

Česká zemědělská univerzita v Praze

Provozně ekonomická fakulta

Katedra ekonomiky



Diplomová práce

**Alternativní energetická koncepce domu v podobě
investičního záměru**

Bc. Robert GALL

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra ekonomiky

Provozně ekonomická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Robert Gall

Podnikání a administrativa

Název práce

Alternativní energetická koncepce domu v podobě investičního záměru

Název anglicky

Alternative energy house concept in the form of investment project

Cíle práce

Hlavním cílem práce je návrh investičně a provozně vyváženého konstrukčního a technologického řešení konkrétního domu.

Díličí cíle:

- specifikace obecných požadavků
- návrh architektonického řešení
- určení energetické náročnosti
- návrh technického zařízení budovy
- výpočet investičních a provozních nákladů
- analýza ekonomické návratnosti zvoleného řešení

Metodika

V teoretické části práce budou formou syntézy využívány dostupné literární prameny k vytvoření teoretického přehledu řešené problematiky, na který bude v následující praktické části navazovat vlastní analýza a hodnocení za použití následujících metod:

- matematické modelování tepelných ztrát
- vícekriteriální analýza typových řešení
- kalkulace nákladů
- metody hodnocení investic

Doporučený rozsah práce

50-60 str.

Klíčová slova

pasivní dům, energetická bilance, technické zařízení budov, architektonické řešení, provozní náklady, ekonomická návratnost

Doporučené zdroje informací

DUFKA, J. Hospodárné vytápění domů a bytů, 1.vyd. Praha: Grada Publishing, 2007. 112 stran. ISBN 80-247-2019-7.

FOTR, J., SOUČEK, I. Podnikatelský záměr a investiční rozhodování. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 2005. 356 stran. ISBN 80-247-0939-2.

HRDÝ, M. Hodnocení ekonomické efektivity investičních projektů EU. 1. vyd. Praha: Aspi, 2006. 204 stran. ISBN 80-7357-137-4.

MURTINGER, K. Úsporný rodinný dům, 1.vyd. Praha: Grada Publishing, 2013. 112 stran. ISBN 80-247-4559-6.

QUASCHINING, V. Obnovitelné zdroje energie. 1.vyd. Praha: Grada Publishing, 2010. 296 stran. ISBN 80-247-3250-3.

Předběžný termín obhajoby

2015/06 (červen)

Vedoucí práce

Ing. Michal Malý, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 10. 3. 2015

prof. Ing. Miroslav Svatoš, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 10. 3. 2015

Ing. Martin Pelikán, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 12. 03. 2015

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci Alternativní energetická koncepce domu v podobě investičního záměru jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 16.3.2015

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Michalovi Malému, Ph.D. za odborné vedení při psaní diplomové práce.

Alternativní energetická koncepce domu v podobě investičního záměru

Alternative energy house concept in the form of investment project

Souhrn

Alternativní energetická koncepce domu v podobě investičního záměru je prací zaměřenou na návrh energetické koncepce konkrétního pasivního domu a její ekonomické zhodnocení. V první části je definován metodický aparát pro výpočet energetické bilance domu. Dále pak pro určení výše investice do technického zařízení, výpočet provozních nákladů a provedení ekonomického porovnání variantních řešení. Druhá část navozuje obecný přehled řešené problematiky. Uvádí mj. standardní řešení za podobných podmínek u jiných staveb. V praktické části je popsáno a zdůvodněno architektonické řešení konkrétní stavby. Současně jsou provedeny technické výpočty potřebné pro návrh variantních řešení tepelného hospodářství budovy. Dále je provedeno ekonomické porovnání jednotlivých variant a závěrečná analýza vyhodnocuje pořadí efektivnosti jednotlivých řešení. Z výsledků lze vyzdvihnout dva faktory s podstatným vlivem na volbu technického zařízení budovy, kterými jsou velikost počáteční investice a zvýhodněný tarif dodávky elektrické energie. Z ekonomického hlediska je výhodnější řešení s nižší investicí, neboť při velmi nízké spotřebě energie jsou provozní náklady po dobu životnosti zařízení málo významné.

Summary

Alternative energy concept house in the form of investment project work is focused on a specific draft energy concept of the passive house and its economic evaluation. In the first part there is defined a methodological apparatus for calculating the energy balance of the house. Furthermore there are methods to determine the amount of investment to a

technical equipment, calculation of operating costs and economic comparison of alternative solutions. The second part brings a general overview of the topic. Standard solution under similar conditions with other structures are presented. At the practical part there is described and justified a particular architectural design of the building. There are made technical calculations required for designing of alternative solutions thermal management of the building. It is also made economic comparison of the solutions and the final analysis evaluates the effectiveness of each solution and give them the sequence. The results can highlight two factors with significant influence on the choice of building technical facilities, which are the size of the initial investment and preferential tariff electricity supply. From an economic point of view it is preferable solution with lower investment because at very low power consumption, operating costs over the lifetime of the device are minor significance.

Klíčová slova: pasivní dům, energetická bilance, technické zařízení budov, architektonické řešení, provozní náklady, ekonomická návratnost

Keywords: passive house, energetic balance, technical building equipment, architectonic design, operating costs, economic return of costs

OBSAH

1	ÚVOD	1
2	CÍL PRÁCE	3
3	METODIKA	5
3.1	SPOTŘEBA ENERGIE STAVBY DLE TNI A PHPP	5
3.2	ENERGETICKY PASIVNÍ STANDARD	6
3.3	PROGRAM PHPP	7
3.4	TEPELNÝ ODPOR A SOUČINTEL PROSTUPU TEPLA	9
3.5	VĚTRÁNÍ	11
3.5.1	Dimenzování průtoku vzduchu	11
3.6	TEPELNÁ BILANCE	13
3.7	TEPELNÉ ZTRÁTY	14
3.8	TEPELNÉ ZISKY	15
3.9	TEPLO PRO VYTÁPĚNÍ	17
3.9.1	Teplo pro ohřev teplé užitkové vody	18
3.9.2	Pokrytí potřeby tepla solárním kolektorem	18
3.10	TOPNÝ VÝKON TEPELNÉHO ČERPADLA	20
3.11	URČENÍ NÁKLADŮ VÝSTAVBY	20
3.12	HODNOCENÍ EKONOMICKÉ EFEKTIVNOSTI INVESTICE	21
3.12.1	Doba návratnosti projektu	25
3.12.2	Diskontovaná doba splatnosti	26
3.12.3	Čistá současná hodnota	27
3.13	VÍCEKRITERIÁLNÍ ANALÝZA	28
4	PŘEHLED ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	31
4.1	ROZDĚLENÍ A POŽADAVKY NA ENERGETICKY ÚSPORNOU VÝSTAVBU	31
4.1.1	Nízkoenergetický dům	33
4.1.2	Pasivní dům	33
4.1.3	Nulový dům	34

4.2	HISTORIE	35
4.3	NÍZKOENERGETICKÁ VÝSTAVBA V ČR	36
4.4	TEPELNÉ MOSTY	37
4.5	ZDROJE TEPLA	38
4.5.1	Elektrické kotle a ohřivače	39
4.5.2	Interiérová lokální topidla	40
4.5.3	Solární kolektory	41
4.5.4	Tepelná čerpadla	42
4.6	ŘÍZENÉ VĚTRÁNÍ	44
4.7	OTOPNÉ SOUSTAVY	45
4.7.1	Sálavé vytápění teplovodní a elektrické	47
4.8	PŘÍPRAVA TEPLÉ VODY	47
5	PRAKTICKÁ ČÁST	49
5.1	POPIS KONKRÉTNÍHO DOMU - LOKALITA UMÍSTĚNÍ STAVBY	49
5.1.1	Urbanistické a architektonické řešení stavby	49
5.1.2	Popis navrženého konstrukčního systému stavby	50
5.2	STANOVENÍ ENERGETICKÉ SPOTŘEBY OBJEKTU	53
5.2.1	Součinitele prostupu tepla stavebních konstrukcí	53
5.2.2	Potřeba tepla na vytápění	54
5.2.3	Potřeba tepla pro přípravu teplé užitkové vody a ostatní energie	57
5.2.4	Celkové hodnocení objektu	60
5.3	VÝCHODISKA HODNOCENÍ VARIANTNÍCH ŘEŠENÍ	61
5.3.1	Výpočet provozních nákladů	61
5.3.2	Ekonomické hodnocení variantních řešení	63
5.4	NÁVRH VARIANT OTOPNÉ SOUSTAVY	64
5.4.1	Řízené větrání s rekuperací tepla	64
5.4.2	Varianta A - Cirkulační teplovzdušné vytápění	65
5.4.3	Varianta B - Elektrické podlahové topení	69
5.4.4	Varianta C - Teplovodní podlahové topení s krbovou vložkou	72
5.4.5	Varianta D - Teplovodní podlahové topení s elektrokotlem	77
5.4.6	Varianta E - Teplovodní podlahové topení s tepelným čerpadlem	81
6	ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ A DOPORUČENÍ	86

6.1	CELKOVÝ PŘEHLED VARIANT A DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ	86
6.2	VÍCEKRITERIÁLNÍ ANALÝZA VÝSLEDKŮ	87
ZÁVĚR		91
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ		94
SEZNAM GRAFICKÝCH OBJEKTŮ POUŽITÝCH V PRÁCI.....		99

1 ÚVOD

Člověk svojí průmyslovou i zemědělskou činností negativně ovlivňuje životní prostředí. Už pouhé zvětšování světové populace hrozí v budoucnu přerůst v neřešitelný problém. Problém jak zajistit obrovské mase lidí nejen základní obživu, ale také úroveň života, kterou s sebou přináší naše civilizace, komfort, na nějž si již značná část obyvatel země zvykla. Z dlouhodobého hlediska představuje aktuální využívání přírodních zdrojů lidmi zejména ve vyspělých zemích ekologickou časovanou bombu. Není prakticky možné za současné spotřeby zdrojů zajistit stejnou úroveň života pro všechny obyvatele země.

Lidé si již uvědomují problém nadužívání přírodních zdrojů. V Evropě nazýváme snahu o udržení a rozvoj současného života bez drancování přírody „trvale udržitelným rozvojem“. V českém zákoně a o životním prostředí je pod tímto termínem definován „takový rozvoj, který současným i budoucím generacím zachovává možnost uspokojovat jejich základní životní potřeby a přitom nesnižuje rozmanitost přírody a zachovává přirozené funkce ekosystémů“.

Jednou z mnoha možností jak dosáhnout trvale udržitelného rozvoje je zvýšení energetické účinnosti u konečného uživatele. Zvýšení energetické účinnosti lze dosáhnout technologickými či ekonomickými změnami, nebo v důsledku změn v lidském chování. Energetickou účinnost lze v zásadě zvýšit dvěma přístupy, které jsou však spojenými nádobami. Jednak úsporami spotřeby energie při zachování stálé produkce, nebo jejím lepším využitím tak, aby bylo dosaženo vyšší produkce při zachování spotřeby. Zvýšená energetická účinnost u konečného uživatele vede ke snížení spotřeby primární energie, dále ke snížení emisí skleníkových plynů, a tím k prevenci nebezpečných klimatických změn.

Stejně jako v mnoha dalších odvětvích lidské činnosti, také ve stavebnictví se akcentuje důraz na ohleduplnost k životnímu prostředí. Od uvedeného ekologického postoje se odvíjí snaha o minimalizaci energetické náročnosti budov. Legislativa reaguje neustálým

zpřísněním norem v oblasti tepelných ztrát. Zastřešujícím dokumentem v oboru stavebnictví je směrnice Evropského parlamentu a rady 2010/31/EU o energetické náročnosti budov, která zavazuje členské státy EU zajistit, aby všechny nové budovy od roku 2020 byly budovány „s téměř nulovou spotřebou energie“. Směrnice byla do legislativy ČR implementována novelou zákona o hospodaření energií.

Neméně důležitý tlak na výstavbu energeticky úsporných budov působí také ekonomika. Pro konečného uživatele to může být jeden z nejsilnějších argumentů. Tím argumentem je kromě problému zajištění dostatečného množství energií také neustálý růst jejich cen. Trend zvyšování cen prakticky všech druhů energií je dlouhodobý a pravděpodobně nezvratný. Z hlediska stavební architektury je odpovědí na tento trend návrh a výstavba budov s co nejnižší spotřebou provozních energií. Za dobu životnosti totiž dokáže takový objekt uspořit právě za provozní energie značné prostředky. Obecně se jedná o budovy s pasivním energetickým standardem. Výstavba energeticky efektivních budov však vyžaduje dodržení mnoha pravidel, použití moderních materiálů a v neposlední řadě precizní provedení, což má za následek zvýšené investiční náklady.

Studijní obor podnikání a administrativa je vystavěn především na ekonomice. Právě ekonomická výhodnost projektu je vedle ekologických, administrativních a dalších hledisek skutečným argumentem pro masové rozšíření energeticky efektivní výstavby. Investiční prostředky jsou omezeným zdrojem, proto každého rozumného investora zajímá, kolik bude investovat a co mu investice přinese. Investice za účelem zisku je vlastně podstatou podnikání a v konečném důsledku veškerého lidského snažení ať už ve smyslu finančním či jiném.

2 CÍL PRÁCE

Hlavním cílem práce je navrhnout investičně a provozně vyvážené konstrukční a technologické řešení konkrétního rodinného domu s důrazem na dosažení pasivního energetického standardu. Práce je zaměřena na technické zařízení budovy, zejména na volbu zdroje tepla. Podstatným kritériem jsou náklady a to nejen na prvotní pořízení investice, ale také náklady provozní. Práce nejprve specifikuje obecné požadavky pro dosažení nízké spotřeby energie. Dále popisuje konkrétní architektonické řešení rodinného domu přizpůsobené lokalitě umístěné v městské zástavbě. Projekt obsahuje také návrh technického zařízení budovy se zhodnocením investičních a provozních nákladů. Na závěr bude vypracována ekonomická analýza návratnosti zvoleného řešení technického zařízení budovy.

Dekompozice cílů:

- specifikace obecných požadavků na energeticky úspornou výstavbu
- návrh architektonického řešení
- určení energetické náročnosti budovy
- návrh technického zařízení budovy
- odhad investičních a výpočet provozních nákladů
- komparace definovaných variant
- vyhodnocení optimálního řešení

Nejprve bude provedena rešerše problematiky energeticky úsporných domů. Budou popsány principy prostupu tepla materiálem a metody zjišťování tepelné bilance stavby. Následuje určení kritérií pro rozdělení energeticky úsporné výstavby do základních skupin podle spotřeby energie. Dále budou charakterizovány požadavky na architektonické řešení objektu z hlediska úspor energie. Práce také zevrubně popíše různá technická řešení zařízení budovy, zejména různé způsoby zabezpečení požadovaného mikroklimatu uvnitř budovy a také ohřevu teplé užitkové vody.

Popsaná řešení a metody budou později aplikovány na konkrétní budovu. Její konstrukční návrh a vnitřní zařízení bude stejně jako umístění v dané lokalitě, řešeno v kontextu získaných poznatků. Na konkrétní stavbě bude proveden výpočet tepelné bilance objektu. Získaná data budou použita při návrhu technického zařízení pro zajištění větrání, tepla a TUV. U navrhovaných variant bude proveden odhad investičních nákladů a výpočet provozních nákladů. Na závěr bude provedeno zhodnocení ekonomické výhodnosti jednotlivých variant.

3 METODIKA

Diplomová práce byla zpracována za použití běžně dostupných metod a postupů, a to:

- matematické modelování tepelných ztrát
- kalkulace nákladů
- metody hodnocení investic
- vícekritériální analýza typových řešení

3.1 Spotřeba energie stavby dle TNI a PHPP

Pro posuzování stavby z hlediska spotřeby energie se v ČR zpravidla používají dvě metodiky. První je národní metodika TNI (technická normalizační informace) 73 0329 a 73 0330, stanovující jednotný postup hodnocení rodinných a bytových domů s velmi nízkou energetickou náročností, zejména nízkoenergetických a pasivních domů podle přílohy A ČSN 73 0540-2:2007. Druhá je metodika PHPP podle Passivhaus Institutu v Darmstadtu, užívaná především v německy mluvících zemích pro návrh pasivních domů. Zkratka vznikla z německého slova Passivhaus Projektierungspaket. Obě metodiky vycházejí z evropské normy EN ISO 13 790 (Energetická náročnost budov – Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení).

Metodika TNI hodnotí a porovnává posuzovaný objekt se „srovnatelným standardním objektem“, PHPP je vhodné použít pro návrh a optimalizaci projektu. Obě metody také uvažují rozdílná klimatická data, resp. TNI z důvodu možnosti vzájemného porovnání, používá stejná data pro všechny objekty, ať už jsou postavené kdekoliv. PHPP naopak zohledňuje konkrétní umístění. Výhoda optimalizace návrhu stavby dle metodiky PHPP je také v tom, že je uznávaná i v zahraničí, zatímco TNI pouze v České Republice. Podle PHPP jsou hodnoceny např. všechny pasivní domy v Německu a na základě tohoto výpočtu je možné získat i prestižní certifikát PHI (Passivhaus Institutu v Darmstadtu, Německo) i na budovy postavené v ČR (<http://www.porsennaops.cz/cs/o-p-s/sluzby-a-produkty/pasivni-domy/>, cit. 2015-01-20).

3.2 Energeticky pasivní standard

Každá nově postavená budova musí splňovat požadavky národních norem. Energeticky pasivní standard představuje (zatím) dobrovolné splnění určitých kritérií, která jsou přísnější, než je běžný standard a která zajišťují šetrný provoz budovy z hlediska spotřeby energie, především na vytápění. Minimalizují se tak provozní náklady na bydlení. Mimo hlavní požadavky, uvedené v následující tabulce, existují i další kritéria, která jsou závazná, nebo se alespoň doporučuje jejich splnění. Jsou jimi např.: doporučené hodnoty součinitelů prostupu tepla jednotlivými konstrukcemi, nepřekročení určité nejvyšší teploty vzduchu v objektu v letním období, účinnost rekuperace tepla a další (<http://www.porsennaops.cz/cs/o-p-s/sluzby-a-produkty/pasivni-domy/>, cit. 2015-01-20).

Porovnání kritérií pro pasivní standard u metodik TNI i PHPP je patrné z následující tabulky:

Tabulka 3.1 Kritéria pasivního standardu dle TNI a PHPP

	Kritérium	Označení	Jednotka	Požadavek TNI	Požadavek PHI
	Metodika výpočtu			TNI 73 0329 TNI 73 0330	PHPP
1	Měrná potřeba tepla na vytápění	E_A	$\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$	≤ 20 , resp. $15^{1)}$	≤ 15
2	Potřeba primární energie z neobnovitelných zdrojů	PE_A	$\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$	$\leq 60^{2)}$	$\leq 120^{3)}$
3	Neprůvzdušnost obálky budovy	n_{50}	h^{-1}	$\leq 0,6$	$\leq 0,6$

Zdroj: (<http://www.porsennaops.cz/cs/o-p-s/sluzby-a-produkty/pasivni-domy/>, cit. 2015-01-20)

1) Hodnota 20 kWh/(m².rok) platí pro rodinné domy, 15 kWh/(m².rok) platí pro bytové domy.

2) Energie na vytápění, přípravu teplé vody, technické systémy budov (bez osvětlení a ostatních domácích spotřebičů).

3) Energie na vytápění, přípravu teplé vody, technické systémy budov, osvětlení a ostatní domácí spotřebiče.

Je zřejmé, že vzhledem k trendu akcentovat ekologický přístup k nové výstavbě se budou požadavky technických norem do budoucna neustále zpříšňovat směrem k dosažení pasivního standardu budov.

3.3 Program PHPP

Pro efektivní tvorbu koncepce budovy je potřebný takový nástroj, který rychle reaguje na změny návrhu, umožňuje snadno pracovat ve variantách a přináší co nejpřesnější výsledky. Především u návrhu energeticky pasivního domu je nutné důsledně uplatnit tzv. metodiku energetické optimalizace, která byla rozpracována týmem PHI v Darmstadtu. Pro navrhování EPD byl na základě EN ISO 13790 vytvořen výpočtový nástroj PHPP (něm. Passivhaus Projektierungs Paket) na bázi Excelu, který je určen k hledání řešení vedoucích ke splnění požadovaných kritérií a k vytvoření protokolu. Projektant má k dispozici nástroj, pomocí něhož lze sledovat energetickou bilanci a funkčnost vznikajícího objektu od prvního do posledního kroku (Nagy, 2009).

Program PHPP je jednoduše strukturovaný návrhový nástroj v prostředí tabulkového editoru (MS Excel, OpenOffice), který mohou používat přímo architekti a projektanti.

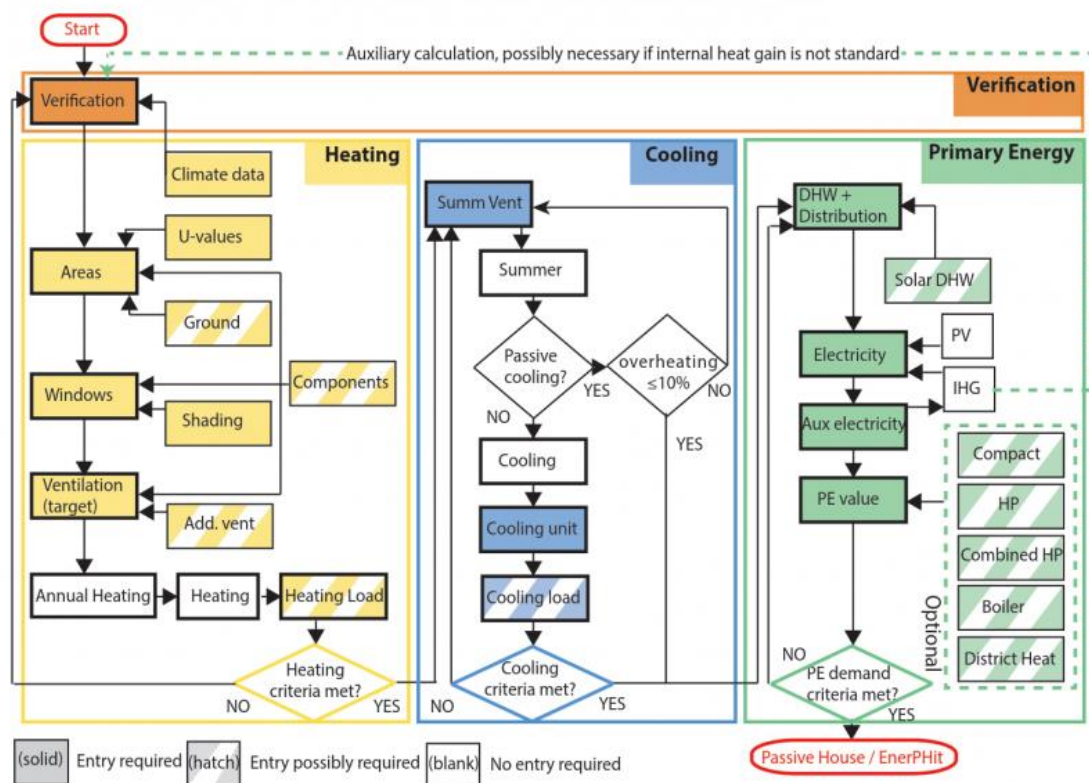
PHPP obsahuje nástroje pro:

- výpočet součinitelů U stavebních prvků s velkou mírou tepelné izolace
- výpočet energetické bilance
- návrh řízeného větrání

- výpočet topné zátěže
- výpočet letního případu – četnost přehřívání
- a mnoho dalších užitečných nástrojů pro spolehlivý návrh pasivních domů

Základem výpočtového programu PHPP jsou listy pro výpočet potřeby tepla na vytápění, výrobu tepla a distribuce, potřebu elektřiny a potřebu primární energie. Dále obsahuje návrhové moduly (listy) užitečné pro návrh dalších parametrů objektu, jako například výpočet parametrů oken, stínění, topné zátěže a letního případu (<http://www.pasivnidomy.cz/planovaci-nastroj-phpp-2007-cz-ceska-verze/t326>, cit. 2015-01-18).

