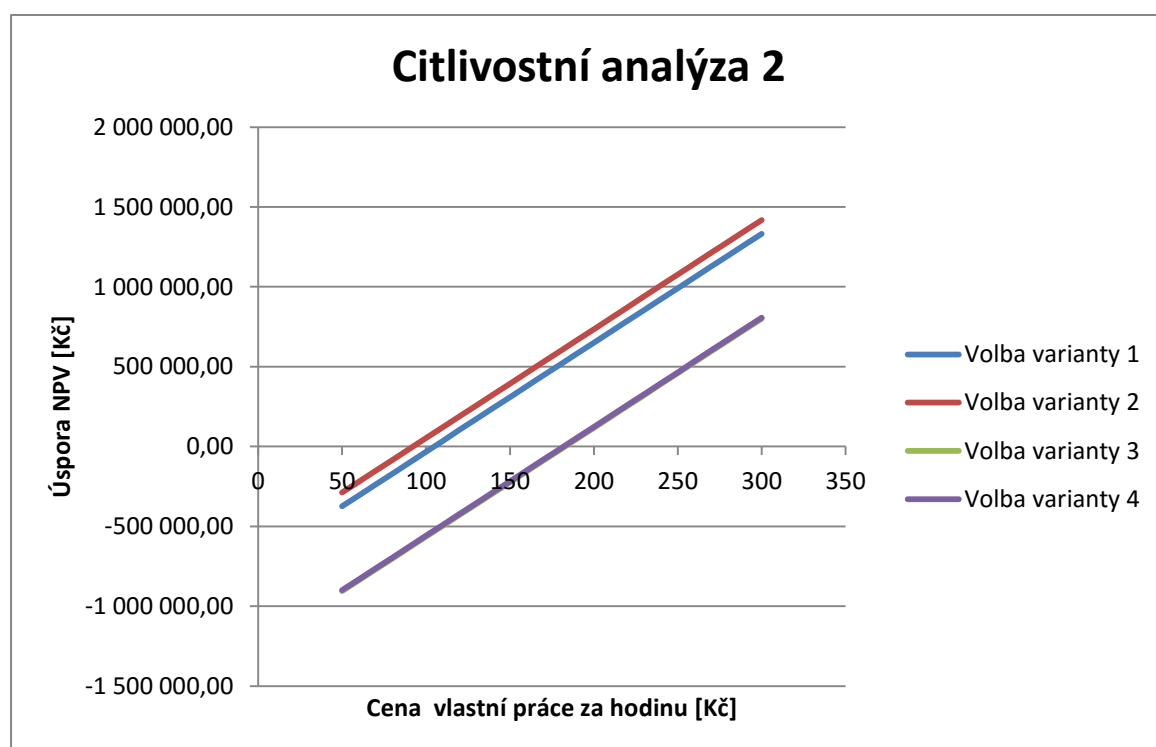
Všechny trendy jsou klesající, referenční varianta nevyužívá oproti ostatním variantám elektrickou energii pro topný systém. Pokud budou ceny elektrické energie neustále růst, projeví se tato skutečnost výrazněji v nárůstu provozních nákladů všech variant využívající tepelné čerpadlo, případně vzduchotechniku. Na referenční variantě se tento růst projeví ze všech nejméně. Pro varianty 3 a 4 platí, že při růstu cen elektřiny 3,4 % by se vyplatilo ponechat si kotel na pevná paliva.