Obrázek 3.1 Flow chart procesu výpočtu dle PHPP



Zdroj: (http://passipedia.passiv.de/passipedia_en/planning/calculating_energy_efficiency/phpp_-_the_passive_house_planning_package, cit. 2014-06-29)

3.4 Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla

Výpočet hodnot součinitele prostupu tepla U stavebních konstrukcí se provádí v PHPP podle DIN EN ISO 6946. Norma určuje metodu výpočtu tepelného odporu a součinitele prostupu tepla stavebních prvků a stavebních konstrukcí, kromě dveří, oken a dalších prosklených prvků, lehkých obvodových plášťů, konstrukcí přilehlých k zemině a prvků navržených pro výměnu vzduchu. Výpočtová metoda je založena na příslušných návrhových součinitelích tepelné vodivosti nebo návrhových tepelných odporech použitých materiálů a výrobků. Metoda platí pro prvky a konstrukce obsahující tepelně stejnorodé vrstvy (které mohou obsahovat vzduchové vrstvy). Norma také uvádí přibližnou metodu, která se může použít pro konstrukce obsahující nestejnorodé vrstvy, včetně vlivu kovových spon, pomocí korekčního členu uvedeného v příloze D (ČSN EN ISO 6946, 2008).

Výpočetní metoda není vhodná pro stavební konstrukce s prostupujícími kovovými prvky; zde může být nutný výpočet tepelných mostů.

Součinitel U stavební konstrukce s homogenními vrstvami se vypočítá podle vztahu (Feist, 2013):

$$U = \frac{1}{R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}} \quad (3.1)$$

R_{si}, R_{se} odpor při přestupu tepla na vnitřní a vnější straně konstrukce dle EN ISO 6946, viz Tabulka 3.2.

$R_1 \dots R_n$ tepelný odpor jednotlivých vrstev konstrukce 1...n

Tabulka 3.2 Hodnoty tepelného odporu konstrukce

Odpor konstrukce při přestupu tepla	Směr toku tepla		
	nahoru	vodorovně	dolů
R_{si} [m ² K/W]: na vnitřní straně	0,10	0,13	0,17
R_{se} [m ² K/W]: na vnější straně	0,04		
R_{se} [m ² K/W]: na vnější straně pod terénem	0		

Zdroj: (Feist, 2013)

Přitom tepelný odpor jednotlivých vrstev konstrukce se vypočítá z její tloušťky a tepelné vodivosti (MURTINGER, 2013):

$$R_i = \frac{d}{\lambda_{ekv}} \quad (3.2)$$

d tloušťka konstrukce,

λ_{ekv} tepelná vodivost materiálu

V PHPP je třeba používat návrhové hodnoty součinitele tepelné vodivosti. Tyto návrhové hodnoty součinitele tepelné vodivosti lze převzít DIN V4108-4, DIN EN 12524, příp. EN ISO 10456, ze stavebního technického osvědčení (Feist, 2013).

3.5 Větrání

Intenzita výměny vzduchu infiltrací v důsledku netěsností se stanoví pomocí snadno použitelného zjednodušujícího vztahu, který byl do roku 2008 obsažen v DIN EN ISO 13790. Tato hodnota se určí u rovnotlakých větracích systémů s rekuperací tepla podle vztahu (Feist, 2013):

$$n_{V,zbyt} = \frac{n_{50} \times e \times V_{n50}}{V_v} \quad (3.3)$$

n_{50} výsledek zkoušky neprůvzdušnosti

e součinitel větrné expozice

V_{n50} ... čistý objem vzduchu - referenční objem použitý při zkoušce neprůvzdušnosti

Celková průvzdušnost je experimentálně ověřovaná veličina. Ověřit ji lze pomocí celkové intenzity výměny vzduchu za hodinu při tlakovém rozdílu 50 Pa. Pro kontrolu existuje zařízení, které pomocí ventilátoru vytvoří tlakový rozdíl mezi vnitřním a venkovním prostředím. Udržuje se tlakový rozdíl a množství (objem) dopravovaného vzduchu se přepočte na objem budovy (Blower door test dle EN 13 821). Tato hodnota by neměla překročit normou doporučené intenzity výměny vzduchu (Počinková, 2008).

Požadavek pro pasivní domy: $n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$

Tato hodnota je mezní, je třeba usilovat o dosažení nižších hodnot (Feist, 2013).

3.5.1 Dimenzování průtoku vzduchu

Požadavek na minimální množství čerstvého vzduchu pro obytné budovy není v České republice přímo stanoven. Obvykle se doporučuje zajistit 15-30 m³/(h*osoba). Hodnota 30 m³/(h*osoba) přibližně odpovídá hodnotě 8 l/(s*os) uváděné v zahraničních zdrojích jako doporučení pro obytné budovy (Novák, 2008).

Pro stanovení požadovaného množství odváděného vzduchu se musí zadat počet příslušných místností s odtahem vzduchu. Požadované množství odváděného vzduchu pak vyplývá z minimálních hodnot pro místnosti s odtahem vzduchu (množství odváděného vzduchu odpovídají normě DIN 1946 část 6 z 1998-10). Návrhový objemový tok je třeba dimenzovat tak, aby pokryl minimálně vypočtené požadované množství odváděného vzduchu a přiváděného čerstvého vzduchu. Průměrná intenzita výměny vzduchu se u normálních obytných budov spočítá vynásobením faktorem 0,77. Průměrná intenzita výměny vzduchu by z hygienických důvodů neměla být nižší než 0,3 l/h. Na druhé straně by ani neměla být příliš vysoká, aby vzduch v místnosti nebyl v topné sezóně příliš suchý (Feist, 2013).

Intenzita výměny vzduchu n_{ref} udává objemový tok vzduchu netěsnostmi v obálce budovy při referenčním tlakovém rozdílu vztažený k objemu vnitřního vzduchu v budově (Novák, 2008):

$$n_{ref} = \frac{V_{ref}}{V} \quad (3.4)$$

V_{ref} objemový tok vzduchu při referenčním tlakovém rozdílu [m^3/h]

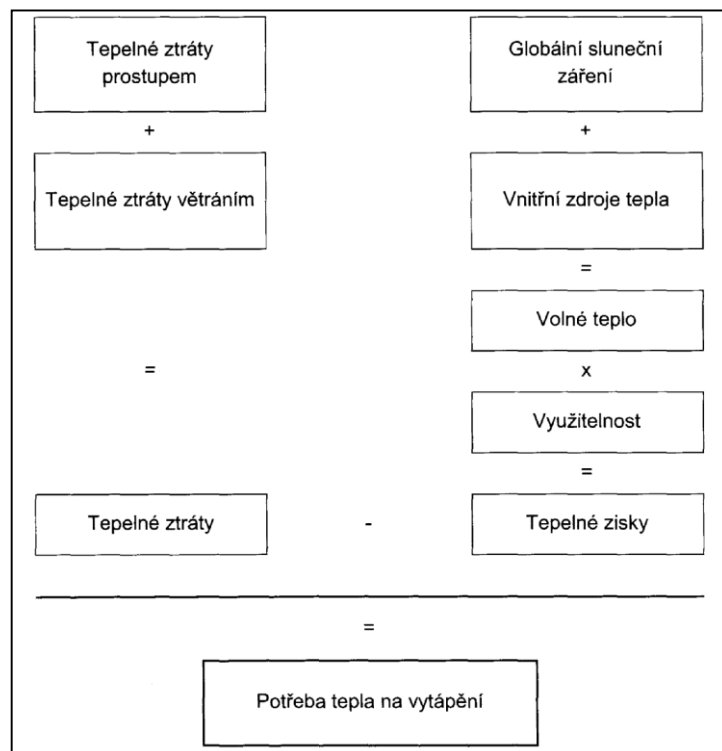
V_v objem vnitřního vzduchu měřené budovy [m^3]

Podle požadovaného provozu větrání (počet hodin za den s minimální nebo normální potřebou větrání, příp. základní větrání s pokrytím potřeby ve špičce) se stanoví intenzita výměny vzduchu (Feist, 2013).

3.6 Tepelná bilance

Na následujícím obrázku je schéma výpočtu energetické bilance vytápění znázorňující postup výpočtu v software PHPP.

Obrázek 3.2 Schéma energetické bilance



Zdroj: (Feist, 2013)

3.7 Tepelné ztráty

Celkové tepelné ztráty objektu se sestávají z tepelné ztrát prostupem stavebními konstrukcemi (vč. Tepelných mostů) a tepelných ztrát způsobených výměnou vzduchu (větráním).

Pro každou stavební konstrukci tepelné obálky se její roční tepelná ztráta vypočítá ze vztahu (Feist, 2013):

$$Q_T = A \times U \times b_j \times D_t \quad (3.5)$$

A plocha stavební konstrukce

U součinitel U stavební konstrukce

b_j činitel teplotní redukce

D_t časový integrál rozdílu teplot (denostupně)

Tepelné mosty jsou místně ohraničená oslabení tepelné izolace na plošných stavebních konstrukcích, čímž vzniká lokální snížení teploty vnitřního povrchu stavební konstrukce. V těchto místech vzniká jednak zvýšený tepelný tok směrem ven, jednak může na těchto místech dojít k poklesu teploty pod hranici kondenzace, a tudíž k poškození stavební konstrukce vlhkostí (Pregizer, 2009).

Dodatečné tepelné ztráty prostupem vlivem tepelných vazeb a mostů konstrukcí se v PHPP počítají takto (Feist, 2013):

$$Q_T = l \times \psi \times b_j \times D_t \quad (3.6)$$

l délka tepelné vazby

ψ lineární činitel prostupu tepla (vztaženo na vnější rozměry)

b_j činitel teplotní redukce

D_t časový integrál rozdílu teplot (denostupně)

Tepelné ztráty větráním se počítají podle vztahu (Feist, 2013):

$$Q_v = V_v \times n_v \times c \times D_t \quad (3.7)$$

V_v čistý objem vzduchu (energeticky vztažná podlahová plocha * průměrná výška prostoru)

n_v energeticky účinná intenzita výměny vzduchu

c měrná tepelná kapacita vzduchu: 0,33 Wh/(m³K)

D_t denostupně (vztaženo k teplotě exteriéru)

Celkové tepelné ztráty získáme sečtením tepelných ztrát obálky budovy a tepelné ztráty větráním (Feist, 2013):

$$Q_{LS} = Q_T + Q_V \quad (3.8)$$

Q_T tepelné ztráty prostupem

Q_V tepelné ztráty větráním

3.8 Tepelné zisky

Tepelné zisky, které jsou součástí výpočtu v programu PHPP se skládají ze solárních zisků, vnitřních zdrojů a volného tepla. Veškeré tepelné zisky však není možné k vyhřívání prostoru využít, proto se závěrem vypočte stupeň využití tepelných zisků viz obrázek 2.2 Schéma energetické bilance.

Významným zdrojem energie je slunce. Prostřednictvím slunečního záření dopadá na povrch Země energie o velikosti přibližně 1 kW/m². Část této energie je možné zprostředkovaně využít prosklenými plochami objektu k vyhřívání jeho vnitřních prostor.

Nabídka slunečního záření Q_s se vypočítá podle vztahu (Feist, 2013):

$$Q_s = F \times g \times A_w \times G \quad (3.9)$$

F Korekční činitel F zohledňuje podíl rámu na ploše okna, zastínění a znečištění a také nekolmý průchod záření. Pasivní domy by měly mít co největší nezastíněnou fasádu a co nejmenší podíl rámu.

g Celková propustnost slunečního záření zasklením (kolmý průchod záření)

A_w Plocha oken (skladebné rozměry)

G Globální sluneční záření ve dnech vytápění se vypočítá po zadání geometrie oken, úhlové odchylky od severu a úhlu sklonu, spočítá se jeho průměr ze všech oken, která se v projektu vyskytují. Globální sluneční záření je také závislé na klimatické oblasti.

Za vnitřní zdroje tepla Q_l , považujeme odpadní teplo z osob a z přístrojů, které vzniká ve dnech vytápění. Odečítá se energie pro ohřev studené vody a vypařování vody, která působí jako negativní vnitřní zdroj tepla (Feist, Innere Gewinne werden überschätzt, 1994).

Pro účely hodnocení se odhaduje výše vnitřních zdrojů pro standardní podmínky používání a ta se používá jako paušální hodnota (Feist, 2013):

2,1 W/m² energeticky vztažné podl. plochy u rodinných, bytových a řadových domů

4,1 W/m² energeticky vztažné podl. plochy u domovů

3,5 W/m² energeticky vztažné podl. plochy u administrativních a správních budov

2,8 W/m² energeticky vztažné podl. plochy u škol

Pro ostatní budovy je nutný přesnější výpočet.

Volné teplo je součtem tepla z vnitřních zdrojů a slunečního záření ve dnech vytápění (Feist, 2013):

$$Q_{gn} = Q_l + Q_s \quad (3.10)$$

Q_l vnitřní zdroje tepla

Q_s teplo ze slunečního záření

Stupeň využití tepelných zisků popisuje podíl volného tepla, které se dá využít pro vytápění prostoru. Přebytečné teplo, např. příliš vysoké solární příspěvky jsou využitelné jen zčásti nebo vůbec. Stupeň využití tepelných zisků se vypočítá podle vztahů (Feist, 2013):

$$\eta_G = \frac{1 - \left(\frac{Q_{gn}}{Q_{Ls}}\right)^5}{1 - \left(\frac{Q_{gn}}{Q_{Ls}}\right)^6} \quad (3.11)$$

Q_{gn} volné teplo

Q_{Ls} celkové tepelné ztráty

$$Q_{gn,rbl} = Q_{gn} \times \eta_G \quad (3.12)$$

Q_{gn} volné teplo

η_G stupeň využití tepelných zisků

3.9 Teplo pro vytápění

Hodnoty potřeby tepla na vytápění a dodané energie na vytápění se stanoví postupem podle ČSN EN ISO 13 790 s využitím vstupních údajů uvedených v TNI 73 0329 a TNI 73 0330. Hodnoty dodané energie na chlazení se stanoví postupem podle ČSN EN ISO 13 790 nebo podrobněji. Hodnoty dodané energie pro přípravu teplé vody, pomocné elektrické energie na provoz energetických systémů budovy a hodnoty dodané elektrické energie na elektrické spotřebiče se stanoví podle TNI 73 0329, TNI 73 0330 nebo podrobněji podle ověřených podkladů (Tywoniak, 2012).

Roční potřebu tepla na vytápění pro zajištění požadované teploty v budově lze získat dle vztahu (Feist, 2013):

$$Q_H = Q_{Ls} - Q_{gn,rbl} \quad (3.13)$$

Q_{Ls} celkové tepelné ztráty

$Q_{gn,rbl}$. využitelné tepelné zisky

Měrná potřeba tepla pro vytápění se z roční potřeby přepočte podílem s vztažnou podlahovou plochou (Feist, 2013):

$$Q_H = \frac{Q_H}{A_{EV}} \quad (3.14)$$

Q_H potřeba tepla na vytápění

A_{EV} ... energeticky vztažná podlahová plocha (obytná nebo užitná plocha)

Jako mezní hodnota pro pasivní domy platí $Q_H \leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ a to pro celou budovu uvnitř uzavřené tepelné obálky (Feist, 2013).

3.9.1 Teplo pro ohřev teplé užitkové vody

Množství tepla pro ohřátí určitého množství vody za časovou periodu lze stanovit (Počinková, 2008):

$$E = 1,163 \times V \times (t_1 - t_2) \quad (3.15)$$

V objem vody [m^3]

t_1 teplota teplé vody [$^{\circ}\text{C}$]

t_2 teplota studené vody [$^{\circ}\text{C}$]

3.9.2 Pokrytí potřeby tepla solárním kolektorem

Odhad měsíčního solárního pokrytí potřeby tepla pro vytápění a přípravu teplé užitkové vody v dané solární soustavě poskytuje metoda f-chart.

Vyhodnocení ročního pokrytí potřeby tepla se provádí z poměru tepelných ztrát kolektoru X (primární okruh) k potřebě užitého tepla Y dle vztahů (Duffie, 2006):

$$X = \frac{A_k \times F'_R \times U \times (t_{ref} - \bar{t}_e) \times \Delta\tau}{Q_{p,c}} \times \left(\frac{V_{ref}}{V_{st}} \right) \quad (3.16)$$

A_k je vztažná plocha solárních kolektorů [m²]

F'_R účinnostní součinitel solární kolektor-výměník

U součinitel prostupu tepla solárního kolektoru [W/(m²×K)]

t_{ref} empiricky získaná hodnota teploty [°C]

u solárních soustav pro přípravu TUV

$$t_{ref} = 11,6 \times 1,18 t_{TV} + 3,86 t_{SV} - 1,32 \bar{t}_e \quad (3.17)$$

t_{TV} požadovaná teplota teplé vody

t_{SV} teplota studené vody

u solárních kombinovaných soustav $t_{ref} = 100$ °C

\bar{t}_e průměrná měsíční venkovní teplota [°C]

$\Delta\tau$ počet sekund v měsíci [s]

$Q_{p,c}$... celková měsíční potřeba tepla pro přípravu teplé vody nebo vytápění [J]

V_{st} skutečný objem solárního zásobníku [l]

V_{ref} referenční objem solárního zásobníku 75 l/m² plochy kolektoru [l]

a poměru

$$Y = \frac{A_k \times F'_R (\bar{\tau\alpha}) \times \bar{H}_T \times n}{Q_{p,c}} \quad (3.18)$$

$(\bar{\tau\alpha})$... průměrný měsíční součin pohltivosti absorbéru a propustnosti zasklení

\bar{H}_T průměrná měsíční dávka slunečního ozáření v rovině solárních kolektorů [J/m²]

n počet dní v měsíci

3.10 Topný výkon tepelného čerpadla

Topný výkon tepelného čerpadla je dán součtem nízkopotenciální a hnací (elektrické) energie. Teplo odebírané z prvního (přírodního) prostředí je k dispozici zdarma a činí asi 60 – 70 % výkonu tepelného čerpadla. Podíl hrazené elektrické energie se pohybuje okolo 30 - 40 %. Poměr topného výkonu a elektrického příkonu je tzv. topný faktor tepelného čerpadla. Dle (Počinková, 2008) topný faktor vypočteme dle vztahu:

$$\varepsilon_{t\check{c}} = \frac{Q_{t\check{c}}}{P_{t\check{c}}} \quad (3.19)$$

$Q_{t\check{c}}$ tepelný výkon odevzdaný tepelným čerpadlem [kW];

$P_{t\check{c}}$ příkon dodaný tepelnému čerpadlu [kW]

Topný faktor tedy udává, kolikrát je větší získaná energie (výkon) oproti vynaloženému příkonu. Topný faktor je vždy momentální hodnota závislá na určitém provozním stavu. Závisí na teplotě zdroje nízkopotenciálního tepla a teplotě, při které je teplo vyprodukováno a spotřebováno. Čím vyšší je tedy teplota zdroje a čím nižší je teplota, při které se teplo spotřebovává, tím je topný faktor větší. Okamžitá hodnota topného faktoru se neustále mění podle provozních podmínek, a proto se pro celkové hodnocení používá tzv. provozní (nebo také průměrný) topný faktor za celou topnou sezonu (Počinková, 2008).

3.11 Určení nákladů výstavby

Náklady na výstavbu objektu se ve stavebnictví udávají pomocí položkového rozpočtu stavby. Jedná se o položkové vyjádření jednotlivých stavebních, řemeslných a montážních prací doplněné jednotkovými cenami za měrnou jednotku těchto prací a dodávek. Každá konkrétní položka (práce) je opatřena jednotkovou cenou a množstvím jednotek potřebných pro danou stavbu. Vynásobením jednotkové ceny a množství práce je stanovena konečná cena za každou konkrétní položku. Ucelené soustavy položek se seskupují do stavebních oddílů, které specifikují jednotlivé druhy prací (například zemní

práce, základové konstrukce, svislé konstrukce, technologické celky apod.). Stejným způsobem se určuje také cena za technické zařízení budov.

Položkový rozpočet stavby je produktem předchozích dílčích činností, kterými jsou nastudování projektové dokumentace nebo vlastní zaměření objektu, zpracování výkazu výměr a doplnění položkového vyjádření jednotlivých stavebních, řemeslných případně montážních prací, jednotkovými cenami. Jednotkové ceny mohou vycházet např. z cenové základny ÚRS, a.s., nebo z individuální kalkulace zhotovitele prací.

3.12 Hodnocení ekonomické efektivnosti investice

Finanční analýza a hodnocení podnikatelských projektů zaujímají v technicko-ekonomické studii projektu ústřední postavení, neboť poskytují základní informace pro rozhodování o přijetí či zamítnutí projektu, resp. informace pro posuzování výhodnosti více variant projektu a rozhodování o výběru varianty, která by se měla realizovat (Máče, 2006).

Z hlediska finančního můžeme investice charakterizovat jako jednorázově vynaložené zdroje, které budou přinášet peněžní příjmy během dalšího budoucího období. Jde tedy rovněž o odložení spotřeby za účelem získání budoucích užiteků, za účelem rozmnožení majetku a bohatství vůbec (Synek, 2007).