Graf 12 - Citlivostní analýza – růst cen elektřiny

### 3.11.2 Citlivostní analýza – ocenění vlastní práce

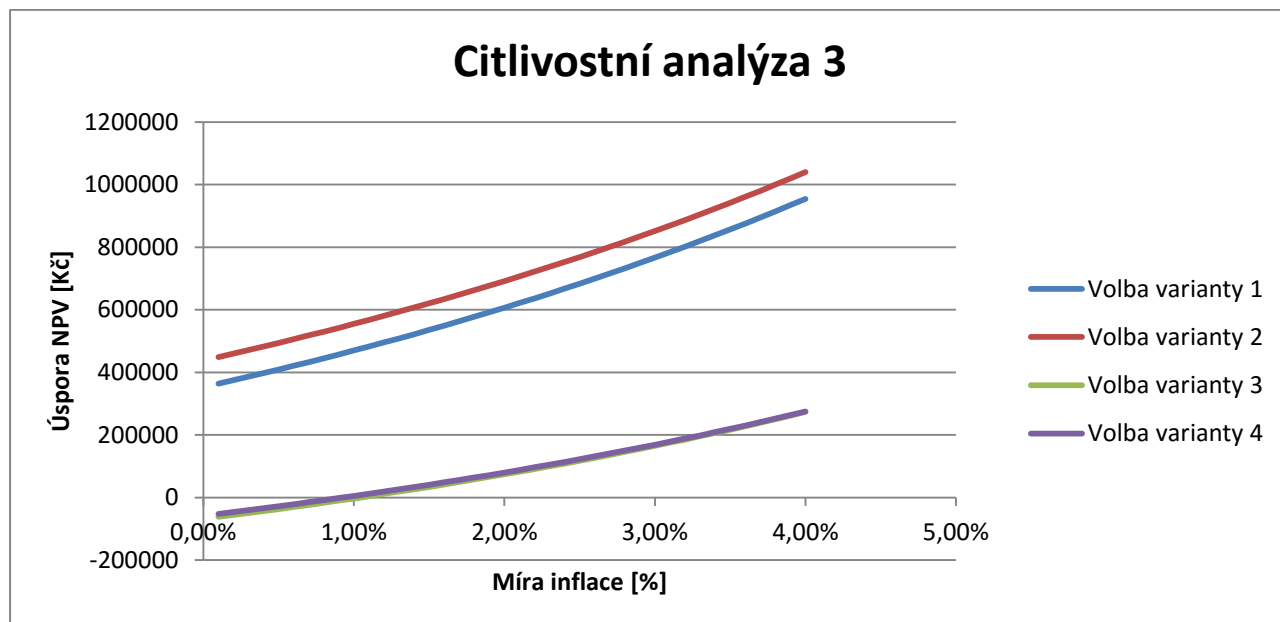
Citlivostní analýza průběhu úspory NPV v závislosti na ocenění vlastní práce. V případě volby varianty číslo 1 by se vyplatilo ponechat si referenční variantu při ceně práce pod 110 Kč, u varianty číslo 2 pod 90 Kč a u varianty 3 a 4 180 Kč.



Graf 13 - Citlivostní analýza – ocenění vlastní práce

### 3.11.3 Citlivostní analýza – inflace

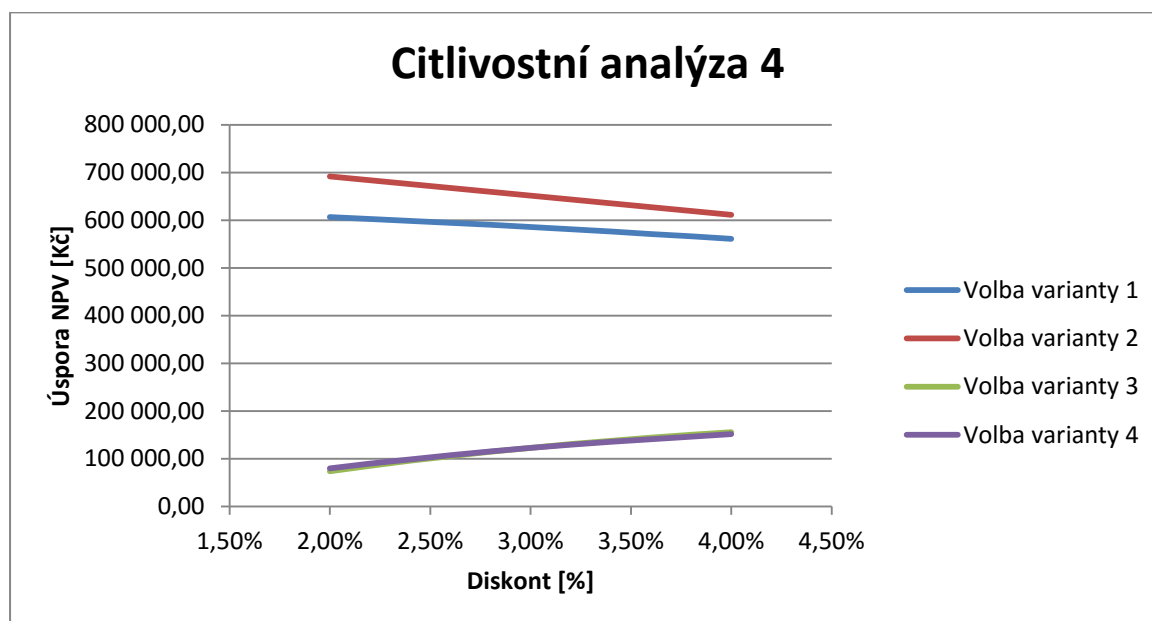
Při inflaci menší než 1 % by byly varianty 3 a 4 horší než referenční varianta 0. Stále nejlépe vychází varianta č. 2.



Graf 14 - Citlivostní analýza – inflace

### 3.11.4 Citlivostní analýza – diskont

Jako poslední jsem provedl citlivostní analýzu na diskont od 2 % do 4 %. Ze zadaných parametrů nedošlo k žádnému protnutí jednotlivých křivek, na výslednou volbu nemá vliv.



Graf 15 - Citlivostní analýza – diskont

### 3.12 Shrnutí kapitoly 3

V rámci hodnocení podle čisté současné hodnoty vychází nejlépe varianta číslo 2. Zároveň podle výsledků citlivostních analýz varianta č. 2 spolu s variantou č. 1 dominují ostatním variantám. Pouze v ojedinělých případech by bylo z ekonomického hlediska výhodnější si ponechat kotel na pevná paliva, toto řešení ovšem není přípustné, protože v rámci realizace se musí vybrat jedna z navrhovaných variant. Považuji za důležité zmínit, že při volbě jakékoliv varianty dojde ke změně distribuční sazby z D26d na D57d a tím se tak výrazně zvýší doba nízkého tarifu, čímž dojde k zlevnění provozu všech ostatních elektrických spotřebičů v domácnosti, zahradě, dílně a garáži.

## 4 Závěr

Tato diplomová práce se zabývala problematikou budov s nízkou spotřebou energie, legislativou a technickým zařízením. Cílem bylo pro stávající novostavbu rodinného domu navrhnout varianty realizace vytápění a větrání. Nejprve jsem v teoretické části provedl legislativní a technickou analýzu, na jejímž základě jsem v praktické části navrhl jednotlivé varianty. Tyto varianty obsahují podrobný výčet komponentů včetně cen a jsou k nim zpracovány podrobné provozní náklady. Varianty jsem ekonomicky zhodnotil a doporučil k realizaci nejvýhodnější z nich. Protože doporučená varianta číslo 2 není tolik finančně vzdálená od varianty číslo 1, která oproti ní požaduje daleko mírnější stavební zásahy na pozemku, investor se nakonec rozhodl realizovat variantu číslo 1, tedy vytápění teplem čerpadlem typu země (vrty) – voda.