V oblasti investic tedy platí, že ten, kdo investuje (investor), obětuje svůj současný důchod (současné užítky, úspory) za příslib budoucího důchodu (budoucích užiteků, budoucích výnosů) s cílem dosáhnout zisku. Přihlíží při tom i k riziku a k době, za kterou budoucí výnosy získá. Z hlediska finančního při rozhodování o investicích jde o to, z jakých zdrojů bude investice hrazena (z vlastních zdrojů, úvěrem od banky) a jaká bude její efektivnost při použití různých zdrojů vč. hodnocení různých investičních variant.

Rozhodujícími kritérii pro posuzování investice jsou:

- výnosnost (rentabilita), tj. vztah mezi výnosy (cash flow), které investice za dobu své existence přinese, a náklady, které její pořízení a provoz stojí,
- rizikovost, tj. stupeň nebezpečí, že nebude dosaženo očekávaných výnosů,
- doba splacení (tzv. stupeň likvidity investice), tj. doba (rychlost) přeměny investice zpět do peněžní formy.

Ideální investice je taková, která má vysokou výnosnost, je bez rizika a co nejdříve se zaplatí (Synek, 2007).

Podstatou hodnocení investic je porovnávání vynaloženého kapitálu (nákladů na investici) s výnosy, které investice přinese. Jde v podstatě o rozpočtování jednorázových (investičních) nákladů a ročních výnosů za období životnosti investice. Konečným výsledkem rozpočtování je rozhodnutí, zda investici (akci) uskutečnit nebo v případě hodnocení více investičních možností (variant), kterou možnost využít. Postup hodnocení efektivnosti investic sestává z několika kroků:

1. určení kapitálových výdajů na investici (akci, projekt),
2. odhadnutí budoucích čistých peněžních příjmů, které investice přinese (cashflow), a rizika, se kterým jsou tyto příjmy spojeny,
3. určení „nákladů na kapitál“ (diskontní míry, o které budou příjmy diskontovány),
4. výpočet současné hodnoty očekávaných výnosů (očekávaných cash flow) a její porovnání s kapitálovými výdaji na investici.

Z hlediska zjištění údajů jsou nejobtížnější první dva kroky. Na reálnosti odhadu kapitálových výdajů a budoucích peněžních příjmů závisí úspěšnost celého investičního plánování (Synek, 2007).

Každý subjekt si pro hodnocení projektů stanovuje své metody a kritéria, která jsou z jeho pohledu, resp. projektu nejvýhodnější a jež umožňují provést zodpovědná investiční rozhodnutí. V tabulce 3.3 je prezentován přehled metod hodnocení efektivnosti projektů uplatňovaný vybranými autory. Každá z metod má svou vypovídací schopnost i svá kritéria, na základě kterých je možné provést rozhodnutí o přijetí, resp. zamítnutí projektu. Statické metody lze použít zejména tehdy, když faktor času nemá podstatný vliv na

rozhodovací proces, tj. jde o jednorázové pořízení (t 0, např. koupě stroje), nebo pro projekt s krátkou dobou ekonomické životnosti (max. 2 roky). Statické metody tedy používáme jako informační hodnocení, abychom mohli provést určité investiční rozhodnutí, resp. na základě získaných informací připravit dokumenty pro komplexní hodnocení projektu (Polách, Drábek, Merková, & Polách, 2012).

Tabulka 3.3 Přehled metod hodnocení ekonomické efektivity investičních projektů doporučených vybranými autory

Metody	Autor ²⁰								
	Fotr	Svitek	Brealey/Myers	Mičoch	Vysušil/Fotr	Kolektiv autorů	Dolanský a kolektiv	Papulová/Papula	Čunderlík
PE				✓	✓		✓		
DN	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
BZ		✓					✓	✓	
RI					✓	✓		✓	✓
RVK	✓								
URK	✓		✓						
RCK	✓								
ČSH	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
VVP	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
IR	✓		✓				✓		
DDS			✓						

Pramen: (Drábek & Polách, 2008)

Vysvětlivky:

PE - podnikový efekt

DN - doba návratnosti (úhrady)

BZ - bod zvratu

RI - rentabilita investice (ROI)

RVK - rentabilita vlastního kapitálu

URK- účetní rentabilita projektu

RCK - rentabilita celkového kapitálu

ČSH - čistá současná hodnota

VVP - vnitřní výnosové procento index rentability (ziskovosti)

DDS - diskontovaná doba splatnosti

Pro komplexní posouzení projektu i při předkládání projektu finančním institucím je třeba projekt zhodnotit především dynamickými metodami. Z tabulky 3.3 je zřejmé, že z dynamických metod založených na eskontování používají autoři (všichni kromě Svitek, 1994) především dvě metody, a to ČSH a VVP. Jen někteří autoři stanoví index rentability a poslední z dynamických metod — diskontovanou dobu splatnosti projektu rozpracovali ve své knize jen autoři Brealey, Myers (1994).

Jelikož investora zajímá především to, za jakou dobu se jím investovaný kapitál vrátí, všichni autoři bez výjimky doporučují přepočítat dobu splatnosti projektu (Polách, Drábek, Merková, & Polách, 2012).

Na základě analýzy jednotlivých přístupů hodnocení ekonomické efektivnosti, jejich vypovídací schopnosti, resp. jejich schopnosti dynamicky a v celé šíři podchytit kapitálové výdaje a očekávané výnosy investičního projektu, doporučuje (Polách, Drábek, Merková, & Polách, 2012) používat při hodnocení investičního projektu následující metody.

1. Čistou současnou hodnotu (CSH).
2. Vnitřní výnosové procento (VVP).
3. Index rentability (IR).
4. Diskontovanou dobu splatnosti (DDS).

Uvedené metody podporují kvalitu investičního rozhodování, tj. zkvalitňují proces přípravy a hodnocení projektů, a tedy umožňují kvalifikovaný výběr projektů, které naplňují cíle investování.

K podobným závěrům dochází také Svozilová (2011), když k výpočtům ziskovosti a návratnosti projektu píše: „V průběhu životního cyklu projektu se provádí celá řada výpočtů. Důležitou částí fáze zahájení projektu jsou analýzy a posudky ekonomické návratnosti projektu, které jsou podkladem rozhodování.

Typickými příklady užití matematických nástrojů před zahájením nebo v době iniciace projektu jsou výpočty ziskovosti a návratnosti projektu:

1. doba návratnosti projektu, která spočívá v určení délky období potřebného pro získání finančního prospěchu, který pokryje velikost investice do projektu,

2. diskontované peněžní toky – současná a budoucí hodnota investice, čistá současná hodnota a stanovení vnitřní návratnosti – jsou metody, které slouží pro porovnání aktuální hodnoty investice vzhledem k její předpokládané hodnotě v nějakém budoucím okamžiku
3. návratnost investic, která je nejpoužívanější metodou a měří celkovou efektivitu dosažení ziskovosti při použití disponibilních zdrojů.“

3.12.1 Doba návratnosti projektu

Zjištění návratnosti projektu je jednoduchou metodou spočívající v určení délky období, které je potřebné pro získání finančního prospěchu, jenž pokryje velikost investice do projektu. Výhodou metody je její relativní jednoduchost, nevýhodou je, že nebere ohled na změnu ceny peněz v budoucnosti (Svozilová, 2011).

Dobou splacení, jak ji nazývá SYNEK (2007) je takové období (počet let, resp. měsíců), za které tok příjmů (čistý cash flow) přinese hodnotu rovnající se původním nákladům na investici.

Kritérium doba úhrady nebo někdy označované jako doba návratnosti (*Payback Method*) lze formulovat jako statické nebo dynamické kritérium, tedy nediskontovaně nebo diskontovaně. Doba úhrady je obecně definována jako časový interval, za nějž dochází k úhradě veškerých jednorázových kapitálových výdajů na investiční projekt kumulovanými provozními příjmy od počátku provozu investice. Propočít statické doby úhrady v kumulativní verzi je formulován následovně (Dluhošová, 2008):

$$\sum_{t=1}^{DÚ} FCF_t = JKV \quad (3.20)$$

Hledá se taková doba úhrady $DÚ$, pro niž je tato rovnice splněna. Někdy je propočet statické doby úhrady prováděn pomocí průměrných ročních provozních příjmů \bar{FCF} takto

$$DÚ = \frac{JKV}{\bar{FCF}} \quad (3.21)$$

JKV jednorázové kapitálové výdaje

\bar{FCF} průměrné roční provozní příjmy

3.12.2 Diskontovaná doba splatnosti

U dynamické verze doby úhrady (nazývané též diskontovanou dobou splatnosti) je zohledněn faktor času. Kritérium je formulováno takto (Dluhošová, 2008):

$$\sum_{t=1}^{DÚ} FCF_t (1 + R)^{-t} = JKV \quad (3.22)$$

FCF_t ... volné peněžní toky v jednotlivých letech provozu investice

R náklad kapitálu

JKV ... jednorázové kapitálové výdaje

Podle tohoto kritéria má být projekt přijat, pokud doba úhrady je kratší než limitně stanovená doba u daných typů projektů.

Výhodou tohoto kritéria je, že se vychází z finančních toků, u dynamické doby úhrady je respektován faktor času a lze měnit náklad kapitálu. Určitou výhodou je rovněž snadná porovnatelnost a interpretace, což je užitečné zejména při komunikaci s pracovníky, kteří nemají hlubší ekonomické znalosti. Nevýhodou je, že jsou brány v úvahu finanční toky pouze do doby úhrady a finanční toky po této době nejsou uvažovány, jsou tedy považovány za absolutně rizikové a nenávratné. Další nevýhodou je nemožnost sčítat projekty (Dluhošová, 2008).

3.12.3 Čistá současná hodnota

Metoda čisté současné hodnoty (net present value) je z akademického hlediska „nejlepší“ metodou. Pokud je NPV využita manažery, její konstrukce splňuje požadavek na maximalizaci tržní hodnoty firmy. Metoda čisté současné hodnoty pracuje s časovou hodnotou peněz a její konstrukce bere v potaz existenci alternativ, což se odráží v zahrnutí alternativních nákladů. Pracuje se všemi relevantními hotovostními toky v průběhu celé existence zvažovaného projektu nikoli s účetní kategorií zisku. Patří k dynamickým metodám hodnocení efektivnosti investičních projektů (Růčková Petra, 2012).

Čistá současná hodnota projektu se definuje jako součet diskontovaných čistých toků hotovosti během doby života projektu, tj. za období výstavby i provozu. Vztah pro výpočet tohoto kritéria můžeme zapsat jako (Fotr, 1995):

$$\text{ČSH} = \sum_{i=1}^n \frac{\text{ČTH}_i}{(1+r)^i} \quad (3.23)$$

ČSH... čistá současná hodnota projektu

ČTH_i.. čistý tok hotovosti v i-tém roce života projektu

r diskontní sazba (%/100)

Pro propočtení čisté současné hodnoty projektu je třeba stanovit jednak jeho čisté toky hotovosti v jednotlivých letech života, jednak diskontní sazbu r, sloužící k přepočtu čistých toků hotovosti na srovnatelnou základnu.

Hlavní předností čisté současné hodnoty je to, že bere do úvahy celou dobu života projektu a respektuje časovou hodnotu peněz i riziko projektu pomocí diskontování. Nevýhodou tohoto kritéria může být jednak obtíž při výběru vhodné velikosti diskontní sazby, jednak to, že čistá současná hodnota neukazuje přesnou míru ziskovosti projektu. Z těchto důvodů proto někdy podnikatelé, zvyklí uvažovat v termínech rentability kapitálu, preferují vnitřní výnosové procento jako základní kritérium hodnocení a výběru podnikatelských projektů (Fotr, 1995).

3.13 Vícekriteriální analýza

Rozhodnutím rozumíme vybrání jedné varianty ze seznamu v dané situaci potenciálně realizovatelných variant. V souvislosti s rozhodováním v oblasti ekonomiky nebo politiky se zpravidla požaduje, aby akt rozhodnutí vedl k volbě v jistém smyslu optimální. Nejobtížnějším krokem rozhodovacího procesu je právě ta jeho část, kdy je nutné objasnit, co lze v dané situaci považovat za optimální (Fiala, 1997).

Výsledky vícekriteriálního hodnocení projektů představují východisko rozhodování o přijetí jednotlivých projektů a jejich zařazení do portfolia s následující realizací či o zamítnutí těchto projektů.

Realizace vícekriteriálního hodnocení vyžaduje:

- stanovit soubor kritérií hodnocení;
- určit váhy těchto kritérií;
- zvolit stupnice hodnocení projektů vzhledem ke kvalitativním kritériím;
- specifikovat transformaci hodnot kvantitativních kritérií na bezrozměrné vyjádření;
- stanovit celkové ohodnocení projektů.

Stanovení souboru kritérií je jedním ze základních předpokladů uplatnění vícekriteriálního hodnocení v rámci tvorby portfolia projektů. Podle jejich úlohy je třeba tato kritéria rozčlenit na kritéria eliminační a kritéria hodnotící.

Váhy kritérií určují jejich relativní významnost. Čím je váha určitého kritéria větší, tím je toto kritérium významnější. Váhy kritérií stanovené pomocí jednotlivých metod nejsou obvykle normovány, a proto je třeba jejich normování provést. Součet těchto normovaných vah je pak roven 1 (Fotr, 2011).

Kritérium je hledisko hodnocení variant. Máme-li hodnocení variant podle kritérií kvantifikováno, můžeme údaje uspořádat do kritériální matice Y , kde prvek y_{ij} vyjadřuje hodnocení i -té varianty podle j -tého kritéria (Brožová, 2009):

$$Y = \begin{matrix} & \begin{pmatrix} f_1 & f_2 & \dots & f_n \end{pmatrix} \\ \begin{matrix} a_1 \\ \dots \\ a_m \end{matrix} & \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_{m1} & y_{m2} & \dots & y_{mn} \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (3.24)$$

K určení vah kritérií je zvolena Saatyho metoda. Jde o metodu kvantitativního párového porovnávání kritérií. Pro ohodnocení párových porovnání kritérií se používá 9-ti bodové stupnice:

- 1 - rovnocenná kritéria i a j
- 3 - slabě preferované kritérium i před j
- 5 - silně preferované kritérium i před j
- 7 - velmi silně preferované kritérium i před j
- 9 - absolutně preferované kritérium i před j

Expert porovná každou dvojici kritérií a velikosti preferencí i -tého kritéria vzhledem k j -tému kritériu zapíše do Saatyho matice $S = (s_{ij})$ (Brožová, 2009):

$$S = \begin{pmatrix} 1 & s_{12} & \dots & s_{1n} \\ \frac{1}{s_{12}} & 1 & \dots & s_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{s_{1k}} & \frac{1}{s_{12}} & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad (3.25)$$

K výpočtu vah jednotlivých kritérií se nejčastěji používá postup normalizovaného geometrického průměru řádků Saatyho matice. Vypočteme hodnoty b_i jako geometrický průměr řádků Saatyho matice (Brožová, 2009):

$$b_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n s_{ij}} \quad (3.26)$$

Váhy se pak vypočtou normalizací hodnot b_i

$$v_i = \frac{b_i}{\sum_{i=1}^n b_i} \quad (3.27)$$

Ke stanovení ohodnocení variant je použita metoda váženého součtu. Metoda vychází z principu maximalizace užitku. Princip maximalizace užitku vychází z konstrukce hodnoty užitku, kterou přináší výběr určité varianty, na škále mezi 0 a 1. Čím je varianta vhodnější podle nějakého kritéria, tím je vyšší hodnota užitku. Z hlediska všech kritérií se varianta ohodnotí celkovou hodnotou užitku, kterou dostaneme agregací dílčích hodnot užitku s použitím vah kritérií. V praxi se často používá aditivní funkce užitku, která má tvar (Fiala, 1997):

$$u(a_i) = \sum_{j=1}^m v_j u_j(y_{ij}) \quad (3.28)$$

u_j dílčí funkce užitku jednotlivých kritérií

v_j váhy kritérií

Dále vyhledáme bazální variantu D s hodnocením (d_1, \dots, d_n) a ideální variantu H s hodnocením (h_1, \dots, h_n) . Vytvoříme normalizovanou kriteriální matici $R = (r_{ij})$, jejíž prvky získáme z kriteriální matice $Y = (y_{ij})$ pomocí transformačního vztahu (Fiala, 1997):

$$r_{ij} = \frac{y_{ij} - d_j}{h_j - d_j} \quad (3.29)$$

Tato matice již představuje matici hodnot užitku z i -té varianty podle j -tého kritéria. Podle vztahu (3.29) lineárně transformujeme kriteriální hodnoty tak, že r_{ij} je prvkem intervalu $\langle 0, 1 \rangle$, D_j odpovídá hodnota 0 a H_j odpovídá hodnota 1. Při použití aditivního tvaru vícekriteriální funkce užitku potom užitek z varianty a_i je roven (Fiala, 1997):

$$u(a_i) = \sum_{j=1}^n v_j r_{ij} \quad (3.30)$$

Varianta, která dosáhne maximální hodnoty užitku je vybrána jako "nejlepší", případně je možno uspořádat varianty podle klesajících hodnot užitku.

4 PŘEHLED ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

4.1 Rozdělení a požadavky na energeticky úspornou výstavbu

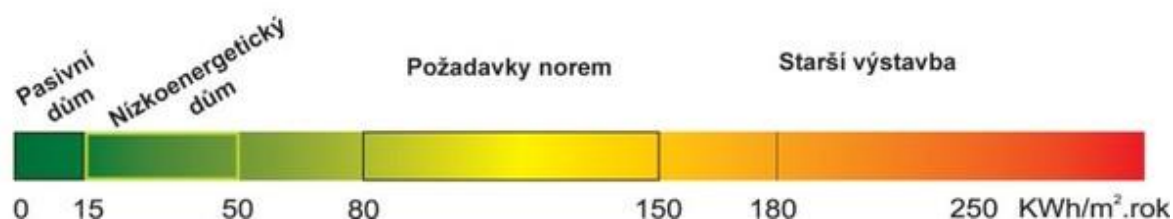
Již při stanovení tvaru a půdorysu budovy se rozhoduje o vysoké nebo nízké spotřebě energie. Budovy, které mají velkou plochu obvodového pláště (A) v poměru k obestavěnému prostoru (objem V), vykazují vyšší spotřebu energie než budovy, které mají při stejném objemu menší plochu obvodového pláště. To znamená, že poměr A/V musí být co nejmenší. Každý výstupek nebo výklenek budovy, např. arkýř, zvětšuje vnější obvodovou, tedy ochlazovanou, plochu budovy. To znamená, že již při navrhování se musíme snažit vytvořit pokud možno kompaktní tvar bez zbytečných výčnělků a výklenků. Jelikož se využívá u pasivního domu k vytápění sluneční energie, musí být tvar domu upraven tak, aby mohl co nejlépe přijímat sluneční záření. Na jižní straně musí být velké prosklené plochy, které umožní, aby sluneční záření v zimě pronikalo hluboko do domu. Prosklené plochy v severní fasádě by měly sloužit pouze k nejnútnejšímu osvětlení vnitřních prostor (Pregizer, 2009).

K čemu je vlastně v jakékoliv obytné budově potřebná energie? Především na vytápění, v menší míře pro přípravu teplé vody a na provoz elektrospotřebičů. K posuzování energetické náročnosti přípravy tepla na vytápění se používá více ukazatelů. Nejčastěji používaným kritériem bývá tzv. měrná potřeba tepla na vytápění, která se obvykle vztahuje na 1 m^2 podlahové plochy za období jednoho roku (tato veličina se označuje písmenem E_A , jednotkou je $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$). Písmeno a označuje fyzikální rozměr a znamená období jednoho roku - latinsky per annum. Pokud je v případě starších budov postavených do roku 1990 zapotřebí k vytápění přibližně 180 až $220 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, spotřebují novostavby splňující zpřísněné tepelně-technické normy přibližně polovinu energie (80 až $120 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$). V průměrné domácnosti se během roku nejvíce energie spotřebuje na vytápění (asi $100 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, tj. 65 až 75% celkové energie), menší část na přípravu teplé vody 25 až $30 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ (tj. asi 15%) a zbytek, 25 až $30 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ (tj. asi 15%), na domácí

spotřebiče bez podílu energie na vytápění (vaření, osvětlení, elektronika atd.). Uvedené tři hlavní složky energetické spotřeby lze názorněji ilustrovat přibližným číselným poměrem 7:1,5:1,5. Na všechny výkony spotřebuje běžná domácnost v průměru asi 160 kWh/(m².a) (Nagy, 2009).

V nízkoenergetickém domě se snižuje potřeba tepla přibližně o třetinu na úroveň 30 až 50 kWh/(m².a). Použitím efektivnějších technologií klesá i spotřeba energie na přípravu teplé vody a provoz elektrospotřebičů, přibývá však nepatrná složka pomocného proudu potřebného k provozu větracího zařízení. Předpokladem energeticky pasivního domu je radikální snížení především potřeby tepla (ve srovnání s donedávna běžnými novostavbami až o 80 %) na hodnotu 15 kWh/(m².a). I když úspory představují obecně největší potenciál v oblasti vytápění, koncepčním přístupem lze v energeticky pasivním domě snížit i energetickou spotřebu na ohřev vody a provoz elektrospotřebičů přibližně o 50 % (obě složky klesnou na cca 10 až 15 kWh/(m².a)). Číselný poměr hlavních složek spotřeby energie se v případě energeticky pasivního domu mění a je přibližně vyrovnaný - 1:1:1. Snižováním množství energie potřebné ke všem úkonům spojeným s provozem domácnosti lze dosáhnout měrné hodnoty konečné energie maximálně 42 kWh/(m².a), což představuje celkovou úsporu energie až o 75 % ve srovnání s donedávna běžným standardem výstavby (Nagy, 2009).

Obrázek 4.1 Škála energetické náročnosti domů.



Zdroj: (<http://www.ekowatt.cz/cz/informace/uspory-energie/zasady-vystavby-nizkoenergetickych-domu>, cit. 2014-12-22)

4.1.1 Nízkoenergetický dům

Za nízkoenergetické domy jsou považovány budovy s potřebou tepla maximálně 50 kWh/(m².a), bez ohledu na tvar budovy. U výhodného kompaktního tvaru je toto kritérium snáze splnitelné než u tvaru členitějšího. Jiná kritéria nízkoenergetických domů jsou doporučována rámcově, nejsou však jednoznačně stanovena – základním východiskem je zejména koncepční přístup. V popředí je vysoký tepelněizolační standard a neprůvzdušnost obvodových konstrukcí, omezení vlivu tepelných mostů, zvýšené solární zisky, řízené větrání s rekuperací tepla, využívání obnovitelných zdrojů energie a účinný (obvykle nízkoteplotní) systém vytápění (Nagy, 2009).