## Seznam obrázků

Obrázek 1 - Ukázka návrhu v programu PHPP.....	9
Obrázek 2 - Vývojový diagram postupu výpočtu a propojení na další normy.....	11
Obrázek 3 - Průkaz energetické náročnosti budovy.....	15
Obrázek 4 - Schéma tepelného čerpadla.....	20
Obrázek 5 - Tepelné čerpadlo země – voda .....	23
Obrázek 6 - Tepelné čerpadlo s hlubinným vrtem .....	24
Obrázek 7 - TČ vzduch – voda.....	24
Obrázek 8 - Tepelné čerpadlo voda – voda .....	26
Obrázek 9 - Prohořivací kotel .....	27
Obrázek 10 - Odhořivací kotel .....	28
Obrázek 11 - Zplyňovací kotel .....	28
Obrázek 12 - Automatický kotel .....	29
Obrázek 13 - Zpětné získávání tepla, deskový rekuperátor .....	31
Obrázek 14 - Šestiúhelníkový výměník.....	32
Obrázek 15 - Rodinný dům Klassik 165 .....	34
Obrázek 16 – Kotel na pevná paliva Atmos C 30 S .....	35
Obrázek 17 - Předepsané zapojení kotle s Laddomatem 21/22 .....	36
Obrázek 18 - Rozdělení budov podle roční potřeby tepla na vytápění.....	44
Obrázek 19 - MasterTherm AquaMaster Inverter - 45l.....	47
Obrázek 20 - Geotermální sonda a "U" spojka jedné z větví primárního okruhu .....	47
Obrázek 21 - Sběrná jímka pro tepelné čerpadla země - voda .....	48
Obrázek 22 - Vystrojení vrtu pro tepelná čerpadla země – voda s hlubinnými vrty.....	49
Obrázek 23 - Způsob uložení zemního kolektoru.....	52
Obrázek 24 - Rekuperační jednotka Atrea Duplex ECV5.CP .....	58
Obrázek 25 - Ukázka větvení vzduchovodů.....	59
Obrázek 26 - Ukázka návrhu vzduchovodů v 1NP .....	59
Obrázek 27 - Mastertherm BoxAir - 30l.....	63
Obrázek 28 - Schéma ohřívání TUV .....	69

## Seznam grafů

Graf 1 - Graf průběhu teplot v konstrukci stěny 1PP .....	39
Graf 2 - Graf průběhu teplot v konstrukci podlahy 1PP.....	40
Graf 3- Graf průběhu teplot v konstrukci stěny 1NP a 2NP .....	41
Graf 4- Graf průběhu teplot v konstrukci stropu 2NP .....	42
Graf 5 - Tepelné ztráty konstrukcemi .....	44
Graf 6 - Graf průběhu teplot v konstrukci zateplené stěny 1NP a 2NP .....	54
Graf 7 - Tepelné ztráty jednotlivými konstrukcemi se zateplením .....	60
Graf 8 - Mastertherm AquaMaster 45l topný faktor .....	66
Graf 9 - Mastertherm AquaMaster 30l topný faktor .....	66
Graf 10 - Mastertherm BoxAir 30l Topný faktor .....	67
Graf 11 - Předpokládaná spotřeba elektrické energie jednotlivých tepelných čerpadel .....	68
Graf 12 - Citlivostní analýza – růst cen elektřiny .....	74
Graf 13 - Citlivostní analýza – ocenění vlastní práce .....	75
Graf 14 - Citlivostní analýza – inflace .....	76
Graf 15 - Citlivostní analýza – diskont.....	76