4.1.2 Pasivní dům

Pasivní domy jsou budovy zajišťující příjemné vnitřní prostředí v létě i v zimě bez použití klasického otopného systému. Oproti stávajícím budovám, které jsou spíše tepelnými zářiči, spotřebují o 85 až 90 % méně energie. V porovnání s novostavbami splňujícími současné národní normy a předpisy činí tato úspora až tři čtvrtiny.

Pasivní dům nevyužívá různá nákladná a technicky náročná zařízení, která neřeší snižování potřeb dodávané energie, ale jen efektivnější proměnu. Naopak, koncepce pasivního domu stojí na prvcích, které mají za úkol snížit závislost objektu na dodávkách energie. Po snížení tepelných ztrát je možné výrazně snížit výkon zdroje i celkový objem technologií. Zmenšení energetické náročnosti pasivních domů by nebylo možné bez mimořádně kvalitního zateplení, které současně v době vzrůstajících nároků na kvalitu bydlení přináší výtečnou tepelnou pohodu prostředí. Větrací systém se zpětným ziskem tepla neustále zajišťuje čistý čerstvý vzduch v celém domě, aniž by vznikal průvan a velké tepelné ztráty. Díky vzduchotěsné obálce budovy, vyloučení tepelných mostů a neustálému větrání pak zůstávají konstrukce suché a bezporuchové. Název pasivní dům vychází z principu využívání pasivních tepelných zisků v budově. Jsou to vnější zisky ze slunečního záření procházejícího okny a zisky vnitřní – teplo vyzařované lidmi a spotřebiči. Díky velmi kvalitní izolaci tyto zisky „neutíkají“ ven a po většinu roku postačují k zajištění příjemné teploty v místnostech. Vše dohromady zvyšuje kvalitu bydlení a hodnotu nemovitosti (Bárta, 2010).

Tabulka 4.1 Základní vlastnosti pasivních budov

	Průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} [W/(m ² ·K)]	Měrná potřeba tepla na vytápění [kWh/(m ² ·a)]	Měrná potřeba energie na chlazení [kWh/(m ² ·a)]	Měrná potřeba primární energie [kWh/(m ² ·a)]
Obytná budova: rodinný dům	≤ 0,25 požadováno ≤ 0,20 doporučeno	≤ 20 požadováno ≤ 15 doporučeno	0 ²⁾	≤ 60
Obytná budova: bytový dům	≤ 0,35 požadováno ≤ 0,30 doporučeno	≤ 15	0 ²⁾	≤ 60
Neobytná budova s převažující teplotou 18–22 °C	≤ 0,35 ¹⁾	≤ 15	≤ 15	≤ 120
Ostatní budovy	Požadavky stanoveny individuálně s využitím aktuálních poznatků odborné literatury			≤ 120
¹⁾ Uvedená hodnota je doporučená, nejvýše však musí být rovna odpovídající hodnotě $U_{em,rec}$ podle článku 5.3.2 v [103]. ²⁾ Stavební řešení musí být takové, aby strojní chlazení nebylo potřebné (ověření výpočtem za normových podmínek). 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.				

Zdroj: (ÚNMZ, 2011)

4.1.3 Nulový dům

Energeticky nulový dům, resp. dům s „nulovou potřebou energie“, je budova s potřebou tepla blízkou nule (tj. menší než 5 kWh/(m²·a)). Realizace takového objektu je možná pouze za mimořádně vhodných podmínek a vysoké investice do technického zařízení, proto se na rozdíl od energeticky pasivního domu objevuje velmi zřídka. Prvořadá je snaha dosáhnout neutrálního výsledku bilance energie a emisí v období jednoho roku.

Vlastní produkce elektřiny bývá zajištěna obnovitelným způsobem - fotovoltaickým systémem, kogenerační jednotkou nebo malou větrnou turbínou. Rozhodující roli při vyrovnávání energetické nabídky a poptávky v závislosti na sezonních klimatických výkyvech sehrává napojení na veřejnou elektrickou síť.

V této kategorii je třeba rozlišovat i dům s „nulovou potřebou energie na vytápění“. Celková potřeba tepla na vytápění je pokryta pasivním a aktivním využíváním sluneční energie - dům má zpravidla přiměřeně naddimenzovaný sezonní zásobník teplé vody (o objemu 3 000 až 10 000 litrů), který je v létě nabíjen velkoplošným fototermickým systémem (Nagy, 2009).

Tabulka 4.2 Základní požadavky na energeticky nulové budovy

Závaznost kritéria	Požadovaná hodnota	Doporučená hodnota	Požadovaná hodnota podle zvolené úrovně hodnocení	
			Úroveň A	Úroveň B
	Průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} [W/(m ² ·K)]	Měrná potřeba tepla na vytápění [kWh/(m ² ·a)]	Měrná roční bilance potřeby a produkce energie vyjádřená v hodnotách primární energie z neobnovitelných zdrojů [kWh/(m ² ·a)]	
Obytné budovy				
Nulový	Rodinné domy ≤ 0,25 Bytové domy ≤ 0,35	Rodinné domy ≤ 0,20 Bytové domy ≤ 0,15	0	0
Blízký nulovému			80	30
Neobytné budovy ²⁾				
Nulový	≤ 0,35 ¹⁾	≤ 0,30	0	0
Blízký nulovému			120	90
¹⁾ Uvedená hodnota je doporučená, nejvýše však musí být rovna odpovídající hodnotě $U_{em,rec}$ podle článku 5.3.2 [103]. ²⁾ Neobytné budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou 18 až 22 °C včetně. Pro jiné budovy není stanoveno.				

Zdroj: (ÚNMZ, 2011)

4.2 Historie

Začátky nízkoenergetické výstavby sahají do 70. let 20. století - první kroky byly učiněny v USA a ve Skandinávii zdokonalováním tzv. solárních domů. Nejširší uplatnění našly nízkoenergetické domy v Německu (vylepšením konceptu se zde dospělo k vývoji energeticky pasivních domů), kde se budovaly od poloviny 80. let 20. století a od doby novelizované vyhlášky o tepelné ochraně budov (tzv. EnEV) z roku 2000 jsou tu v současnosti běžným standardem. Podobná situace je i v Rakousku nebo ve Švýcarsku a brzy ji lze očekávat i u nás (Nagy, 2009).

Prvním pasivním domem v Evropě byla stavba v dánské Kodani, postavená podle projektu architekta Vagna Korsgaardena v roce 1976. Byla realizována hned radikálně jako „nulový dům“ s nulovou potřebou tepla na vytápění. Veškeré tepelné ztráty domu byly kryty vnitřními tepelnými zisky ve spolupráci se solárními kolektory (Bárta, 2010).

Koncept pasivních domů prosazoval Dr. Wolfgang Feist, který v r. 1997 založil Passivhaus Institut v Darmstadtu. Myšlenkou bylo postavit dům, který by měl co nejnižší spotřebu energie. Výpočty se zjistilo, že zvyšováním tepelných izolací lze šetřit pouze část tepla, ale další teplo odchází nekontrolovatelně větráním, a proto bylo nutné přistoupit k využívání rekuperace. Její instalace však výrazně prodražovala domy, a proto v rámci úspor bylo odbouráno klasické vytápění, které bylo nahrazeno teplovzdušným vytápěním. Aby byly dodrženy normy na rychlost proudění vzduchu v obytných místnostech, bylo vypočteno, že maximální tepelná ztráta může být 10 W/m^2 podlahové plochy. Z této prvotní úvahy se pak zpětně dopočítala maximální potřeba tepla na vytápění na hodnotu $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ a protože se jednalo o ekologický počin, byla omezena i primární potřeba energie na provoz domu (Šubrt, 2011).

4.3 Nízkoenergetická výstavba v ČR

V české republice je situace proti Německu mírně jiná, zde jsou v normách dané jiné klimatické podmínky (stanovení průměrných teplot v normovém roce a průměrné intenzity slunečního záření v normovém roce), používá se ve výpočtech jiná tepelná vodivost (V ČR se používá výpočtová hodnota, v Německu deklarovaná) apod. Jiná situace je také ve stavebnictví, kdy se v ČR používají obvykle výkresy pro stavební povolení, které nejsou dostatečně přesné pro realizaci stavby, avšak jiná výkresová dokumentace není nikde požadována. Z této situace a z české mentality vyplynulo, že pro případné udělování dotace na pasivní stavby není možné vycházet z PHPP modelu. Proto vznikly TNI 73 0329 a TNI 73 0330 (technicko-normalizační informace), které definují, co je pasivní dům. První se věnuje rodinným domům, druhá pak bytovým domům (Šubrt, 2011).

Tyto dvě technicko-normalizační informace definují, co je pasivní dům. Požadavků je celkem 7, některé jsou ovšem členěny na různé části (Šubrt, 2011):

1. Součinitel prostupu tepla všech jednotlivých konstrukcí na systémové hranici U [$W/(m^2.K)$] musí být minimálně na úrovni doporučených hodnot dle ČSN 73 0540-2, pokud není výjimečně a zdůvodněně jinak.
2. Střední hodnota součinitele prostupu tepla U_{em} [$W/(m^2.K)$] musí být pro rodinné domy menší jak $0,22 W/(m^2.K)$, pro bytové domy pak menší než $0,30 W/(m^2.K)$.
3. Musí být zajištěn přívod čerstvého vzduchu do všech pobytových místností.
4. Neprůvzdušnost obálky budovy musí mít menší hodnotu než $n_{50} \leq 0,6 h^{-1}$, toto musí být doloženo měřením.
5. Nejvyšší teplota vzduchu v pobytové místnosti musí být v letním období nižší než $27 ^\circ C$.
6. Měrná potřeba tepla na vytápění musí být pro rodinné domy nižší než $20 kWh/(m^2.a)$ a pro bytové domy menší než $15 kWh/(m^2.a)$.
7. Potřeba primární energie z neobnovitelných zdrojů na vytápění, přípravu teplé vody a technické systémy budovy musí být nižší než $60 kWh/(m^2.a)$.

4.4 Tepelné mosty

Tepelný most je místo, v němž dochází k vícerozměrnému vedení tepla. Tepelné mosty mohou být způsobeny vedením, prouděním i sáláním. Ve stavební praxi se lze obvykle setkat s tepelnými mosty způsobenými vedením tepla. Ty lze přesněji rozdělit na tepelné mosty v konstrukci a tepelné vazby. Tepelná vazba je typ tepelného mostu vznikající stykem dvou různých konstrukcí. Jedná se např. o okenní ostění, roh budovy, kde je styk dvou stěn apod. Tepelné mosty v konstrukci mohou být nahodilé (např. způsobené nepravidelným promaltováním cihel nebo konzolou na parabolou jdoucí skrz tepelnou izolaci apod.) nebo systematické (např. krokve nebo hmoždinky kotvící tepelnou izolaci).

Všechny tyto detaily je nutné řešit tak, aby splňovaly tyto požadavky:

- po celou dobu životnosti stavby nesmí dojít k porušení konstrukce;
- vnitřní povrch konstrukce musí mít takovou teplotu, aby na ní nerostly plísně; detail musí umožňovat, aby stavba byla plně funkční, tedy musí mít příslušnou nosnost dle umístění,
- musí být vzduchotěsný,
- musí být na stavbě realizovatelný.

Detail se obvykle navrhuje jako řez daným místem, tedy má pouze dva rozměry, ovšem realita je jiná, na stavbě se provádí v trojrozměrném prostoru. Pokud se navrhuje jakýkoliv detail, je třeba dbát na to, jak se bude na stavbě realizovat a jak bude probíhat tepelný tok nejen v kresleném místě, ale i tam, kde daný typický řez končí a dochází k trojrozměrnému vedení tepla.

Tepelné mosty prouděním mohou vznikat tam, kde do konstrukce proniká vzduch z exteriéru a šíří tak teplo.

Tepelné mosty sáláním mohou vznikat tam, kde je jako tepelná izolace použita reflexní materiál, avšak ten se dotýká jiné konstrukce, takže zde nedochází k omezení výměny tepla sáláním tak jako v ostatních místech konstrukce (Šubrt, 2011).

4.5 Zdroje tepla

Každý otopný systém sestává následujících prvků:

- zdroje energie, případně jeho přípojky
- zdroje tepla
- vlastní distribuce tepla

V oblasti zdrojů tepla (rekuperační jednotky, kotle, kamna, čerpadla) se u nízkoenergetického či pasivního rodinného domu budeme výkonově pohybovat v rozmezí cca 1-10 kW, podle velikosti. V obecné rovině je pasivní dům stavbou, která se obejde bez konvenčního vytápěcího systému. V našich klimatických poměrech ČR však potřebuje i

pasivní dům minimální doplňkový zdroj tepla na vytápění, který by dorovnal optimalizované tepelné ztráty v nejméně zimním období, maximálně po dobu cca tří/čtyř měsíců v roce. Jinak jsou tepelné ztráty pokryty teplem větracího vzduchu z rekuperace a dohřevem, solárními zisky, vnitřními zisky z metabolického tepla a instalovaných zařízení a vybavení. Průměrné vnitřní tepelné zisky lze sumarizovat hodnotou 2,5 W/m² u staveb pro bydlení (Smola, 2011).

Zdroje tepla se v budovách používají k vytápění, přípravě teplé vody, ohřevu větracího vzduchu, případně pro další navazující technologie. Při návrhu se doporučuje využít takových zdrojů tepla, které potřebu primární energie minimalizují, tj. obnovitelných zdrojů tepla (solární tepelné soustavy, tepelná čerpadla, kotle na spalování biopaliv), případně primární paliva maximálně využívají, např. plynové kondenzační kotle (Tywoniak, 2012).

4.5.1 Elektrické kotle a ohřivače

Elektrická energie je dnes pro budovy dostupná v podstatě všude a jako zdroj tepla je využitelná v podobě levných zařízení (elektrické vložky, tenké odporové kabely či topné fólie, sálavé panely, elektrické kotle, zásobníkové ohřivače, přímotopná otopná tělesa) s vysokou účinností přeměny elektrické energie na teplo (98 až 100 %). S ohledem na nepříznivou bilanci potřeby primární energie na její výrobu v elektrárnách a s ní svázané emise znečišťujících látek je použití elektrické energie z rozvodné sítě jako hlavního zdroje tepla pro vytápění a přípravu teplé vody v budovách nevhodné. Lze ji uvažovat pouze pro záložní či doplňková tepelná zařízení pro snížení potřeby vysokého a investičně náročného instalovaného výkonu obnovitelného zdroje tepla (Tywoniak, 2012).

Použití elektrické energie pro vytápění budov není z ekologických důvodů schvalováno. Na druhou stranu jak uvádí (Smola, 2011) „V obecné rovině není nemravné používat elektrickou energii k vytápění, pokud provedeme taková opatření, abychom jí spotřebovali co nejméně.“

4.5.2 Interiérová lokální topidla

Krbová kamna a uzavřené krbové vložky doplňují interiér i o sálavou složku tepla - hořící oheň. Umožňují prostřednictvím výměníku rovněž ohřev teplé vody. Jejich obsluha je však manuální, což podstatně snižuje uživatelský komfort. Kusové dříví je aktuálně nejlevnější zdroj energie (Smola, 2011).

Tywoniak (2012) píše, že interiérová lokální topidla v podobě krbů, krbových vložek, krbových kamen či kachlových akumulčních kamen jsou velmi oblíbená jako doplňkový zdroj tepla zvláště v rodinných domech. Pro nízkou účinnost a významné potřeby spalovacího vzduchu nejsou do trvale obývaných domů vhodné otevřené krby a jednoduché krbové vložky. Z interiérových topidel jsou využitelná zejména krbová kamna vybavená integrovaným teplovodním výměníkem, odvádějícím významnou část tepelného výkonu z kamen do otopné vody (zásobníku tepla). Důležitou otázkou je řešení přívodu spalovacího vzduchu k interiérovému topidlu. V budově s vysokou těsností může být problém zajistit trvale požadovaný průtok vzduchu. Nejvhodnějším řešením je proto samostatný přívod vzduchu z venkovního prostředí zvláštním potrubím napojeným přímo do krbových kamen. Vedení potrubí pro přívod venkovního vzduchu konstrukcemi (např. podlahou) musí zohlednit teplotu přiváděného spalovacího vzduchu v zimním období a zabránit kondenzaci. Takto uzavřené spalovací prostory, oddělené od vnitřního prostředí, umožňují hoření nezávislé na tlakových poměrech v obytném prostoru.

Lokální zdroj tepla se sdílením významné části tepelného výkonu do vnitřního prostoru domu může způsobovat jeho přehřívání. V takovém případě se doporučuje zajistit účinnou redistribuci tepla do celého domu, nebo volit materiály konstrukcí ve vnitřním prostoru s dostatečnou schopností akumulace tepla (Tywoniak, 2012).

Při tomto způsobu získávání tepla je třeba počítat s komínem. Komín může vést buď vnitřkem, nebo mimo izolovaný plášť budovy. V obou případech však musí být vůči vnitřnímu prostoru vzduchotěsně uzavřen. Kamna na dřevo potřebují komín, který může vést buďto uvnitř budovy nebo mimo izolovaný plášť budovy. Komín musí být vůči

budově vzduchotěsně uzavřen. Nejčastější řešení komínu je z tvárnic s vložkami, nebo dnes často používané řešení formou ocelového komínu. Ocelový komín je dvouplášťový s izolací z minerální vlny. Jako materiál se obvykle používá nerezový plech. Ve spodní části komínu musí být osazena nádobka na kondenzát (Hudec M. B., 2013).

4.5.3 Solární kolektory

Využití solární techniky k ohřevu teplé vody výrazně sníží celkovou energetickou potřebu objektu. Solární kolektor je zařízení, které přeměňuje solární sálavou energii na citelné teplo, které pomocí teplotnosné kapaliny přenáší k výměníku pro další využití (akumulaci, ohřev jiných médií). Zařízení se nejčastěji využívá k ohřevu teplé vody a podpoře vytápění.

Aktivní solární soustavy se skládají z kolektorů, izolovaného měděného potrubního rozvodu, oběhového čerpadla, expanzní nádoby a pojistného ventilu, uzavíracích, vypouštěcích, měřicích a zpětných armatur, zařízení k odběru tepla (výměníku, teplosměnné plochy v zásobníku), teplotnosné solární kapaliny (u celoročních provozů na bázi glykolů), prvků regulace. Solární kolektory se vyrábějí ve více provedeních se snahou o co nejnižší emisivitu (ztrátu tepla vyzařováním do okolí) a nejvyšší absorpci.

Z hlediska tvaru rozlišujeme kolektory ploché a trubicové. Ploché kapalinové kolektory zachycují sluneční energii skleněnou plochou (solárním sklem) a přeměňují ji na tepelnou. Ta je pohlcována absorberem (měděným, hliníkovým) s černým povrchem a předávána teplotnosné kapalině proudící integrovaným potrubím. Kvalitní kolektory mají absorber opatřený selektivní vrstvou (např. sol-titanový povlak). Ploché kapalinové kolektory jsou nejrozšířenějšími typy vzhledem k nejnižším pořizovacím nákladům. U klasických plochých kapalinových kolektorů je mezi absorberem s měděným trubkovým registrem a dnem vany tepelněizolační výplň. U plochých vakuových kolektorů je místo výplně použito vakua, čímž se podstatně sníží jeho tepelné ztráty a zvýší účinnost v zimních měsících. Vakuové trubicové kolektory mají protékaný absorber se selektivní vrstvou umístěný ve vakuovaných trubicích ze solárního skla. Mají vysokou účinnost a tyto typy lze používat i pro svislé polohy (fasády). Vakuované kolektory pracují na principu fázové

přeměny kapalina - plyn. Zvyšují zisky především v zimních měsících (na stejnou půdorysnou kolektorovou plochu přináší v lednu a prosinci 3 - 4krát více tepla) (Počinková, 2008).

Pokud solární termická zařízení spolu s ohřevem teplé užitkové vody mají přispívat i k podpoře vytápění, je zapotřebí větší plocha slunečních kolektorů. Na rozdíl od zásobování teplou vodou, má zajištění větší části tepla sluneční energií smysl jen tehdy, pokud se provádí v optimálně zateplených budovách. Zatímco je spotřeba teplé užitkové vody v průběhu roku poměrně stálá, potřeba tepla pro vytápění se soustřeďuje do zimních měsíců. V zimě je však zisk tepla ze solárních kolektorů malý, proto se většinou projektují solární termické systémy jako podpora vytápění, neboť v průběhu přechodných období od března do října mohou pokrýt pouze část spotřeby tepla. V zimě pokrývají v podstatě celou spotřebu tepla běžná otopná zařízení (Quaschnig, 2010).

4.5.4 Tepelná čerpadla

Tepelná čerpadla jsou zařízení, která umožňují odebírat teplo o relativně nízkém potenciálu okolnímu prostředí (půda, voda, vzduch, odpadní teplo atp.), převádět ho na vyšší teplotní hladinu a předávat ho cíleně pro potřeby vytápění nebo přípravy teplé vody. Jako obnovitelná energie je chápána pouze ta část vyrobené energie, která odpovídá využití energii okolního prostředí (Petráš, 2008).

Energie prostředí se vyskytuje všude kolem nás. Vzniká v důsledku dopadající sluneční energie. Energie geotermální (zemského jádra) vzniká v důsledku rozpadu prvků uvnitř Země. Přímému využití těchto zdrojů brání nízké teploty, energii nazýváme nízkopotenciální. Je obnovitelným ekologickým a prakticky nevyčerpatelným zdrojem.

Nízkopotenciální teplo převádí na teplo vhodné pro vytápění, přehřev či ohřev teplé vody nebo větrání tepelné čerpadlo. Teplo odebírá zemi, vzduchu podzemní či povrchové vodě a převádí je na vyšší využitelnou teplotní hladinu. Pracuje jako chladicí zařízení, jehož hnacím prvkem je kompresor poháněný elektromotorem, pracující za pomoci dodané (elektrické) energie. Pracovní látkou je chladivo, které v zařízení trvale obíhá a cyklicky

mění své skupenství. Přivede-li se k výparníku venkovní vzduch nebo voda (zdroj s nízkopotenciálním teplem), je tomuto zdroji odejmuto potřebné výparné teplo a chladivo přejde do plynného stavu. Zdroj tepla se o několik stupňů ochladí. Kompresor nasaje pracovní médium a stlačí jej. Se zvýšením tlaku dojde ke zvýšení jeho teploty, je tedy „přečerpáno“ na vyšší teplotní úroveň. K tomu je zapotřebí hnací elektrické energie. Tato energie zvyšuje tepelný potenciál pracovního média. Své celkové teplo odevzdá chladivo ve druhém výměníku - kondenzátoru - do prostředí s vyšší teplotou (topné vody, vzduchu). Tím dojde ke zkapalnění média. V expanzním ventilu se seškrtní tlak na původní a oběh se opakuje (Počinková, 2008).