## Seznam tabulek

Tabulka 1 - Základní vlastnosti pasivních budov .....	4
Tabulka 2 - Přehled energetických potřeb zahrnutých do hodnocení primární energie pasivních budov.....	5
Tabulka 3 - Referenční hodnota faktoru energetické přeměny pro přepočítání na hodnoty primární energie z neobnovitelných zdrojů .....	6
Tabulka 4 - Základní požadavky na energeticky nulové budovy .....	7
Tabulka 5 - Přehled energetických potřeb zahrnutých do hodnocení primární energie energeticky nulové budovy .....	8
Tabulka 6 - Přehled termínů pro splnění požadavků nulových budov .....	13
Tabulka 7 - Rozdíl v požadavcích na pasivní standard RD podle TNI a PHPP .....	17
Tabulka 8 - Teplotní oblasti České republiky v zimním období, jejich průměrná nadmořská výška, základní návrhová teplota venkovního vzduchu a teplotní gradient .....	37
Tabulka 9 - Složení konstrukce stěny 1PP .....	38
Tabulka 10 - Složení konstrukce podlahy 1PP .....	39
Tabulka 11 - Složení konstrukce stěny 1NP a 2NP .....	40
Tabulka 12 - Složení konstrukce stropu 2NP .....	41
Tabulka 13- Souhrn konstrukcí a rozměrů pro výpočet ztrát .....	43
Tabulka 14 - Tepelné ztráty jednotlivými konstrukcemi .....	43
Tabulka 15 - Varianty rekonstrukce.....	45
Tabulka 16 - Rozpočet varianty č. 1.....	51
Tabulka 17 - Rozpočet varianty č. 2.....	53
Tabulka 18 - Složení konstrukce stěny 1NP a 2NP při zateplení .....	54
Tabulka 19 - Požadavky větrání obytných budov .....	55
Tabulka 20 - Přehled místností a množství vzduchu .....	56
Tabulka 21 – Přehled reálného odhadu potřeby výměny vzduchu.....	57
Tabulka 22 - Tepelné ztráty jednotlivými konstrukcemi se zateplením.....	60
Tabulka 23 - Rozpočet varianty č. 3.....	62
Tabulka 24 - Rozpočet varianty č. 4.....	64
Tabulka 25 - Přehled teplot ve Středočeském kraji 2000 – 2016.....	66
Tabulka 26 - Předpokládaná spotřeba elektrické energie jednotlivých tepelných čerpadel .....	68
Tabulka 27 - Přehled výsledků NPV a úspor při výběru navrhovaných variant.....	73

## Seznam použitých zdrojů

- [1] BERANOVSKÝ, Jiří a Jan POKORNÝ. *Je úsporný dům opravdu úsporný?: Z čeho postavit úsporný dům?*. Praha: Program EFEKT, 2014. ISBN ISBN: 978-80-87333-10-52014. Dostupné také z: [www.ekowatt.cz](http://www.ekowatt.cz)
- [2] KOLODĚJ, Jan. CHYTRÝ DŮM S.R.O. *Ekonomická výhodnost pasivních domů* [online]. 2012 [cit. 2015-10-17]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/pasivni-domy/8715-ekonomicka-vyhodnost-pasivnich-domu>
- [3] LUDĚK, Klazar. *Jak je to vlastně s topným faktorem (I)* [online]. 2005 [cit. 2015-10-18]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/2432-jak-je-to-vlastne-s-topnym-faktorem-i>
- [4] AUTOR NEZNÁMÝ. *Topný faktor* [online]. 2014 [cit. 2015-10-17]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/topny-faktor.dic>
- [5] KOLEKTIV AUTORŮ. *Produktový katalog MasterTherm: Tepelná čerpadla, produktová řada: Master 2015/2016*. 2015. Dostupné také z: [www.mastertherm.cz](http://www.mastertherm.cz)
- [6] AUTOR NEZNÁMÝ. *PLÁNOVACÍ NÁSTROJ PHPP 2007 CZ - ČESKÁ VERZE* [online]. 2009 [cit. 2015-10-18]. Dostupné z: <http://www.pasivnidomy.cz/planovaci-nastroj-phpp-2007-cz-ceska-verze/t326>
- [7] KOLEKTIV AUTORŮ. PREMĚŘENÍ, A. S. *Průkaz energetické náročnosti budovy a energetický audit* [online]. 2013 [cit. 2015-10-18]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/10584-prukaz-energeticke-narocnosti-budovy-a-energeticky-audit>
- [8] AUTOR NEZNÁMÝ. *Průkaz energetické náročnosti* [online]. [cit. 2015-10-24]. Dostupné z: <http://www.prukaznadum.cz/prukaz-energeticke-narocnosti>
- [9] AUTOR NEZNÁMÝ. EKOWATT. *EPBD II* [online]. 2011 [cit. 2015-10-25]. Dostupné z: <http://www.ekowatt.cz/cz/EPBD-II-Energy-performance-building-directive-II>
- [10] AUTOR NEZNÁMÝ. *Tepelná čerpadla* [online]. [cit. 2015-11-30]. Dostupné z: [http://www.neosolar.cz/tepelna\\_cerpadla/](http://www.neosolar.cz/tepelna_cerpadla/)
- [11] KOLEKTIV AUTORŮ. MASTER THERM TEPELNÁ ČERPADLA S. R. O. [online]. 2015 [cit. 2015-11-30]. Dostupné z: <http://www.mastertherm.cz/tepelna-cerpadla-zeme-voda>
- [12] KOLEKTIV AUTORŮ. MASTER THERM TEPELNÁ ČERPADLA S. R. O. [online]. 2015 [cit. 2015-11-30]. Dostupné z: <http://www.mastertherm.cz/tepelna-cerpadla-voda-voda>
- [13] LYČKA, Zdeněk. *Jak vybírat nový kotel na pevná paliva (I)* [online]. 2013 [cit. 2015-12-19]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/9798-jak-vybirat-novy-kotel-na-pevna-paliva-1>

- [14] ZMRHAL, Vladimír. *Požadavky na větrání obytných budov dle ČSN EN 15 665/Z1* [online]. 2012 [cit. 2015-12-19]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-vetrani-klimatizace/8239-pozadavky-na-vetrani-obytnych-budov-dle-csn-en-15-665-z1>
- [15] KOLEKTIV AUTORŮ. TZBINFO. *Prostup tepla vícevrstvou konstrukcí a průběh teplot v konstrukci* [online]. [cit. 2015-12-19]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/140-prostup-tepla-vicevrstvou-konstrukci-a-prubeh-teplot-v-konstrukci>
- [16] REINBERK, Zdeněk, Roman ŠUBRT a Lucie ZELENÁ. ENERGY CONSULTING SERVICE, ENERGY BENEFIT CENTRE O.P.S., TOPINFO S.R.O. *On-line kalkulačka úspor a dotací Zelená úsporám: Zjednodušený výpočet potřeby tepla na vytápění a tepelných ztrát obálkou budovy* [online]. [cit. 2015-12-19]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/128-on-line-kalkulacka-uspor-a-dotaci-zelena-usporam>
- [17] KOLEKTIV AUTORŮ. MASTER THERM TEPELNÁ ČERPADLA S.R.O. *Uživatelský manuál Tepelná čerpadla MasterTherm*. 2015. Dostupné také z: [www.mastertherm.cz](http://www.mastertherm.cz)
- [18] KOLEKTIV AUTORŮ. MASTER THERM TEPELNÁ ČERPADLA S.R.O. *On-line Poradna tepelných čerpadel* [online]. [cit. 2016-02-6]. Dostupné z: <http://www.mastertherm.cz/poradna/>
- [19] KOLEKTIV AUTORŮ. MASTER THERM TEPELNÁ ČERPADLA S.R.O. *AquaMaster Inverter* [online]. 2015 [cit. 2016-04-21]. Dostupné z: <http://mastertherm.cz/tepelne-cerpadlo-aquamaster-inverter>
- [20] KOLEKTIV AUTORŮ. GEROTOP S.R.O. *Vystrojení geotermálního vrtu: Jak by měl vypadat geotermální vrt pro tepelné čerpadlo, a proč.* [online]. 2016 [cit. 2016-04-21]. Dostupné z: <http://www.gerotop.cz/cs/sluzby/tepelna-cerpadla-primarni-okruhy/tepelne-cerpadlo-se-sondou/vystrojeni-geotermalniho-vrtu/>
- [21] KOLEKTIV AUTORŮ. GEROTOP S.R.O. *Ceník Gerotop s.r.o.* 2015 [cit. 2016-04-21]. Dostupné také z: <http://www.gerotop.cz/cs/sluzby/tepelna-cerpadla-primarni-okruhy/tepelne-cerpadlo-se-sondou/vystrojeni-geotermalniho-vrtu/>
- [22] KOLEKTIV AUTORŮ. GEROTOP S.R.O. *Instalace plošného kolektoru* [online]. [cit. 2016-04-22]. Dostupné z: <http://www.gerotop.cz/cs/sluzby/tepelna-cerpadla-primarni-okruhy/tepel-cerpadlo-s-kolektorem/instalace-plosneho-kolektoru/>
- [23] FABIÁN, Jiří. JIŘÍ FABIÁN A SYNOVÉ S.R.O. *Primární okruhy* [online]. [cit. 2016-04-22]. Dostupné z: <http://www.jfs.cz/primarni-okruhy.htm>
- [24] KOLEKTIV AUTORŮ. DIVIZE ISOVER, SAINT-GOBAIN CONSTRUCTION PRODUCTS CZ A.S. *Kalkulačka zateplení* [online]. 2016 [cit. 2016-04-23]. Dostupné z: <http://www.isover-eshop.cz/kalkulacka-eshop#4-contact>