Poměr topného výkonu a elektrického příkonu je tzv. topný faktor tepelného čerpadla. Topný faktor příznivě ovlivňuje:

- Co nejvyšší teplota nízkoteplotního zdroje, ze kterého je teplo odebíráno. Z toho hlediska je nejvýhodnějším primárním zdrojem podzemní voda (příp. geotermální prameny).
- Co nejnižší teplota teponosné látky (topné vody nebo vzduchu) v soustavě. Vhodné je tedy podlahové vytápění nebo nízkoteplotní velkoplošné těleso. Vhodnější než otopná tělesa je pro tepelné čerpadlo použití podlahového nebo stěnového vytápění, kde se standardně používají podstatně nižší teploty topné vody (většinou 35 - 45 °C). Tepelné čerpadlo vyrábí topnou vodu s teplotou zpravidla max. 55 °C.

U tepelných čerpadel systému vzduch - voda je zdrojem nízkopotenciálního tepla okolní vzduch. Je to nejsnáze přístupný a neomezený zdroj. Jeho nevýhodou je, že v době největší potřeby tepla má nejnižší teplotu a tepelné čerpadlo má tedy nejnižší topný faktor. Dnešní typy využívají spirálové kompresory a ekologicky nezávadná nízkoteplotní chladiva. Tepelná čerpadla se spirálovými kompresory lze používat až k teplotám venkovního vzduchu -15 až -20 °C. Tepelná čerpadla vzduch voda mohou být v provedení venkovním nebo vnitřním.

Tepelná čerpadla typu země – voda využívají teplo obsažené v půdě, tzv. geotermální. Teplo se odebírá soustavou trubek (polyetylenových nebo měděných) umístěných pod povrchem země a zvaných zemní kolektor. Tento kolektor se provádí jako horizontální nebo vertikální. Volba způsobu odběru závisí na místních podmínkách. Vlastní tepelné čerpadlo umístíme uvnitř objektu v místnosti, kde nehrozí nebezpečí zamrznutí.

Zemní kolektory horizontální - zdrojem tepla je půda do hloubky 2 m. Pro využívání tepla země v této hloubce je rozhodující teplo naakumulované od přímého slunečního záření, přestupem tepla ze vzduchu a teplo pocházející ze srážek. Teplo převáděné z hlubších vrstev nahoru činí 0,05 - 0,12 W.m² a tvoří jen zanedbatelnou část. Množství využitelného tepla, a tím i velikost potřebné plochy pro kolektor, je silně závislé na termofyzikálních vlastnostech půdy a klimatických podmínkách. Akumulační schopnost a tepelná vodivost jsou tím větší, čím je v půdě více vody a minerálů a méně vzduchových pórů.

Pro vertikální zemní sondy se provádí vrty. Vrty kladou minimální požadavky na prostor a jsou proveditelné v podstatě v jakémkoli místě s vhodným podložím. Jsou však finančně náročnějším řešením (Počinková, 2008).

4.6 Řízené větrání

Pasivní dům vyžaduje řízené větrání spojené s rekuperací tepla. Teplý odváděný vzduch předá v protiproudém výměníku teplo chladnému přiváděnému vzduchu (aniž dojde k jejich smíchání). Využít tak lze až 80-95 % tepla odpadního vzduchu. Větrání včetně rekuperace zajišťuje kompaktní vzduchotechnická jednotka (Hudec, 2008).

Do stavby je nasáván čerstvý vzduch z vnějšího prostředí, který je po průchodu rekuperační jednotkou cíleně rozváděn do jednotlivých místností. Zkažený odpadní vzduch je odváděn přes rekuperační jednotku do exteriéru. Hlavním posláním rekuperační vzduchové jednotky je obnova (vlhkost, zamezení plísním, škodliviny - zejména CO₂ a

zápach) a úprava (filtrace, tepelná úprava a vlhčení) vzduchu v místnosti, včetně rekuperace tepla.

Rekuperace je předání tepelného potenciálu odpadního vzduchu přichozímu čerstvému vzduchu do systému řízeného větrání většinou prostřednictvím protiproudého výměníku. V zimě dochází k přehřátí, v létě k dílčímu ochlazení.

Množství minimální výměny vzduchu za hodinu se liší podle funkčního využití místnosti ve stavbách bytových a jiného určení. Pro orientaci v obytných místnostech a velkých kuchyních 0,5, v kancelářích a malých kuchyních 1,0, WC a koupelny 1,5. V jednacích a školících místnostech se musí vyměnit vzduch 2x za hodinu (Smola, 2011).

4.7 Otopné soustavy

Pro vytápění se doporučuje navrhovat vodní otopné soustavy jako nízkoteplotní s návrhovou teplotou otopné vody pod 40 °C. Takové řešení umožňuje efektivně využívat obnovitelné zdroje tepla pro vytápění a zároveň dosáhnout vysokého stupně tepelné pohody ve vnitřním prostředí. Nízkoteplotní otopné soustavy je vhodné realizovat jako teplovodní s otopnými tělesy nebo velkoplošné se stěnovými, stropními a podlahovými otopnými plochami, které umožňují udržovat nižší teplotu vzduchu v místnosti oproti konvekčním soustavám při zachování stejné tepelné pohody. Omezeně lze nízkoteplotní vytápění realizovat jako teplovzdušné. Pro zajištění teploty přiváděného vzduchu okolo 30 až 35 °C jsou nezbytné adekvátně vyšší teploty otopné vody (45 až 50 °C). Pro snížení potřebné teploty otopné vody je možné zvětšit teplosměnnou plochu výměníku teplovzdušné vzduchotechnické jednotky.

Otopná soustava by měla pružně reagovat na změnu potřebného výkonu vlivem proměnlivých vnějších klimatických podmínek (venkovní teplota, sluneční záření) a vnitřních provozních podmínek (zisky od spotřebičů a osvětlení, příchod osob do místnosti aj.). Otopné soustavy proto musí vykazovat nízkou tepelnou setrvačnost danou především malým objemem otopné vody a tepelným oddělením otopných ploch od hmotných stavebních konstrukcí domu pro snížení tepelné setrvačnosti a zvýšení rychlosti odezvy na

změnu vnějších klimatických či vnitřních teplotních podmínek. Jako vhodné soustavy lze uvést různé způsoby stěnového vytápění v podobě trubek či kapilárních rohoží uložených v omítkové vrstvě s podloženou tepelnou izolací, případně vybavených prvky rozvádějícími teplo (Tywoniak, 2012).

Teplo na vytápění a teplá voda se obvykle získávají a uskladňují ve společné akumulární nádrži v integrovaném zásobníku tepla (IZT). Takto koncipovaná energetická soustava je jednodušší a nevyžaduje dva samostatné zásobníky. Zdrojem tepla může být plynový nebo elektrický, kotel na biomasu, krbová kamna, tepelné čerpadlo nebo kompaktní agregát. Kotel zajišťuje přípravu teplé vody a podporu vytápění - na IZT je napojen dohřívacím okruhem. Topný okruh dodává teplo do otopných těles nacházejících se v místnostech (nizkoteplotní radiátory, konvektory, stěnové nebo podlahové vytápění). Na topný okruh může být napojeno i otopné těleso v koupelně (radiátor nebo žebřík).

Topný okruh dodává teplo i do registru dohřevu vzduchu nainstalovaného do rekuperačního výměníku tepla systému řízeného větrání. K průtokovému ohřevu teplé vody slouží vložka (spirála) zabudovaná v horní části IZT. Záložním zdrojem tepla v IZT jsou elektrické vložky obvykle osazené ve střední části nádrže (k rychlému ohřevu vody v letním období) a v dolní části nádrže (k akumulárnímu ohřevu vody v topném období). Do soustavy lze zakomponovat i solární zařízení (Nagy, 2009).

Pokud bude využita větrací soustava také pro výlučnou nebo převážnou distribuci tepla pro pokrytí tepelných ztrát (teplovzdušné vytápění), je nezbytné dodržet požadavky na maximální teplotu a rychlost přiváděného vzduchu. Z takových požadavků byla odvozena základní definice pasivního domu. Velká intenzita větrání by navíc mohla v zimních podmínkách vést k nepříjemně nízké relativní vlhkosti vzduchu (Tywoniak, 2012).

4.7.1 Sálavé vytápění teplovodní a elektrické

Sálavému vytápění se říká také velkoplošné. Charakteristickým znakem je, že od velké plochy (stěny, podlahy, stropu) se ohřeje vzduch v místnosti. Sálavé teplo je pro člověka příjemné.

Vzhledem k mnoha svým výhodám se v RD stále více uplatňuje sálavé vytápění podlahové. Největší výhodou je nejlepší rozložení teplot ze všech způsobů předávání tepla. Dalšími důležitými výhodami jsou nižší teplota topné vody, snadná regulace, vytápění místnosti na nižší teplotu než u radiátorového vytápění. Stěnové i podlahové vytápění se provádí elektrickými rohožemi nebo teplovodní s trubkami.

Teplovodní podlahové vytápění se používá častěji než elektrické. Ohřátá voda se vede do rozvaděče tepla a odtud do jednotlivých místností. V každé místnosti je na podlaze s tepelnou izolací položeno plastové, nebo měděné potrubí, které se zabetonuje. Výška betonu je různá podle toho, zda chceme instalovat vytápění akumulární, poloakumulární, nebo přímotopné. Na výšce vrstvy betonu závisí, za jak dlouho od zatopení bude podlaha hřát.

Elektrické sálavé vytápění se dnes také běžně instaluje. Do podlahy se umístí elektrická topná rohož, topná fólie, nebo topný kabel. Tato topná tělesa se mohou zabetonovat nebo zakrýt dřevěnými montážními panely. Elektrické podlahové vytápění musí být vybaveno vlastním samostatným elektrickým okruhem s jističem. Topná rohož je zapojena na elektrické napětí (Dufka, 2007).

4.8 Příprava teplé vody

Zařízení tepelné soustavy pro přípravu teplé vody musí zajistit teplou vodu v požadovaném množství o požadované teplotě a hygienické kvalitě s minimálními tepelnými ztrátami. Teplota teplé vody na výtocích by se v běžném provozu měla pohybovat v rozmezí mezi 45 a 60 °C, v odběrové špičce je možné krátkodobé snížení (Tywoniak, 2012).

U pasivních domů se používá sdružený ohřev teplé vody a topení. Kotle, kamna, tepelná čerpadla, solární panely prostřednictvím vodního okruhu akumulují teplou vodu v zásobníkovém ohřivači, který saturuje potřebu teplé vody, zásobuje topný okruh podlahového topení, topné žebříky a výměník rekuperační vzduchové jednotky (Smola, 2011).

Solární technika se jako samostatný zdroj tepla pro pokrytí tepelných ztát nepoužívá. V době nejvyšších potřeb tepla má, nejnižší solární zisky. Zčásti nebo úplně mohou zisky solárních kolektorů pokrýt potřebu tepla v přechodném období. Proto nazýváme využití solárních systémů pouze podporou vytápění. Se snižující se potřebou tepla pro vytápění klesá potřeba počtu kolektorů, přitápění solárním zdrojem se stává významnějším právě u domů s malou potřebou tepla a nízkoteplotním otopným systémem. Současně s podporou vytápění zajišťuje solární okruh i ohřev teplé vody. Solární podpora vytápění vyžaduje použití akumulační nádrže, která umožní i zapojení druhého zdroje tepla. Ohřev teplé vody může být řešen oddělené - v solárním zásobníkovém ohřivači - a topná voda může být ohřívána v akumulační nádrži se solární topnou vložkou. K úspoře prostor vede spojení v jedno zařízení akumulační nádrž s vestavěným zásobníkem teplé vody nebo spirálou k průtokovému ohřevu (Počinková, 2008).

5 PRAKTICKÁ ČÁST

5.1 Popis konkrétního domu - Lokalita umístění stavby

Jedná se o novostavbu rodinného domu situovanou na rovině. Stavební parcela pro výstavbu rodinného domu se nachází v obci Trutnov, katastrální území Dolní Staré Město. Pozemek stavebníka je nezastavěný a nachází se v území pro bydlení. Pozemek je rovinný s návazností na místní komunikaci (Možíš, 2012).

Z hlediska dostupných energetických sítí se v dané lokalitě nachází pouze elektřina. Zemní plyn není dostupný.

5.1.1 Urbanistické a architektonické řešení stavby

Rodinný dům je řešený jako samostatné stojící objekt. Svým dispozičním řešením uspokojí nároky na bydlení 4 členné rodiny. Dům je jednopodlažní s obytným podkrovím a s garáží umístěnou na boční straně objektu, nepodsklepený. Půdorysný tvar domu je obdélníkový. Objekt je zastřešený pultovou střechou. Garáž je situovaná na boční straně domu v hmotné menší části, která je zastřešená samostatnou pultovou střechou.

Účelem a záměrem stavebníka je vybudovat na vlastním pozemku nový standardní obytný rodinný dům včetně vedlejších stavebních objektů jako jsou oplocení, zpevněné plochy a komunikace, přípojky inženýrských sítí apod. Funkce stavby je čistě obytná bez komerčního či výrobního využití. Objekt není řešen pro přístup a užívání objektu osobami s omezenou schopností pohybu a orientace. Vstup do domu je situovaný z ve směru od komunikace. Za vstupními dveřmi se nachází zádveří. Ze zádveří je přístupné sociální zařízení, technická místnost, šatna, schodiště, obývací pokoj a kuchyň. Z obývacího pokoje je přístup na terasu. Na boční straně domu je situovaná garáž (viz obrázek 4.1 Půdorys 1. NP). Po schodišti je přístup do 2. NP. V podkroví jsou umístěny pokoje, chodba a koupelna s WC (viz obrázek 4.2 Půdorys 2. NP) (Možíš, 2012).

Architektonické řešení domu je podřízeno dosažení co nejmenších tepelných ztrát. Dům je koncipován jako dvoupodlažní, přičemž druhé podlaží tvoří obytné podkroví. Tvarově se shoduje s kompaktním kvádrem, bez jakýchkoli vystupujících prvků. Taková konstrukce odpovídá požadavkům na energeticky úspornou výstavbu, neboť zajišťuje příznivý poměr obestavěného (vytápěného) prostoru a ochlazované vnější plochy.

Orientace objektu ke světovým stranám s ohledem na okolní zástavbu a přístupovou cestu není zcela v souladu s požadavky na nízkoenergetickou stavbu. Objekt je svou delší (jihozápadní) stranou odkloněn od ideálního jihu o 63°. Tento nedostatek je kompenzován bohatým prosklením na jihovýchodní a především jihozápadní fasádě a naopak pouze jedním menším oknem na obvodové zdi severovýchodní. Díky tomuto řešení bylo dosaženo energetické bilance splňující požadavky na pasivní domy (viz tabulka 5.9 Energetické hodnocení objektu).

5.1.2 Popis navrženého konstrukčního systému stavby

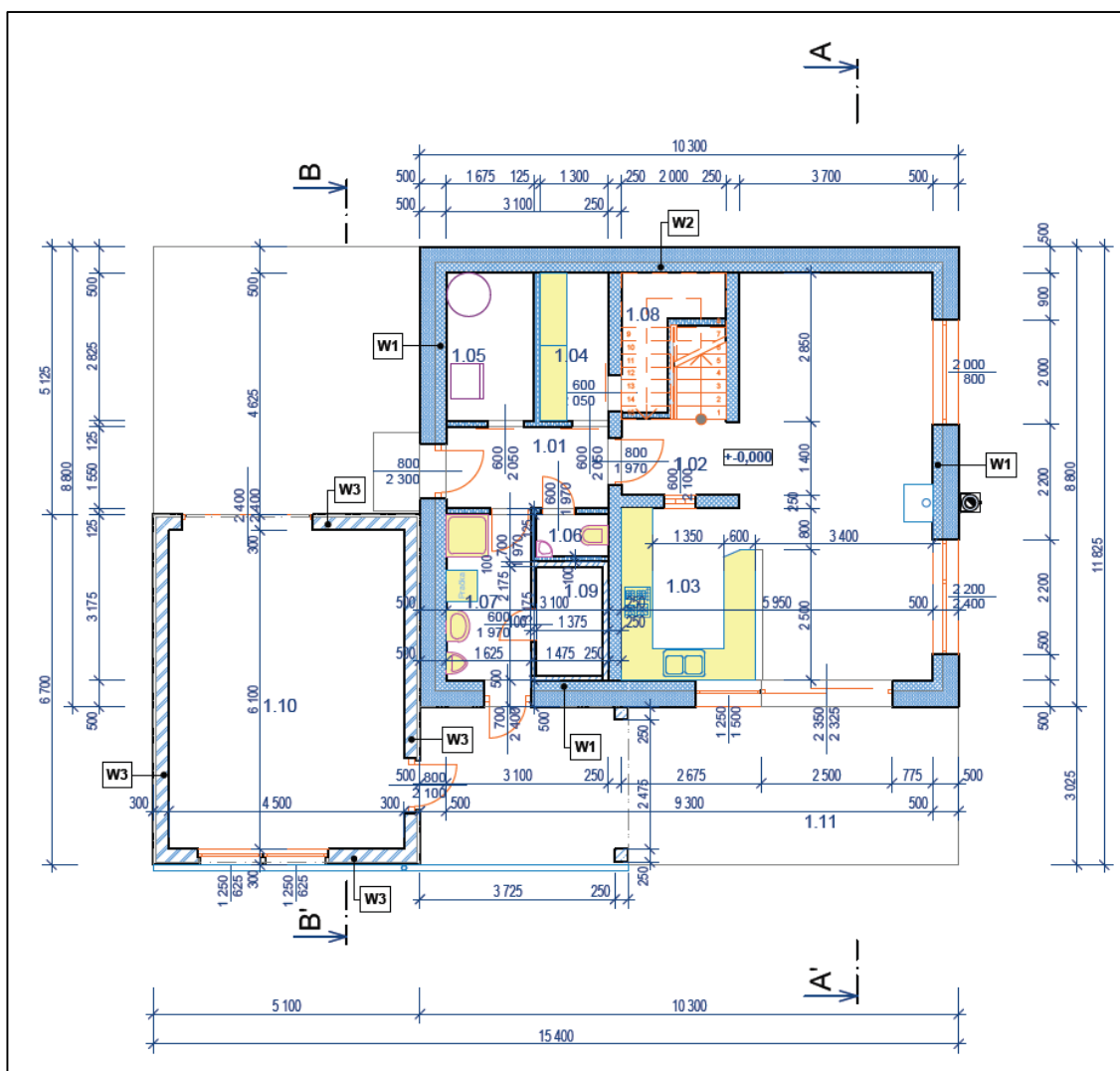
Z hlediska konstrukčního je dům navržen jako příčný trojtrakt o jednom nadzemním podlaží s podkrovím, zastřešený bude pultovou střechou. Střecha bude železobetonová monolitická, jako střešní krytina bude použita m-PVC folie. K objektu přiléhá garáž. Dům bude založen na základových pásech. Dům je navržen ve zděném konstrukčním systému se zateplením. Nosné zdivo garáže i nadzemních podlaží obytné části bude z vápenopískových tvárnic SILKA S20-2000 tl. 200 mm. Dělicí příčky jsou z pórobetonových přesných příčkovek YTONG P2-500 tl. 100 mm. Vnější izolace obvodového zdiva bude provedena kontaktním zateplením deskami ISOVER GreyWall tl. 300 mm až pod úroveň základové desky. Izolace střechy v místech obytného podkroví bude realizována deskami ISOVER UNI tl. 400 mm. Stropy budou železobetonové tl. 200 mm. Schodiště bude monolitické. Všechna okna, dveře na terasu i vstupní dveře budou plastové v šedé barvě. Okna jsou navržena z osmikomorových plastových profilů a izolačních trojskel s plastovými distančními rámečky. Okna budou osazena do vnější izolace objektu.

Tabulka 5.1 Označení místností 1. NP

Č.	Název místnosti	Plocha (m2)
1.01	ZÁDVEŘÍ	5,31
1.02	OBÝVACÍ POKOJ	32,98
1.03	KUCHYŇĚ	8,41
1.04	ŠATNA	3,67
1.05	TECH. MÍSTNOST	4,73
1.06	WC	1,10
1.07	SPRCHA	5,16
1.08	KOMORA	3,33
1.09	SAUNA	2,65
1.10	GARÁŽ	27,95
1.11	TERASA	31,16
CELKEM PLOCHA		126,45 m2

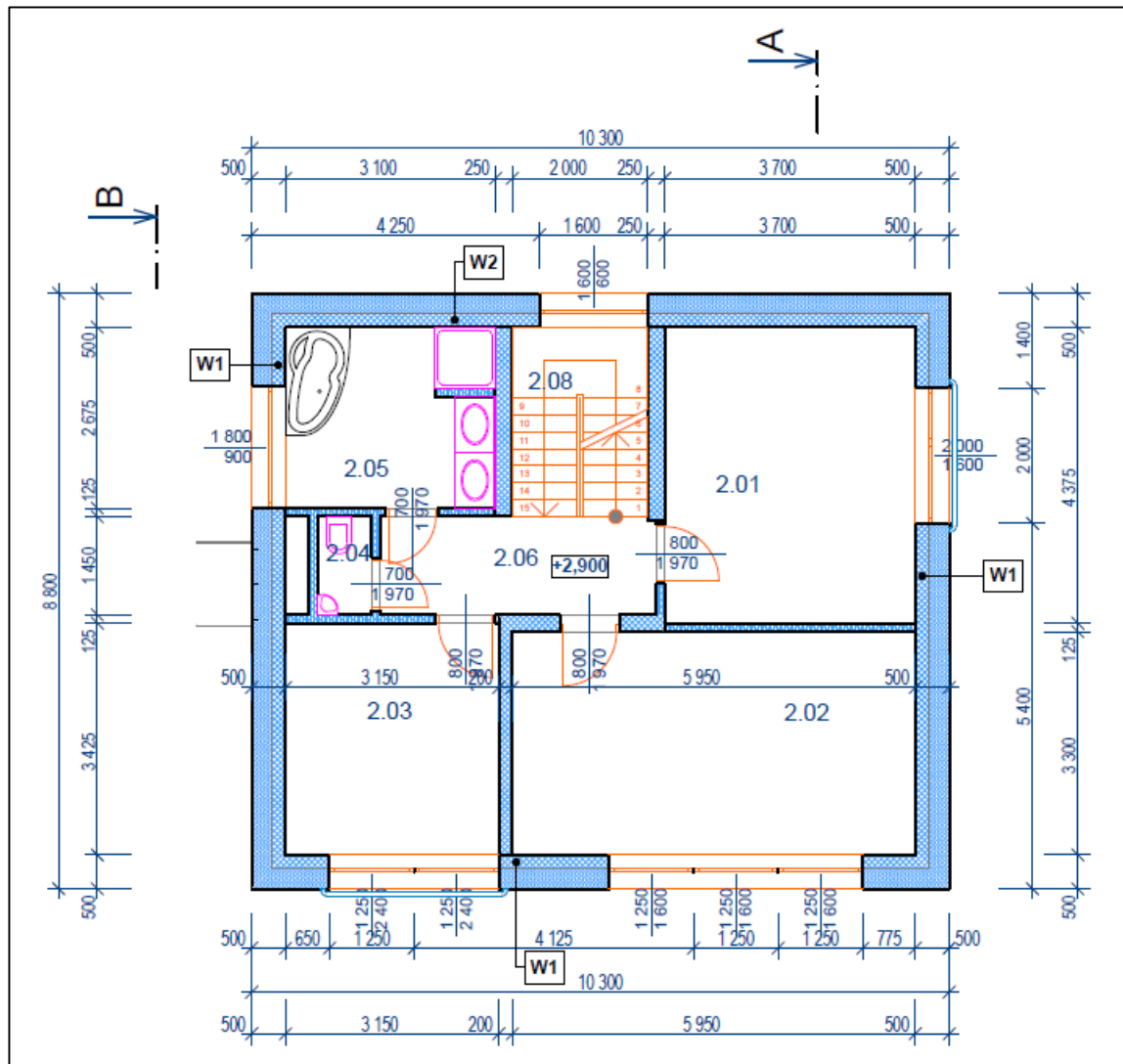
Zdroj: (Možiš, 2012)

Obrázek 5.1 Půdorys 1. NP



Zdroj: (Možiš, 2012)

Obrázek 5.2 Půdorys 2. NP



Zdroj: (Možiš, 2012)

Tabulka 5.2 Označení místností 2.NP

Č.	Název místnosti	Plocha (m ²)
2.01	LOŽNICE	16,19
2.02	POKOJ	19,63
2.03	POKOJ	10,79
2.04	WC	1,16
2.05	KOUPELNA	8,18
2.06	CHODBA	5,90
2.08	SCHODIŠTĚ	5,60
CELKEM PLOCHA		67,45 m ²

Zdroj: (Možiš, 2012)

5.2 Stanovení energetické spotřeby objektu

Spotřeba energie se skládá z energie potřebné pro udržení tepelné pohody v objektu, energie potřebné pro přípravu teplé užitkové vody (TUV) a také energie potřebné pro provoz ostatních domácích spotřebičů. Potřeba tepelné energie objektu musí být stanovena tak, aby bylo dosaženo tepelné pohody v obytných místnostech a to i za nejméně příznivých vnějších povětrnostních podmínek. Tepelný výkon otopné soustavy se obvykle určuje na základě tepelných ztrát budovy.