- [25] KOLEKTIV AUTORŮ. ELEKTRODESIGN VENTILÁTORY S.R.O. *Rekuperální jednotky - obecné dotazy* [online]. 2016 [cit. 2016-04-23]. Dostupné z: <http://www.elektrodesign.cz/web/cs/web/faq/rekuperacni-jednotky-obecne-dotazy>
- [26] KOLEKTIV AUTORŮ. PAUL S.R.O. *Průvodce rekuperací PAUL* [online]. 2013 [cit. 2016-04-24]. Dostupné z: <http://www.rekuperacepaul.cz/piruka-prvodce-rekuperaci-paul>
- [27] BAŽANT, Martin. ATREA S.R.O. *Nové jednotky EC5 a ECV5* [online]. 2016 [cit. 2016-04-24]. Dostupné z: <http://www.atrea.cz/cz/559.nove-jednotky-ec5-a-ecv5?oznac=duplex%20ecv5.cp>
- [28] BECHYNĚ, Milan. TZBINFO. *Porovnání nákladů na vytápění TZB-info: Výpočet a grafické porovnání nákladů na vytápění, teplou vodu a elektrickou energii v budovách* [online]. 2013 [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/138-porovnani-nakladu-na-vytapani-tzb-info>
- [29] KOLEKTIV AUTORŮ. ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV. *Územní teploty* [online]. 2016 [cit. 2016-05-5]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty>
- [30] JIRÁNEK, Jiří. MASTER THERM TEPELNÁ ČERPADLA S.R.O. *Mastertherm AquaMaster 45I: Produktový list*. 2015 [cit. 2016-05-6]. Dostupné také z: [www.mastertherm.cz](http://www.mastertherm.cz)
- [31] JIRÁNEK, Jiří. MASTER THERM TEPELNÁ ČERPADLA S.R.O. *Mastertherm AquaMaster 30I: Produktový list*. 2015 [cit. 2016-05-6]. Dostupné také z: [www.mastertherm.cz](http://www.mastertherm.cz)
- [32] JIRÁNEK, Jiří. MASTER THERM TEPELNÁ ČERPADLA S.R.O. *Mastertherm BoxAir 30I: Produktový list*. 2015 [cit. 2016-05-6]. Dostupné také z: [www.mastertherm.cz](http://www.mastertherm.cz)
- [33] AUTOR NEZNÁMÝ. TZBINFO. *Ohřev vody: Pomůcka pro výpočet doby ohřevu teplé vody v zásobníkovém ohřivači nebo pro stanovení potřebného příkonu zdroje tepla pro ohřev teplé vody*. [online]. [cit. 2016-05-6]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/97-ohrev-vody>
- [34] ZIKÁN, Zdeněk. TZBINFO. *Zpětné získávání tepla a větrání objektů* [online]. 2010 [cit. 2015-12-20]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-s-rekuperaci/6325-zpetne-ziskavani-tepla-a-vetrani-objektu>
- [35] KOLEKTIV AUTORŮ. ZEHNDER GROUP CZECH REPUBLIC S.R.O. *Větrací jednotky – rekuperace tepla, optimalizace vlhkosti: Řízené větrání s rekuperací tepla pro rodinné domy a byty (II)* [online]. 2013 [cit. 2015-12-20]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-s-rekuperaci/10635-rizene-vetrani-s-rekuperaci-tepla-pro-rodinne-domy-a-byty-ii>