Stanovení celkové energetické spotřeby stavby bylo provedeno s využitím výše popsaných metod aplikovaných do software PHPP 2007.

5.2.1 Součinitele prostupu tepla stavebních konstrukcí

Konstrukce vnější obálky objektu se skládá z různých vrstev stavebních prvků. Součinitel prostupu tepla U obvodových konstrukcí byl vypočítán pomocí programu PHPP.

Tabulka 5.3 Součinitele U stavebních konstrukcí

Objekt: Rodinný dům		uzavřená vzduch. mezera -> pom. výpočet napravo					
1 Vnější stěna							
Díleč plocha 1	λ [W/(m·K)]	Díleč plocha 2 (nepovinný)	λ [W/(m·K)]	Díleč plocha 3 (nepovinný)	λ [W/(m·K)]		Tloušťka [mm]
1 Vnitřní omítka	0,350						15
2 Vápenopískové zdivo	1,100						200
3 GreyWall	0,033						300
4 Vnější omítka	0,800						20
						Podíl díleč plochy 2	
						Podíl díleč plochy 3	
						Součinitel U:	0,107 W/(m ² ·K)
2 Střecha							
Díleč plocha 2	λ [W/(m·K)]	Díleč plocha 2 (nepovinný)	λ [W/(m·K)]	Díleč plocha 3 (nepovinný)	λ [W/(m·K)]		Tloušťka [mm]
1 Vnitřní omítka	0,990						15
2 Železobeton	1,740						200
3 Bitagit	0,210						4
4 EPS	0,037						400
5 Alkorplan	0,160						2
						Podíl díleč plochy 2	
						Podíl díleč plochy 3	
						Součinitel U:	0,091 W/(m ² ·K)
3 Podlaha							
Konstrukce č.	Popis konstrukce	λ [W/(m·K)]	Díleč plocha 2 (nepovinný)	λ [W/(m·K)]	Díleč plocha 3 (nepovinný)	λ [W/(m·K)]	Tloušťka [mm]
1	Dlažba keramická	1,010					15
2	Potěr	1,050					50
3	Styropor	0,032					250
4	Bitagit	0,210					4
						Podíl díleč plochy 2	
						Podíl díleč plochy 3	
						Součinitel U:	0,124 W/(m ² ·K)

Zdroj: Autorská práce - výstup z programu PHPP 2007, verze 1.1

Tabulka 5.3 ukazuje složení tří typů obvodových stavebních konstrukcí, které jsou u posuzované budovy navrženy. Ke každému použitému stavebnímu materiálu je přiřazen součinitel tepelné vodivosti materiálu a zároveň je uvedena jeho použitá tloušťka. Z těchto hodnot je na základě vztahů (3.1) a (3.2) vypočten součinitel prostupu tepla.

5.2.2 Potřeba tepla na vytápění

U posuzovaného objektu byl proveden výpočet tepelných ztrát. Ve výpočtu je užito vztahů (3.3), (3.4), (3.5), (3.6), (3.7), (3.8), (3.9), (3.10), (3.11), (3.12), (3.13), (3.14) v algoritmu dle obrázku 2.2 Schéma energetické bilance za použití výpočtového programu pro navrhování pasivních domů PHPP 2007. O postupu výpočtu vypovídá tabulka 5.4 Měrná potřeba tepla pro vytápění – měsíční metoda 1. část.

Nejprve jsou vypočteny tepelné ztráty prostupem jednotlivými obvodovými konstrukcemi stavby. Následně je proveden výpočet tepelných ztrát větráním. Uvedená hodnota odpovídá použití řízeného větrání za využití rekuperátoru tepla s vysokou účinností. Výpočet pro tepelné ztráty větráním – zemina není proveden, neboť v objektu není uvažováno se zemním výměníkem tepla, který má za úkol vyrovnávat teplotní rozdíl mezi čerstvým vzduchem a průměrnou roční teplotou zeminy.

Solární tepelné zisky se vypočítávají z prosklených ploch a orientace budovy ke světovým stranám. Výpočet uvažuje se zastíněním od okolních budov, stromů či přírodního terénu. Dalším zdrojem tepla jsou domácí spotřebiče, technické zařízení budovy a také obyvatelé domu.

Tabulka 5.4 Měrná potřeba tepla pro vytápění – měsíční metoda 1. část

Klima: CZ - Liberec	Vnitřní teplota: 20 °C	
Objekt: Rodinný dům	Typ objektu/využití: Objekt pro bydlení	
Místo: Trutnov	Vytápěná podlahová plocha A _{TFA} : 134,8 m ²	
Měrná kapacita: 204 Wh/(m ² K) (Zadání do pracovního listu "Léto")	na m ² vytápěné plochy	

stavěbní konstrukce	Teplotní zóna	Plocha m ²	Souč. U W/(m ² K)	Red.fak. měs.	D _t kWh/a	kWh/a
1. Vnější stěna - vnější vzduch	A	198,2	0,107	1,00	83	1769
2. Vnější stěna - zemina	B			1,00		
3. Střecha/strop - vnější vzduch	A	91,4	0,091	1,00	83	694
4. Podlahová deska	B	90,6	0,124	1,00	45	501
5.	A			1,00		
6.	A			1,00		
7.	X			0,75		
8. Okna	A	39,8	0,697	1,00	83	2313
9. Vnější dveře	A	2,1	0,730	1,00	83	128
10. vnější tep. mosty (délka/m)	A	105,8	-0,008	1,00	83	-72
11. obvodové tep. mosty (délka/m)	P			1,00		
12. tep. mosty - podlaha (délka/m)	B			1,00		

Tepelné ztráty prostupem Q_T Total 5333 kWh/a 39,6 kWh/(m²a)

účinný objem vzduchu V_v A_{TFA} 135 m² světlá výška 2,50 m = 337 m³

účinná výměna vzduchu exteriér n_{L,e} 0,365 1/h * (1 - 0%) = 0,365 1/h

účinná výměna vzduchu zemina n_{L,g} 0,365 1/h * (1 - 0%) = 0,365 1/h

η_{REC} 0,90 η_{zv} 0,020 = 0,057 1/h

η_{zv} 0,000

Tepelné ztráty větráním - exteriér Q_{V,e} V_v 337 m³ n_{L,e} 0,057 1/h C_{air} 0,33 kWh/(m³K) D_t 83 kWh/a = 532 kWh/a 3,9 kWh/(m²a)

Tepelné ztráty větráním - zemina Q_{V,g} V_v 337 m³ n_{L,g} 0,000 1/h C_{air} 0,33 kWh/(m³K) D_t 45 kWh/a = 0 kWh/a 0,0 kWh/(m²a)

Tepelné ztráty větráním Q_V Celkem 532 kWh/a 3,9 kWh/(m²a)

Celkové tepelné ztráty Q_L (Q_T 5333 kWh/a + Q_V 532 kWh/a) * Redukční faktor 1,0 = 5865 kWh/a 43,5 kWh/(m²a)

Solární tepelné zisky Q_S Celkem 2907 kWh/a 21,6 kWh/(m²a)

Orientace plochy	Číselník redukce Viz list "Okna"	Souč. g (kolmé ozáření)	Plocha m ²	žlobální sluneční záření kWh/(m ² a)	kWh/a
1. Sever	0,33	0,60	1,6	80	26
2. Východ	0,16	0,60	1,0	97	9
3. Jih	0,52	0,60	10,1	291	916
4. Západ	0,48	0,60	27,2	229	1791
5. Vodorovný	0,40	0,00	0,0	227	0
6. Součet neprůhledných ploch					165

Vnitřní zdroje tepla Q_I kh/d 0,024 Délka topné sezóny 182 d/a Měrný výkon q_i 2,1 W/m² A_{TFA} 134,8 m² = 1236 kWh/a 9,2 kWh/(m²a)

Tepelné zisky k dispozici Q_F Q_S + Q_I = 4143 kWh/a 30,7 kWh/(m²a)

Poměr zisky ku ztrátám Q_F / Q_L = 0,71

Stupeň využití tepelných zisků η_G = 93%

Tepelné zisky Q_G η_G * Q_F = 3861 kWh/a 28,6 kWh/(m²a)

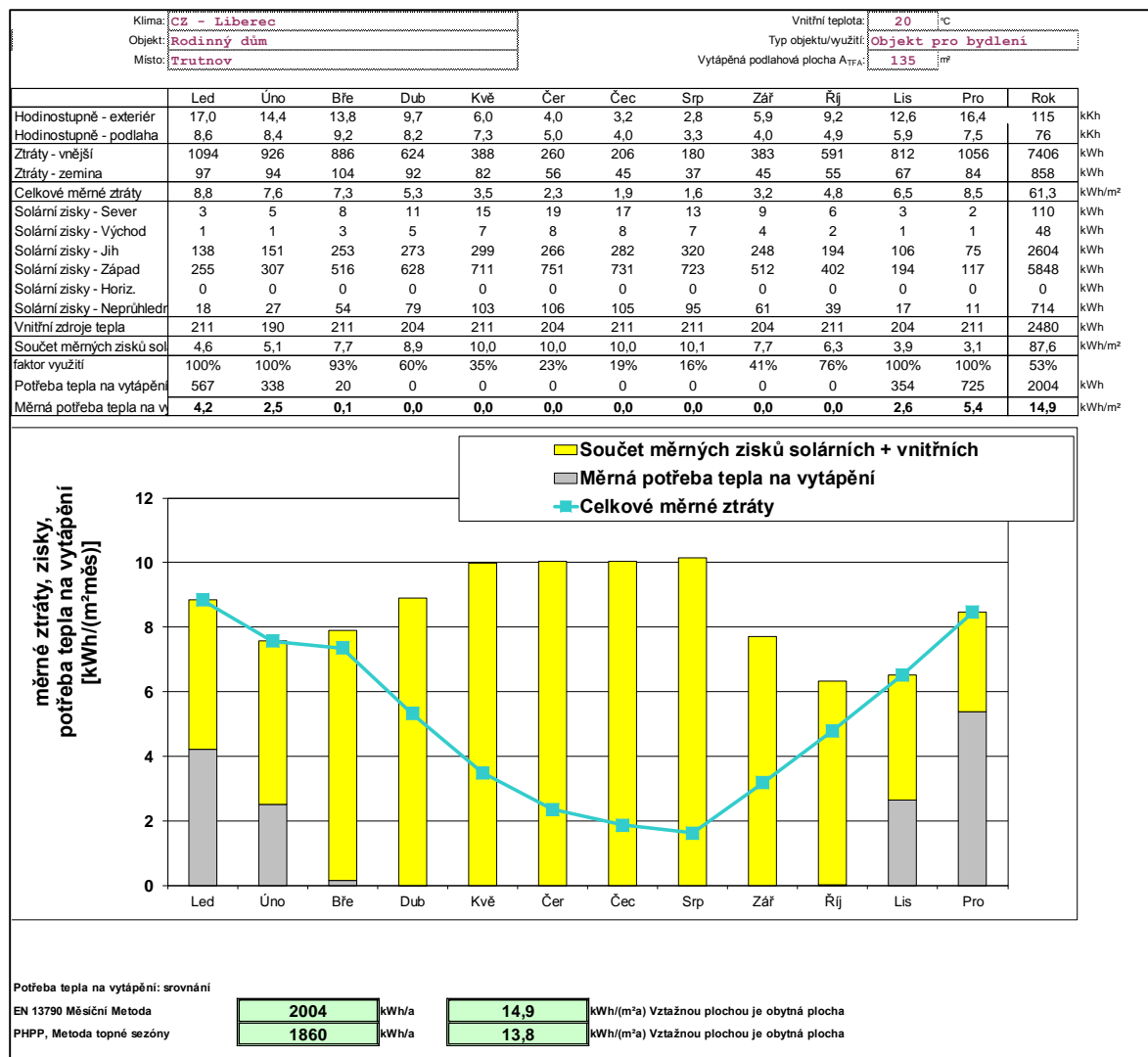
Potřeba tepla na vytápění Q_H Q_L - Q_G = 2004 kWh/a 15 kWh/(m²a)

Mezní hodnota 15 kWh/(m²a) Splněn požadavek? ano

Zdroj: Autorská práce - výstup z programu PHPP 2007, verze 1.1

Tabulka 5.5 Měrná potřeba tepla pro vytápění – měsíční metoda 2. část uvádí potřebu tepla v jednotlivých měsících roku. Tyto údaje jsou využity zejména pro stanovení rozsahu využití krbové vložky ve variantě C otopné soustavy. Z grafického znázornění je zřejmé, že topná sezóna v tomto objektu trvá pouze 4 až 5 měsíců v roce.

Tabulka 5.5 Měrná potřeba tepla pro vytápění – měsíční metoda 2. část



Zdroj: Autorská práce - výstup z programu PHPP 2007, verze 1.1

5.2.3 Potřeba tepla pro přípravu teplé užitkové vody a ostatní energie

Potřeba tepla pro přípravu TUV vychází z výpočtové hodnoty 3,9 osoby, které budou dům obývat. Předpokládaná spotřeba vody o teplotě 60 °C je 40 l na osobu a den. Teplo pro ohřev vody je vypočteno dle vztahu 0. Hodnota stanovená výpočtem je uvedena v tabulce 5.6 Potřeba tepla pro ohřev TUV a bude dále využita pro určení provozních nákladů ve všech variantách otopných soustav.

Tabulka 5.6 Potřeba tepla pro ohřev TUV

Objekt: Rodinný dům		Místo: Trutnov	
Teplá voda: standardní užitkové teplo			
Spotřeba TV na osobu a den (60 °C)	V_{DHW} (Projekt nebo průměr 25 litrů/os/d)	40,0	litrů/os/d
Průměrná teplota studené vody na přívodu	ϑ_{DHW} Teplota pitné vody (10°) (pracovní list Elektřina)	10,0	°C
TV neelektrická potřeba pro pračku a myčku	Q_{DHW}	0	kWh/a
Užitkové teplo - TV	Q_{DHW}	3261	kWh/a
Měrné užitkové teplo - TV	$q_{DHW} = Q_{DHW} / A_{TFA}$		kWh/(m²a) 24,2
Roční tepelná ztráta jednotlivých větví vedení	$Q_U = L_U \cdot q_U \cdot (1 - \eta_{e,U})$	-120,6	kWh/a
		-121	kWh/a
			Celkem 1.2.3
Průměrný výdej tepla zásobníku TV	P_S	88,0	W
Stupeň využití tohoto výdeje tepla	$\eta_{e,S} = t_{top}/8760 \cdot \eta_{e,S}$	38,0%	
Roční tepelná ztráta zásobníku	$Q_S = P_S \cdot 8760 \text{ kh} \cdot (1 - \eta_{e,S})$	477,7	kWh/a
		478	kWh/a
			Celkem 1.2.3
Tepelné ztráty soustavy přípravy TV celkem	$Q_{PDHW} = Q_Z + Q_U + Q_S$		kWh/a
		357	kWh/a
Měrné tepelné ztráty soustavy přípravy TV	$q_{PDHW} = Q_{PDHW} / A_{TFA}$		kWh/(m²a) 2,6
Účinnost rozvodu akumulace TV	$e_{a,DHW} = (q_{DHW} + q_{PDHW}) / q_{DHW}$		110,9%
Celková potřeba tepla na přípravu TV	$Q_{g,DHW} = Q_{PDHW} + Q_{DHW}$		kWh/a
		3618	kWh/a
Celková měrná potřeba tepla na přípravu TV	$q_{g,DHW} = Q_{g,DHW} / A_{TFA}$		kWh/(m²a) 26,8

Zdroj: Autorská práce - výstup z programu PHPP 2007, verze 1.1

Ve variantě A je uvažováno s částečným pokrytím potřeby tepla pomocí solárních panelů. S využitím vztahů (3.16), (3.17), (3.18) je vypočteno množství tepla, o němž je snížena potřeba dodávky z jiných zdrojů viz tabulka 5.7 Pokrytí spotřeby tepla solárním systémem.

Tabulka 5.7 Pokrytí spotřeby tepla solárním systémem

Objekt:	Rodinný dům	Typ objektu/využití:	Objekt pro bydlení
Místo:	Trutnov	Vytápěná podlahová plocha A_{TFA} :	134,8 m ²
Stupeň solárního pokrytí s potřebou tepla pro TV vč. potřeby TV pro pračku a myčku			
TV-potřeba tepla	q_{gDHW}	3618 kWh/a	z listu "TV+rozvody"
Zeměpisná šířka:		50,8 °	z listu "Klimadata"
Výběr kolektoru ze seznamu (viz níže):		6	Výběr: 6 Standardní plochý kolektor
Plocha kolektoru		4,00 m ²	
Odchylka od severu		180 °	
Odchylka od vodorovné roviny		45 °	
Výška kolektorového pole			
Výška horizontu	h_{Hori}		
Vzdálenost horizontu	a_{Hori}		
Činitel redukce zastíněním	r_{other}		
Obsazení osobami		3,9 osob	
Měrná plocha kolektoru		1,0 m ² /os	
Odhadovaný solární příspěvek na krytí přípravy TV		53%	
Solární příspěvek tepla k užitému teple		1921 kWh/a	14 kWh/(m²a)

Zdroj: Autorská práce - výstup z programu PHPP 2007, verze 1.1

Ostatní energie představuje v tomto případě pouze spotřebu elektrické energie potřebné jednak pro provoz technologických zařízení (ventilátory, oběhová čerpadla, elektroventily, regulace apod.). Za druhé počítá s energií využívanou pro provoz běžných domácích spotřebičů (pračka, myčka, vaření, žehlení apod.) obvyklým způsobem.

Tabulka 5.8 Potřeba elektřiny ostatní

Sloupec č.	1	2	3	4	5	6	7	8	8a	9
Aplikace	Použito? (1/0)	Uvnitř tepelné obálky? (1/0)	Normovaná spotřeba	Faktor využití	Četnost	Vztažná veličina	Užitečná energie (kWh/a)	Podíl elektřiny	Podíl neelektrické energie	Potřeba elektřiny (kWh/a)
Domácnosti 1 dom. Osoby 3,9 os. Obýtná plocha 135 m ² Potřeba tepla na vyt. 15 kWh/(m ² a)										
Solární podíl na TV pračka+myčka Mezní účinnost přípravy TV 97% Mezní účinnost vytápění 97%										
Mytí nádobí	1	1	1,10	1,00	65	/(P*a)	3,9 os. = 275	100%	0%	275
Přípojka studené vody										
Praní	1	1	0,95	1,00	57	/(P*a)	3,9 os. = 209	100%	0%	209
Přípojka studené vody										
Sušení pomocí:	1	0	0,00	0,88	57	/(P*a)	3,9 os. = 0	0%	0%	0
sušení na šňůře										
Spotřeba energie odpařováním			0,00	0,60	57	/(P*a)	3,9 os. = 0		100%	
Chlazení	1	1	0,28	1,00	365	d/a	1 dom. = 102	100%		102
Zmrazování	1	0	0,55	0,90	365	d/a	1 dom. = 181	100%		181
nebo kombinace	0	1	0,70	1,00	365	d/a	1 dom. = 0	100%		0
Vaření pomocí	1	1	0,25	1,00	500	/(P*a)	3,9 os. = 481	100%		481
Elektrina										
Osvětlení	1	1	60	1,00	2,90	kh/(P*a)	3,9 os. = 670	100%		670
Elektronika	1	1	80	1,00	0,55	kh/(P*a)	3,9 os. = 169	100%		169
Malé spotřebiče atd.	1	1	50	1,00		/(P*a)	3,9 os. = 193	100%		193
Celkem pomocná elektřina							279			279
ostatní:							0			0
							0			0
							0			0
Celkem							2559 kWh			2559 kWh
Měrná potřeba										19,0 kWh/(m ² a)

Zdroj: Autorská práce - výstup z programu PHPP 2007, verze 1.1

Hodnota spotřeby elektrické energie je užitá ve všech variantách otopných soustav, ke stanovení ročních provozních nákladů za spotřebu energie pro provoz technického zařízení budovy a provoz domácnosti obyvatel domu.

5.2.4 Celkové hodnocení objektu

Závěrečný protokol obsahuje přehled nejdůležitějších výsledků výpočtu energetické bilance budovy, zejména měrnou potřebu tepla na vytápění a měrnou spotřebu primární energie.

Tabulka 5.9 Energetické hodnocení objektu

Objekt:	Rodinný dům		
Místo a klima:	Trutnov	CZ - Liberec	
Rok výstavby:	2012		
Počet bytových jednotek:	1	Vnitřní teplota:	20,0 °C
obestavěný objem V_{u} :	324,0 m ³	Vnitřní zdroje tepla:	2,1 W/m ²
Počet osob:	3,9		
Ppožadavky ve vztahu k vytápěné podlahové ploše			
Vytápěná podlahová plocha:	134,8 m ²	Použito:	Měsíční metoda
Měrná potřeba tepla pro vytápění:	15 kWh/(m²a)	Certifikát:	15 kWh/(m²a)
Výsledek zkoušky neprůvzdušnosti:	0,3 h⁻¹		0,6 h ⁻¹
Měrná potřeba primární energie (TV, vytápění, chlaz., pom. a dom. spotřebiče):	119 kWh/(m²a)		120 kWh/(m ² a)
Měrná potřeba primární energie (TV, vytápění a pomocné a domácí spotřebiče):	73 kWh/(m ² a)		
Měrná potřeba primární energie Úspora elektřiny pomocí solární energie:	kWh/(m ² a)		
Topná zátěž:	W/m ²		
Četnost překročení nejvyšší teploty vzduchu:	59 %	nad	25 °C
Měrná potřeba energie pro chlazení:	kWh/(m ² a)		15 kWh/(m ² a)
Chladicí zátěž:	W/m ²		
			Splněno?
			ano
			ano
			ano

Zdroj: Autorská práce - výstup z programu PHPP 2007, verze 1.1

Z tabulky 5.10 Energetické hodnocení objektu je patrné, že objekt splňuje kritérium tepelných ztrát pro pasivní budovy.

5.3 Východiska hodnocení variantních řešení

Pro navrhovaný objekt je dále uvažováno s 5 variantami otopných soustav:

- A. Cirkulační teplovzdušné vytápění – zdroj elektřina + solární panely
- B. Elektrické podlahové topení – zdroj elektrické topné kabely
- C. Teplovodní podlahové topení – zdroj krbová vložka
- D. Teplovodní podlahové topení – zdroj elektrokotel
- E. Teplovodní podlahové topení – zdroj tepelné čerpadlo

Z těchto variant pouze první zajišťuje kromě tepla také výměnu vzduchu. Jak zde bylo výše konstatováno, je pro splnění kritérií pasivního domu (požadavek investora) nezbytné zajistit při předepsané neprůvzdušnosti domu nucenou výměnu vzduchu. U variant B až E není toto kritérium splněno, proto u těchto variant bude uvažováno s nezávislou vzduchotechnikou včetně rekuperace tepla. Náklady na vzduchotechniku budou přičteny ke každé z uvažovaných variant. Tak bude zajištěno hodnocení srovnatelného celkového efektu na mikroklima v navrhované budově.

5.3.1 Výpočet provozních nákladů

Potřeba energie pro všechny varianty byla vypočtena programem PHPP 2007 na základě výpočtu tepelných ztrát objektu viz tabulka 5.4 Měrná potřeba tepla pro vytápění – měsíční metoda 1. část a tabulka 5.6 Potřeba tepla pro ohřev TUV. Potřeba energie je rozdělena do tří částí. Energie pro vytápění a teplou vodu je energie nutná pro zajištění tepelné pohody v objektu, respektive pro zajištění teplé užitkové vody pro uživatele domu. Energie ostatní zahrnuje provoz obslužných zařízení technického zařízení budovy (ventilátory, oběžná čerpadla) a dále užívání dalšího běžného vybavení domácnosti (pračka, myčka, osvětlení, vaření, elektronika apod.) viz tabulka 5.8 Potřeba elektřiny ostatní. Program PHPP 2007 zároveň započítává teplo vyzářené těmito spotřebiči do tepelných zisků budovy. Vypočtené hodnoty vstupující do ekonomických výpočtů shrnuje následující tabulka 5.10 Potřeba energie objektu.

Tabulka 5.10 Potřeba energie objektu

Teplo pro vytápění	2004 kWh/a
Teplo pro TUV	3618 kWh/a
Elektřina ostatní	2559 kWh/a

Zdroj: Autorská práce

Dodávka elektrické energie z veřejné sítě je počítána v cenách dodavatele ČEZ. Sazby jsou zvoleny dle jejich určení tak, aby odpovídaly zvoleným zdrojům u jednotlivých variant. U sazeb, které jsou definovány dvěma tarify (vysoký a nízký) je ve výpočtu uvažováno s nízkým tarifem pro ohřev vody případně vytápění. Pro spotřebu ostatních spotřebičů je cena 1 kWh vypočtena jako vážený průměr vysokého a nízkého tarifu, kde váhy odpovídají časovému vymezení doby platnosti nízkého a vysokého tarifu.

Ceny elektřiny jsou uvedeny včetně DPH a zahrnují všechny složky dle cenového rozhodnutí a dle zákona o stabilizaci veřejných rozpočtů (daň z elektřiny):

- za dodávku elektřiny ČEZ - ceny produktové řady COMFORT
- za distribuci elektřiny
- za krytí vícenákladů spojených s podporou elektřiny z obnovitelných zdrojů, kombinované výroby elektřiny a tepla a druhotných zdrojů (598,95 Kč/MWh vč. 21 % DPH)
- za systémové služby (127,3767 Kč/MWh vč. 21 % DPH)
- za činnost zúčtování operátora trhu s elektřinou, a. s. (8,3974 Kč/MWh vč. 21 % DPH)
- daň z elektřiny (34,243 Kč/MWh vč. 21 % DPH)

(<http://www.tzb-info.cz/prehled-cen-elektricke-energie>, cit. 2015-01-21)

Ve výpočtu provozních nákladů jednotlivých variant nejsou zahrnuty náklady na údržbu provozovaných zařízení.

5.3.2 Ekonomické hodnocení variantních řešení

Při ekonomickém hodnocení je východiskem předpoklad, že dodávka tepla do objektu musí být zajištěna, ideálně s co nejnižšími investičními náklady. Vzhledem k faktu, že investice do technického zařízení budovy z principu nepřinášejí žádné příjmy, je třeba zvolit referenční variantu a vůči ní porovnávat varianty ostatní. Referenční variantou otopné soustavy je tedy volena varianta s nejnižšími investičními náklady. Referenční varianta vyhovuje předpokladu zajištění dodávky tepla. Referenční variantou byla zvolena varianta elektrického podlahového topení, která má ze všech zvolených variant nejnižší investiční náklady.

Návratnosti hodnocených variant jsou vypočteny podle vztahů (3.20) respektive (3.22) v dynamické verzi. Z hlediska návratnosti jsou další varianty porovnávány s referenční variantou. Investiční náklady na každou další variantu jsou kalkulovány jako rozdíl hodnocené varianty a varianty referenční. Stejná úvaha je aplikována na výpočet provozních nákladů. To znamená, že úspora provozních nákladů hodnocené varianty vůči referenční variantě je postavena jako příjem, kterým se během provozu zařízení pokrývají zvýšené investice do hodnocené varianty. Popsaný princip je užit jak ve statické tak i dynamické verzi výpočtu doby návratnosti (splatnosti).

Pro výpočet čisté současné hodnoty dle vztahu (3.23) je naopak použita plná výše investice do každé hodnocené varianty. Čistá současná hodnota je vypočítána na období 20 let, což je minimální předpokládaná životnost zařízení. Z charakteru hodnocených variant projektu je zřejmé, že negenerují žádné příjmy. Čistá současná hodnota tedy vychází záporně. Pro hodnocení je považována za nejlepší varianta s nejvyšší vypočtenou hodnotou.

Pro účely dynamických výpočtů dle vztahů (3.22) a (3.23) byla získána bezriziková úroková sazba následovně:

Inflační cíl ČNB + průměrný výnos desetiletého státního dluhopisu (maastrichtské kritérium) za posledních 10 let získaný z databáze časových řad ARAD, které sestavuje Česká národní banka.

Diskontní faktor / odúročitel: $2\% + 3,27\% = 5,27\%$

Zdroj: (http://www.cnb.cz/cnb/STAT.ARADY_PKG.PARAMETRY_SESTAVY?p_sestuid=375&p_strid=AEBA&p_tab=1&p_lang=CS, cit. 2015-02-14)

Investice do otopné soustavy je dlouhodobá (řádově desítky let) predikovat změnu ceny elektrické energie a topného dřeva je v takto dlouhém horizontu prakticky nemožné. Z tohoto důvodu je předpokládáno zvýšení cen pouze ve výši inflace – dlouhodobě dle inflačního cíle ČNB, který činí 2 %.

5.4 Návrh variant otopné soustavy

5.4.1 Řízené větrání s rekuperací tepla

Jedná se o vzduchotechnický systém, zajišťující řízené rovnotlaké větrání a výměnu vzduchu s rekuperací odpadního tepla v objektu. Vzduchotechnická jednotka s rekuperací tepla je osazena do technické místnosti, přívod čistého a odvod použitého vzduchu jsou řešeny prostupy přes vnější stěnu objektu. Vzduchotechnická jednotka pracuje s účinností 91%. Díky ventilátorům s EC motory jednotka zajišťuje konstantní dodávku vzduchu bez ohledu na znečištění filtrů. Chod jednotky je plně automatický.

V uvažovaném objektu jsou navrženy rozvody vzduchu pomocí flexibilního plastového potrubí ED FLEX. Vedení bude provedeno v podlaze 2. NP a ve skladbě pultové střechy. Pro přívod a odvod vzduchu se hlavní potrubí napojí na některý typ rozdělovacího boxu. Z jednotlivých boxů se vede potrubí do jednotlivých místností paprskovitě bez použití dalších tvarovek či potrubních prvků.

Přívody čerstvého vzduchu jsou umístěny v jednotlivých obytných místnostech a odvody špinavého vzduchu jsou v místnostech, kde vzniká nejvíc pachů (WC, koupelna, kuchyň). Vzduch pak z místnosti proudí mezerou pod dveřmi, které musí být bez prahů.

Tabulka 5.11 Řízené větrání s rekuperací tepla – investiční náklady

zařízení (specifikace)	množství	jednotka	cena jed- notková	cena celkem
ZDROJ				
Jednotka - Paul Focus 200	1,00	ks	52 950,00	52 950,00 Kč
Vzduchové rozvody, montážní materiál	1,00	kpl	26 500,00	26 500,00 Kč
Montáž	1,00	kpl	18 500,00	18 500,00 Kč
Elektroinstalace + software	1,00	kpl	550,00	550,00 Kč
Regulace systému	1,00	kpl	3 800,00	3 800,00 Kč
Režie	1,00	kpl	4 000,00	4 000,00 Kč
Projekt rekuperace	1,00	kpl	5 500,00	5 500,00 Kč
DPH	15,00%	%	111 800,00	16 770,00 Kč
Celkem cena s DPH				128 570,00 Kč

Zdroj: Autorská práce

5.4.2 Varianta A - Cirkulační teplovzdušné vytápění

Cenový návrh je zpracován na dvoupodlažní rodinný domek dle dispozice. Vzduchotechnická jednotka je zavěšena pod stropem v technické místnosti. Systém zajišťuje rovněž nucenou ventilaci ve všech prostorách. Sání a výfuk je řešen přes žaluzie umístěné na fasádě domu. Tepelná ztráta tohoto domu je nižší než 4 kW, proto byla zvolena jednotka DUPLEX RA3-EC. Přívod čerstvého vzduchu řešen pomocí plochých podlahových kanálů v podlaze 1. NP i 2. NP. Vyústění přiváděného čerstvého i recirkulačního vzduchu je řešeno podlahovými mřížkami.

Jako zdroj tepla byl zvolen integrovaný zásobník IZT-U-TS 500 viz kapitola 4.8 Příprava teplé vody. Elektricky a solárně vytápěný zásobník poskytuje teplo pro teplovodní výměník vzduchové jednotky. Zásobník akumuluje teplo ze dvou zdrojů a to slunce a elektřiny. V době slunečního svitu je vodní náplň zásobníku ohřívána především solární energií. Během období, kdy solární panely neposkytují dostatek energie pro spotřebu, je dodáváno teplo prostřednictvím vestavěných elektrických topných těles.

Tento systém však není schopen zajistit tepelný komfort v koupelnách dle požadavků normy (nejméně 24 °C). Musí být doplněn nástěnnými teplovodními žebříkovými topnými tělesy. Zdrojem pro tato tělesa může být integrovaný zásobník tepla, nebo přímotopná elektrická tělesa.

Tabulka 5.12 Teplovzdušné topení – investiční náklady

zařízení (specifikace)	množství	jednotka	cena jed- notková	cena celkem
ZDROJ				
Jednotka ATREA Duplex RA3-EC	1,00	kpl	61 500,00	61 500,00 Kč
vestavěný digitální regulační modul R_3	1,00	kpl	13 300,00	13 300,00 Kč
čidlo venkovní teploty ADS 110 (čidlo venkovní teploty pro R_3; externí čidlo)	1,00	kpl	990,00	990,00 Kč
ovladač CP 08 RD (barva - bílá)	1,00	kpl	6 890,00	6 890,00 Kč
potrubí rozvody, tvarovky, podlahové rozvody, tlumiče, vyústky, mřížky	1,00	kpl	51 035,00	51 035,00 Kč
Montáž vzduchotechnického zařízení -odhadované výše	1,00	kpl	34 765,90	34 765,90 Kč
Projektová dokumentace	1,00	kpl	13 200,00	13 200,00 Kč
Zregulování VZT systému	1,00	kpl	4 500,00	4 500,00 Kč
Doprava VZT zařízení	180,00	km	13,00	2 340,00 Kč
Integrovaný zásobník tepla IZT-U-TS 500 levé provedení 2 x 4 kW	1,00	kpl	31 700,00	31 700,00 Kč
kompletní digitální řízení RG20-A - pro IZT-U	1,00	kpl	14 800,00	14 800,00 Kč
Příslušenství k IZT, izolace, podstavec	1,00	kpl	7 900,00	7 900,00 Kč
Solární kolektor REGULUS plochý lyrový 103x203 cm, plocha apertury - 1,92 m ²	2,00	kpl	9 340,00	18 680,00 Kč
Střešní stojan pro pultové střechy	2,00	kpl	1 800,00	3 600,00 Kč
Připojovací sada	1,00	kpl	680,00	680,00 Kč
Sada pro připojení	1,00	kpl	2 250,00	2 250,00 Kč
Odvzdušňovací ventil	1,00	ks	497,00	497,00 Kč
Regulátor s vizualizací	1,00	ks	3 349,00	3 349,00 Kč
Čerpadlová skupina S1	1,00	kpl	5 990,00	5 990,00 Kč
Expanzní nádoba 12 l	1,00	ks	889,00	889,00 Kč
Nemrznoucí kapalina	25,00	l	50,00	1 250,00 Kč
Montáž + doprava	1,00	kpl	14 000,00	14 000,00 Kč
DPH	15,00%	%	294 105,90	44 115,89 Kč
Celkem cena s DPH				338 221,79 Kč

Zdroj: Autorská práce

Navrhovaný topný systém je akumulární a tomu odpovídá tzv. akumulární sazba pro dodávku elektrické energie. V integrovaném zásobníku se akumuluje tepelná energie po

dobu 8 hodin denně v období nízkého tarifu elektřiny. Po zbývajících 16 hodin je v případě potřeby teplo pouze odebíráno (po dobu vysokého tarifu) a činnost topení je blokována. To samozřejmě neplatí pro solární systém.

Tabulka 5.13 Teplovzdušné topení - provozní náklady

	Energie typ - zdroj	Potřeba energie	Účinnost přeměny	Spotřeba	Cena energie	Náklad
jednotka		kWh/a		kWh/a	Kč/kWh	Kč/rok
Vytápění	Elektřina NT - IZT	2004	95,00%	2109	1,89661	4 000,85 Kč
Teplá voda	Elektřina NT - IZT	1697	95,00%	1786	1,89661	3 387,94 Kč
Elektřina ostatní	Elektřina Sazba D 26d - vážený průměr	2559	100,00%	2559	2,83097	7 244,45 Kč
Stálé platby	Sazba D 26d - jistič nad 3x20 A do 3x25 A včetně				268,62	3 223,44 Kč
Celkem						17 856,69 Kč

Zdroj: Autorská práce

Na základě výpočtu programu PHPP 2007 je uvažováno s příspěvkem energie solárních kolektorů ve výši 1921 kWh/a viz tabulka 5.7. O tuto hodnotu byla snížena potřeba elektrické energie dodávané z veřejné sítě na ohřev teplé vody.

Výše investice do cirkulačního teplovzdušného vytápění je uprostřed hodnoceného spektra variant. Nárůst o více jak 100 tisíc oproti referenční variantě je významný, přesto je kompenzován úsporou v provozních nákladech. Z pohledu hodnocení doby návratnosti lze konstatovat, že investice je návratná a tedy přijatelná, neboť její návratnost je kratší než předpokládaná doba životnosti 20 let viz tabulka 5.14 .

Tabulka 5.14 Doba návratnosti - cirkulační teplovzdušné vytápění

počet let	investice	úspora
15,7	113 972,94 Kč	7 257,33 Kč

Zdroj: Autorská práce

Pokud zhodnotíme dynamickou verzi návratnosti investice, dostáváme se za hranici předpokládané životnosti. Nicméně lze předpokládat, že po dobu vypočítaných 23 let bude zařízení prakticky funkční. Při nejistotě stanovení nárůstu cen energie a diskontního faktoru, je možné i na základě výpočtu diskontované doby návratnosti hodnotit variantu jako přijatelnou.

Tabulka 5.15 Diskontovaná doba návratnosti - cirkulační teplovzdušné vytápění

rok	investice	provozní náklady	úspora	diskontní faktor	diskontovaná úspora	kumulovaná úspora
		2,00%	2,00%	5,27%		
	113 972,94 Kč			1		
1		17 856,69 Kč	7 257,33 Kč	0,9499383	6 894,02 Kč	6 894,02 Kč
2		18 213,82 Kč	7 402,48 Kč	0,9023827	6 679,87 Kč	13 573,88 Kč
3		18 578,10 Kč	7 550,53 Kč	0,8572078	6 472,37 Kč	20 046,25 Kč
4		18 949,66 Kč	7 701,54 Kč	0,8142945	6 271,32 Kč	26 317,57 Kč
5		19 328,65 Kč	7 855,57 Kč	0,7735295	6 076,51 Kč	32 394,08 Kč
6		19 715,22 Kč	8 012,68 Kč	0,7348053	5 887,76 Kč	38 281,84 Kč
7		20 109,53 Kč	8 172,93 Kč	0,6980196	5 704,87 Kč	43 986,71 Kč
8		20 511,72 Kč	8 336,39 Kč	0,6630756	5 527,66 Kč	49 514,37 Kč
9		20 921,95 Kč	8 503,12 Kč	0,6298808	5 355,95 Kč	54 870,32 Kč
10		21 340,39 Kč	8 673,18 Kč	0,5983479	5 189,58 Kč	60 059,90 Kč
11		21 767,20 Kč	8 846,64 Kč	0,5683936	5 028,38 Kč	65 088,27 Kč
12		22 202,54 Kč	9 023,58 Kč	0,5399388	4 872,18 Kč	69 960,45 Kč
13		22 646,59 Kč	9 204,05 Kč	0,5129085	4 720,83 Kč	74 681,29 Kč
14		23 099,53 Kč	9 388,13 Kč	0,4872314	4 574,19 Kč	79 255,48 Kč
15		23 561,52 Kč	9 575,89 Kč	0,4628398	4 432,10 Kč	83 687,58 Kč
16		24 032,75 Kč	9 767,41 Kč	0,4396692	4 294,43 Kč	87 982,01 Kč
17		24 513,40 Kč	9 962,76 Kč	0,4176586	4 161,03 Kč	92 143,04 Kč
18		25 003,67 Kč	10 162,01 Kč	0,3967499	4 031,78 Kč	96 174,82 Kč
19		25 503,74 Kč	10 365,25 Kč	0,3768879	3 906,54 Kč	100 081,36 Kč
20		26 013,82 Kč	10 572,56 Kč	0,3580202	3 785,19 Kč	103 866,55 Kč
21		26 534,10 Kč	10 784,01 Kč	0,3400971	3 667,61 Kč	107 534,16 Kč
22		27 064,78 Kč	10 999,69 Kč	0,3230712	3 553,68 Kč	111 087,84 Kč
23		27 606,07 Kč	11 219,68 Kč	0,3068977	3 443,30 Kč	114 531,14 Kč

Zdroj: Autorská práce

Čistá současná hodnota investice do cirkulačního teplovzdušného vytápění vychází jako druhá nejlepší ze všech hodnocených variant.

Tabulka 5.16 Čistá současná hodnota - cirkulační teplovzdušné vytápění

rok	výdaje	CF	diskontní faktor	diskontované CF
	2,00%		5,27%	
	338 221,79 Kč	-338 221,79 Kč	1	-338 221,79 Kč
1	17 856,69 Kč	-17 856,69 Kč	0,9499383	-16 962,75 Kč
2	18 213,82 Kč	-18 213,82 Kč	0,9023827	-16 435,84 Kč
3	18 578,10 Kč	-18 578,10 Kč	0,8572078	-15 925,29 Kč
4	18 949,66 Kč	-18 949,66 Kč	0,8142945	-15 430,60 Kč
5	19 328,65 Kč	-19 328,65 Kč	0,7735295	-14 951,28 Kč
6	19 715,22 Kč	-19 715,22 Kč	0,7348053	-14 486,85 Kč
7	20 109,53 Kč	-20 109,53 Kč	0,6980196	-14 036,85 Kč
8	20 511,72 Kč	-20 511,72 Kč	0,6630756	-13 600,82 Kč
9	20 921,95 Kč	-20 921,95 Kč	0,6298808	-13 178,34 Kč
10	21 340,39 Kč	-21 340,39 Kč	0,5983479	-12 768,98 Kč
11	21 767,20 Kč	-21 767,20 Kč	0,5683936	-12 372,34 Kč
12	22 202,54 Kč	-22 202,54 Kč	0,5399388	-11 988,01 Kč
13	22 646,59 Kč	-22 646,59 Kč	0,5129085	-11 615,63 Kč
14	23 099,53 Kč	-23 099,53 Kč	0,4872314	-11 254,82 Kč
15	23 561,52 Kč	-23 561,52 Kč	0,4628398	-10 905,21 Kč
16	24 032,75 Kč	-24 032,75 Kč	0,4396692	-10 566,46 Kč
17	24 513,40 Kč	-24 513,40 Kč	0,4176586	-10 238,23 Kč
18	25 003,67 Kč	-25 003,67 Kč	0,3967499	-9 920,20 Kč
19	25 503,74 Kč	-25 503,74 Kč	0,3768879	-9 612,05 Kč
20	26 013,82 Kč	-26 013,82 Kč	0,3580202	-9 313,47 Kč
				-593 785,80 Kč

Zdroj: Autorská práce

5.4.3 Varianta B - Elektrické podlahové topení

Podlahové elektrické vytápění je navrženo jako hlavní – může tedy sloužit jako jediný zdroj tepla. Výkony topných kabelů jsou navrženy tak, aby s min 25% rezervou pokrývaly tepelnou ztrátu jednotlivých místností. Návrh je zpracován ve variantě dvoužilové topné kabely TO 2S zalité anhydritem. Pro ovládání topných kabelů v případě hlavního vytápění jsou navrženy termostaty v jednotlivých místnostech s prostorovým i podlahovým teplotním čidlem.