- [36] AUTOR NEZNÁMÝ. CENTRUM VYTÁPĚNÍ S.R.O. *Atmos C 30 S - Zplynovací kotel* [online]. [cit. 2016-04-22]. Dostupné z: <http://www.centrumvytapani.cz/atmos-c-30-s---zplynovaci-kotel>
- [37] AUTOR NEZNÁMÝ. ATMOS JAROSLAV CANKAŘ A SYN. *Laddomat 21® Laddningspaket: Návod k použití*. 2012 [cit. 2016-04-22]. Dostupné také z: [www.atmos.cz](http://www.atmos.cz)
- [38] KOLEKTIV AUTORŮ. ČESKÁ NÁRODNÍ BANKA. *Cílování inflace v ČR* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: [https://www.cnb.cz/cs/menova\\_politika/cilovani.html](https://www.cnb.cz/cs/menova_politika/cilovani.html)
- [39] BUFKA, Aleš. MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU. *Ceny pevných paliv pro domácnosti*. 2012.  
Dostupné také z: [download.mpo.cz/get/47373/53456/594277/priloha001.pdf](http://download.mpo.cz/get/47373/53456/594277/priloha001.pdf)

## Seznam použitých norem

- [1] ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT. ČSN 73 0540 *Tepelná ochrana budov - Část 1: Terminologie*. 2005.
- [2] ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT. ČSN 73 0540 *Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky*. 2011.
- [3] ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METEOROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ. TNI 73 0329 *Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou spotřebou tepla na vytápění – Rodinné domy*. 2010.
- [4] ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METEOROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ. ČSN ISO 13790 *Energetická náročnost budov – Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení*. 2009.
- [5] ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METEOROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ. ČSN EN 15316 – 4 - 2 *Tepelné soustavy v budovách – Výpočtová metoda pro stanovení energetické potřeby a účinností soustavy – Část 4 – 2: Výroba tepla pro vytápění, tepelná čerpadla*. 2011.
- [6] ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METEOROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ. ČSN EN 14825 *Klimatizátory vzduchu, jednotky pro chlazení kapalin a tepelná čerpadla s elektricky poháněnými kompresory pro ohřívání a chlazení prostoru – Zkoušení a klasifikace za podmínek částečného zatížení a výpočet při sezonním nasazení*. 2014.
- [7] ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METEOROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ. ČSN EN 15665 *Větrání budov – Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov*. 2009.
- [8] ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METEOROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ. ČSN EN 15251 *Vstupní parametry vnitřního prostředí pro návrh a posouzení energetické náročnosti budov s ohledem na kvalitu vnitřního vzduchu, tepelného prostředí, osvětlení a akustiky*. 2011.
- [9] ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT. ČSN 73 0540 *Tepelná ochrana budov - Část 3: Návrhové hodnoty veličin* 2005.

## Seznam použitých zákonů a vyhlášek

- [1] ČESKÁ REPUBLIKA. *Zákon o hospodaření energií*. In. 2000, 406/2000 Sb.
- [2] ČESKÁ REPUBLIKA. *Vyhláška o energetické náročnosti budov*. In. 2013, 78/2013 Sb.
- [3] EVROPSKÝ PARLAMENT. EPBD - *Directive on the energy performance of buildings*. In. 2003
- [4] EVROPSKÝ PARLAMENT. EPBD II - *Directive on the energy performance of buildings*. In. 2010
- [5] ČESKÁ REPUBLIKA. *Vyhláška o technických požadavcích na stavby*. In. 2012, 20/2012 Sb.

## Přílohy

- [1] Excel s výpočty