Pro přípravu TUV je zvolen svislý zásobníkový ohřívač vody. Ohřívač je určen k tzv. akumulačnímu ohřevu užitkové vody elektrickou energií. Vodu ohřívá elektrické těleso ve

smaltovaném tepelně izolovaném zásobníku v době stanovené dodavatelem elektrické energie. Těleso je v době ohřevu ovládáno termostatem, na kterém lze plynule nastavit požadovanou teplotu (v rozsahu 5 až 74°C). Po dosažení zvolené teploty se ohřev automaticky přeruší. Ke spotřebě se pak používá voda nashromážděná v zásobníku. Teplá voda odtéká horní částí a přitékající voda zůstává ve spodní části ohříváče (http://www.dzd.cz/images/download/Navod_OKC_OKCE_OKC1m2.pdf, cit. 2015-01-4).

Tabulka 5.17 Elektrické podlahové topení - investiční náklady

zařízení (specifikace)	množství	jednotka	cena jed- notková	cena celkem
ZDROJ				
Topný kabel TO-2L-20-200	3,00	ks	1 190,00	3 570,00 Kč
Topný kabel TO-2L-122-1220	1,00	ks	4 610,00	4 610,00 Kč
Topný kabel TO-2L-31-310	2,00	ks	1 760,00	3 520,00 Kč
Topný kabel TO-2L-11-110	1,00	ks	860,00	860,00 Kč
Topný kabel TO-2L-7-70	2,00	ks	770,00	1 540,00 Kč
Topný kabel TO-2L-55-550	1,00	ks	2 710,00	2 710,00 Kč
Topný kabel TO-2L-71-710	1,00	ks	3 205,00	3 205,00 Kč
Topný kabel TO-2L-46-460	1,00	ks	2 370,00	2 370,00 Kč
Pokojevý termostat OTD2-1999	5,00	ks	1 980,00	9 900,00 Kč
Pokojevý termostat OCD2-1999	7,00	ks	2 090,00	14 630,00 Kč
Montážní a fixační materiál	1,00	kpl	4 500,00	4 500,00 Kč
Rozvaděč + jištění	1,00	kpl	4 800,00	4 800,00 Kč
Montáž + doprava	1,00	kpl	16 980,00	16 980,00 Kč
TUV				
Ohřívač vody - elektrický svislý OKCE 180 l	1,00	ks	9 004,00	9 004,00 Kč
Montážní a fixační materiál	1,00	kpl	1 000,00	1 000,00 Kč
DPH	15,00%	%	83 199,00	12 479,85 Kč
Celkem cena s DPH				95 678,85 Kč

Řízené větrání s rekuperací tepla

Celkem cena s DPH				128 570,00 Kč
--------------------------	--	--	--	----------------------

Celkové investiční náklady srovnatelné varianty

224 248,85 Kč

Zdroj: Autorská práce

Provoz topného systému je uvažován v tzv. přímotopné sazbě, kdy je topení provozováno 20 hodin denně v období nízkého tarifu elektřiny. Po zbývající 4 hodiny (rozděleno na max. hodinové úseky) trvá období vysokého tarifu a činnost topení je blokována. Topný systém je navržen tak, aby tyto prodlevy ve vytápění překlenul bez snížení uživatelského komfortu.

Tabulka 5.18 Elektrické podlahové topení - provozní náklady

	Energie typ - zdroj	Potřeba energie	Účinnost přeměny	Spotřeba	Cena energie	Náklad
jednotka		kWh/a		kWh/a	Kč/kWh	Kč/rok
Vytápění	Elektřina NT - podlahové elektrické plochy	2004	98,00%	2045	2,33947	4 783,98 Kč
Teplá voda	Elektřina NT - boiler	3618	95,00%	3808	2,33947	8 909,69 Kč
Elektřina ostatní	Elektřina Sazba D 45d - vážený průměr	2559	100,00%	2559	2,42015	6 193,15 Kč
Stálé platby	Sazba D 45d - jistič nad 3x20 A do 3x25 A včetně				435,6	5 227,20 Kč
Celkem						25 114,02 Kč

Zdroj: Autorská práce

Elektrické podlahové topení pomocí topných kabelů bylo zvoleno jako referenční varianta, která má nejmenší investiční náklady. Z toho důvodu není u této varianty možné vypočítat prostou ani diskontovanou dobu návratnosti.

Čistá současná hodnota elektrického podlahového topení je nejlepší ze všech, neboť představuje celkově nejmenší množství vydaných finančních prostředků za 20 let.

Tabulka 5.19 Čistá současná hodnota - elektrické podlahové topení

rok	výdaje	CF	diskontní faktor	diskontované CF
	2,00%		5,27%	
	224 248,85 Kč	-224 248,85 Kč	1	-224 248,85 Kč
1	25 114,02 Kč	-25 114,02 Kč	0,9499383	-23 856,76 Kč
2	25 616,30 Kč	-25 616,30 Kč	0,9023827	-23 115,70 Kč
3	26 128,62 Kč	-26 128,62 Kč	0,8572078	-22 397,66 Kč
4	26 651,19 Kč	-26 651,19 Kč	0,8142945	-21 701,92 Kč
5	27 184,22 Kč	-27 184,22 Kč	0,7735295	-21 027,79 Kč
6	27 727,90 Kč	-27 727,90 Kč	0,7348053	-20 374,61 Kč
7	28 282,46 Kč	-28 282,46 Kč	0,6980196	-19 741,71 Kč
8	28 848,11 Kč	-28 848,11 Kč	0,6630756	-19 128,48 Kč
9	29 425,07 Kč	-29 425,07 Kč	0,6298808	-18 534,29 Kč
10	30 013,57 Kč	-30 013,57 Kč	0,5983479	-17 958,56 Kč
11	30 613,84 Kč	-30 613,84 Kč	0,5683936	-17 400,71 Kč
12	31 226,12 Kč	-31 226,12 Kč	0,5399388	-16 860,19 Kč
13	31 850,64 Kč	-31 850,64 Kč	0,5129085	-16 336,47 Kč
14	32 487,66 Kč	-32 487,66 Kč	0,4872314	-15 829,01 Kč
15	33 137,41 Kč	-33 137,41 Kč	0,4628398	-15 337,31 Kč
16	33 800,16 Kč	-33 800,16 Kč	0,4396692	-14 860,89 Kč
17	34 476,16 Kč	-34 476,16 Kč	0,4176586	-14 399,26 Kč
18	35 165,68 Kč	-35 165,68 Kč	0,3967499	-13 951,98 Kč
19	35 869,00 Kč	-35 869,00 Kč	0,3768879	-13 518,59 Kč
20	36 586,38 Kč	-36 586,38 Kč	0,3580202	-13 098,66 Kč
				-583 679,41 Kč

Zdroj: Autorská práce

5.4.4 Varianta C - Teplovodní podlahové topení s krbovou vložkou

Podlahové topení bude realizováno ve všech místnostech s výjimkou technické místnosti (1.05), komory (1.08), sauny (1.09) a schodiště (2.08). Celková plocha tzv. aktivovaného betonu je 118 m².

Topení je rozvedeno do místností jednotlivými smyčkami plastového potrubí zalitého v podlaze. Potrubní smyčky se sbíhají do rozdělovače a sběrače, které jsou umístěny v technické místnosti. Rozdělovač a sběrač jsou napojeny na zdroj tepla. Varianta počítá s tepelným zdrojem v podobě krbové vložky s teplovodním výměníkem. Přívod spalovacího vzduchu je řešen samostatným potrubím z venkovního prostoru.

Teplovodní systém je navržen jako uzavřený s pomocným oběhovým čerpadlem. Do teplovodního okruhu je začleněn zásobníkový ohřívač užitkové vody. Pro zajištění bezpečného provozu krbové vložky a automatické zálohování funkce oběhového čerpadla při výpadku elektrické energie je navrženo použití záložního zdroje (<http://www.haassohn-rukov.cz/cz/produkty-a-sluzby/vyrobni-program/krbove-vlozky-s-vymenikem/amadora-s-vymenikem0671015000000.html><http://www.haassohn-rukov.cz/cz/produkty-a-sluzby/vyrobni-program/krbove-vlozky-s-vymenikem/amadora-s-vymenikem0671015000000.h>, cit. 2015-01-04).

Krbová vložka je konstruována pro spalování dřeva a ekobriket prohořivacím systémem, který zaručuje velice dobré spalovací podmínky. Krbová vložka předává více než 50% tepelného výkonu prostřednictvím teplovodního výměníku do okruhu podlahového topení. Zbytkovým využitelným teplem je realizován ohřev vzduchu v prostoru, kde se kamna nacházejí.

V této variantě byl vybrán pro přípravu TUV svislý kombinovaný akumulární ohřívač. Ohřívač je určen k tzv. akumulárnímu ohřevu užitkové vody elektrickou energií, nebo tepelnou energií z vnějšího zdroje přes výměník. Vodu ohřívá elektrické těleso, nebo pevně vestavěný výměník tepla ve smaltovaném tepelně izolovaném zásobníku.

Tabulka 5.20 Teplovodní podlahové topení s krbovou vložkou - investiční náklady

zařízení (specifikace)	množství	jednotka	cena jed- notková	cena celkem
ZDROJ				
Krbová vložka Amadora s výměníkem tepla	1,00	ks	25 320,00	25 320,00 Kč
Dodávka a montáž komínu - systém IZOTERM - nerez	1,00	kpl	46 300,00	46 300,00 Kč
Teplovodní oběhové čerpadlo DN25 regulovatelné, 1,7 - 2,1 m ³ /h, 2,4 - 3,0m, 230V, 0,78A, 85W	1,00	ks	3 200,00	3 200,00 Kč
Záložní zdroj - Řídící jednotka Jablotron CP-201M + baterie	1,00	ks	3 600,00	3 600,00 Kč
Elektroinstalace	1,00	kpl	1 500,00	1 500,00 Kč
Měření a regulace systému	1,00	kpl	2 500,00	2 500,00 Kč
Montážní materiál - připojení do systému topení	1,00	kpl	3 500,00	3 500,00 Kč
Montáž a doprava	1,00	kpl	9 000,00	9 000,00 Kč
PODLAHOVÉ ROZVODY				
Polybutenová trubka HR-PB DD 15x1,5	700,00	m	64,00	44 800,00 Kč
Press spojka 15/15	5,00	ks	71,00	355,00 Kč
Ochranná trubka 25	60,00	m	14,00	840,00 Kč
Rozdělovací stanice 1" s integrovanými násuvnými spojkami 7 1"	2,00	ks	5 684,00	11 368,00 Kč
Skříň rozdělovací stanice montáž pod omítku 7 (BARVA RAL dle interieru)	2,00	ks	1 639,00	3 278,00 Kč
Opěrné pouzdro 15	6,00	ks	6,00	36,00 Kč
Uzavírací kohout 1" - PÁR	2,00	ks	516,00	1 032,00 Kč
Systémové desky 35/32 - 6,075m ²	118,00	m ²	296,00	34 928,00 Kč
Systémové desky deska přívodu trubky 35/32 - 2,5m ²	15,00	m ³	580,00	8 700,00 Kč
Dilatační pás	130,00	m	20,00	2 600,00 Kč
Montážní materiál	1,00	ks	1 710,00	1 710,00 Kč
Montáž a doprava	1,00	ks	14 250,00	14 250,00 Kč
TUV				
Ohřívač vody - kombinovaný svislý OKC 180 l	1,00	ks	10 120,00	10 120,00 Kč
Montážní a fixační materiál	1,00	kpl	1 000,00	1 000,00 Kč
DPH				
	15,00%	%	229 937,00	34 490,55 Kč
Celkem cena s DPH				264 427,55 Kč

Řízené větrání s rekuperací tepla

Celkem cena s DPH				128 570,00 Kč
--------------------------	--	--	--	----------------------

Celkové investiční náklady srovnatelné varianty				392 997,55 Kč
--	--	--	--	----------------------

Zdroj: Autorská práce

Dle výpočtu provedeného v programu PHPP 2007 bude potřeba tepla pro vytápění objektu pouze během měsíců leden, únor, březen, listopad a prosinec viz tabulka 5.5 Měrná potřeba tepla pro vytápění – měsíční metoda 2. část. V ostatních měsících dostačují pro udržení tepelné pohody v domě tepelné zisky ze slunečního záření a vnitřních zdrojů. Topné období tedy bude maximálně 151 dnů dlouhé. Průměrná denní potřeba tepla pro TUV je 9,91 kWh. Varianta počítá se 100% pokrytím tepla během topného období z krbové vložky. To představuje celkem 1497 kWh/a. Zbývající potřeba tepla bude pokryta elektrickou energií.

Tabulka 5.21 Teplovodní podlahové topení s krbovou vložkou - provozní náklady

	Energie typ - zdroj	Potřeba energie	Účinnost přeměny	Spotřeba	Cena energie	Náklad
jednotka		kWh/a		kWh/a	Kč/kWh	Kč/rok
Vytápění	Palivové dřevo - krbová vložka	2004	80,00%	2505	0,82669	2 070,87 Kč
Teplá voda	Elektřina Sazba D 02d - kombinovaný boiler	2121	95,00%	2233	4,24138	9 469,44 Kč
	Palivové dřevo - krbová vložka - kombinovaný boiler	1497	80,00%	1871	0,82669	1 546,95 Kč
Elektřina ostatní	Elektřina Sazba D 02d	2559	100,00%	2559	4,24138	10 853,69 Kč
Stálé platby	Sazba D 02d - jistič nad 3x20 A do 3x25 A včetně				158,51	1 902,12 Kč
Celkem						25 843,07 Kč

Zdroj: Autorská práce

Cena kWh dodané spalováním palivového dřeva byla určena propočtem pro jehličnaté dřevo směs s obsahem vody 20 %. Výhřevnost takového paliva je 14,36 MJ/kg. Cena paliva od místního dodavatele včetně dopravy je 1230,- Kč/PRM (prostorový metr) včetně DPH. Prostorový metr představuje cca 373 kg palivového dřeva. Celková výhřevnost 1 PRM je $373 \times 14,36 = 5\,356,3$ MJ. Přepočtení na kWh provedeme dělením koeficientem $5\,356,3 / 3,6 = 1\,487,9$ kWh/PRM. Konečně cenu 1 kWh získané z daného palivového dřeva dostaneme podílem ceny za 1 PRM a počtu kWh z něho získaných $1\,230 / 1\,487,9 = 0,826$ Kč/kWh.

Dřevo od dodavatele je kráceno na metrová polena a silnější průměry jsou podélně rozštíplé, 1 PRM jsou metrová polena vyrovnaná do hraně 1x1x1m. V ceně paliva není započtena práce na jeho úpravu pro spalování v krbové vložce. V této variantě je tedy nutno uvažovat se sníženým komfortem obsluhy tepelného zdroje a to zejména ve srovnání s ostatními variantami, které prakticky nevyžadují žádnou obsluhu.

Provozní náklady na získávání tepla pomocí krbové vložky vycházejí větší, než při čistě elektrickém zdroji tepla viz tabulka 5.22. Je to způsobeno zejména vyšší sazbou za jednotku elektrické energie. Přestože náklady na 1 kWh získanou z topného dřeva jsou mnohem nižší, než za 1 kWh elektrické energie (a to ve všech sazbách), nevyváží při malé spotřebě objektu rozdíl cen mezi standardní sazbou a nízkou sazbou určenou pro objekty s elektrickým topením. Investice do teplovodního podlahového topení s krbovou vložkou je tedy ve srovnání s elektrickým podlahovým topením (referenční varianta) nenávratná. Diskontovaná doba návratnosti nebyla o ohledem na výše uvedené počítána.

Tabulka 5.22 Doba návratnosti - teplovodní podlahové topení s krbovou vložkou

počet let	investice	úspora
-231,46	168 748,70 Kč	-729,05 Kč

Zdroj: Autorská práce

Poměrně vysoká investice a zároveň nejvyšší provozní náklady na tuto variantu mají za následek nejhorší výsledek výpočtu čisté současné hodnoty ze všech hodnocených variant.

Tabulka 5.23 Čistá současná hodnota - teplovodní podlahové topení s krbovou vložkou

rok	výdaje	CF	diskontní faktor	diskontované CF
	2,00%		5,27%	
	392 997,55 Kč	-392 997,55 Kč	1	-392 997,55 Kč
1	25 843,07 Kč	-25 843,07 Kč	0,9499383	-24 549,32 Kč
2	26 359,93 Kč	-26 359,93 Kč	0,9023827	-23 786,74 Kč
3	26 887,13 Kč	-26 887,13 Kč	0,8572078	-23 047,86 Kč
4	27 424,87 Kč	-27 424,87 Kč	0,8142945	-22 331,92 Kč
5	27 973,37 Kč	-27 973,37 Kč	0,7735295	-21 638,22 Kč
6	28 532,83 Kč	-28 532,83 Kč	0,7348053	-20 966,08 Kč
7	29 103,49 Kč	-29 103,49 Kč	0,6980196	-20 314,81 Kč
8	29 685,56 Kč	-29 685,56 Kč	0,6630756	-19 683,77 Kč
9	30 279,27 Kč	-30 279,27 Kč	0,6298808	-19 072,33 Kč
10	30 884,86 Kč	-30 884,86 Kč	0,5983479	-18 479,89 Kč
11	31 502,55 Kč	-31 502,55 Kč	0,5683936	-17 905,85 Kč
12	32 132,60 Kč	-32 132,60 Kč	0,5399388	-17 349,64 Kč
13	32 775,26 Kč	-32 775,26 Kč	0,5129085	-16 810,71 Kč
14	33 430,76 Kč	-33 430,76 Kč	0,4872314	-16 288,52 Kč
15	34 099,38 Kč	-34 099,38 Kč	0,4628398	-15 782,55 Kč
16	34 781,36 Kč	-34 781,36 Kč	0,4396692	-15 292,29 Kč
17	35 476,99 Kč	-35 476,99 Kč	0,4176586	-14 817,27 Kč
18	36 186,53 Kč	-36 186,53 Kč	0,3967499	-14 357,00 Kč
19	36 910,26 Kč	-36 910,26 Kč	0,3768879	-13 911,03 Kč
20	37 648,47 Kč	-37 648,47 Kč	0,3580202	-13 478,91 Kč
				-762 862,25 Kč

Zdroj: Autorská práce

5.4.5 Varianta D - Teplovodní podlahové topení s elektrokotlem

Rozvody teplé vody v jednotlivých místnostech u této varianty jsou stejné jako u předchozí varianty podlahového topení s krbovou vložkou. Zdrojem tepla je však elektrokotel.

Zvolený elektrokotel je svou konstrukcí určen k použití v teplovodních otopných systémech s nuceným oběhem vody. Slouží k ohřevu otopné vody prostřednictvím elektrické energie. Topná voda je v systému čerpadlem rozváděna do podlahového vytápění.

Pro přípravu TUV je opět zvolen svislý zásobníkový ohřívač vody. Ohřívač je určen k tzv. akumulárnímu ohřevu užitkové vody elektrickou energií. Vodu ohřívá elektrické těleso ve

smaltovaném tepelně izolovaném zásobníku v době stanovené dodavatelem elektrické energie. Těleso je v době ohřevu ovládáno termostatem, na kterém lze plynule nastavit požadovanou teplotu (v rozsahu 5 až 74°C). Po dosažení zvolené teploty se ohřev automaticky přeruší. Ke spotřebě se pak používá voda nashromážděná v zásobníku. Teplá voda odtéká horní částí a přitékající voda zůstává ve spodní části ohříváče (http://www.dzd.cz/images/download/Navod_OKC_OKCE_OKC1m2.pdf, cit. 2015-01-4).

Tabulka 5.24 Teplovodní podlahové topení s elektrokotlem – investiční náklady

zařízení (specifikace)	množství	jednotka	cena jed- notková	cena celkem
ZDROJ				
Elektrokotel Protherm RAY 6K	1,00	ks	17 900,00	17 900,00 Kč
Elektroinstalace	1,00	ks	1 500,00	1 500,00 Kč
Montáž a doprava	1,00	ks	2 000,00	2 000,00 Kč
PODLAHOVÉ ROZVODY				
Polybutenová trubka HR-PB DD 15x1,5	700,00	m	64,00	44 800,00 Kč
Press spojka 15/15	5,00	ks	71,00	355,00 Kč
Ochranná trubka 25	60,00	m	14,00	840,00 Kč
Rozdělovací stanice 1" s integrovanými násuvnými spojkami 7 1"	2,00	ks	5 684,00	11 368,00 Kč
Skříň rozdělovací stanice montáž pod omítku 7 (BARVA RAL dle interieru)	2,00	ks	1 639,00	3 278,00 Kč
Opěrné pouzdro 15	6,00	ks	6,00	36,00 Kč
Uzavírací kohout 1" - PÁR	2,00	ks	516,00	1 032,00 Kč
Systémové desky 35/32 - 6,075m ²	118,00	m ²	296,00	34 928,00 Kč
Systémové desky deska přívodu trubky 35/32 - 2,5m ²	15,00	m ³	580,00	8 700,00 Kč
Dilatační pás	130,00	m	20,00	2 600,00 Kč
Montážní materiál	1,00	ks	1 710,00	1 710,00 Kč
Montáž a doprava	1,00	ks	14 250,00	14 250,00 Kč
TUV				
Ohříváč vody - elektrický svislý OKCE 180 l	1,00	ks	9 004,00	9 004,00 Kč
Montážní a fixační materiál	1,00	kpl	1 000,00	1 000,00 Kč
DPH	15,00%	%	155 301,00	23 295,15 Kč
Celkem cena s DPH				178 596,15 Kč

Řízené větrání s rekuperací tepla

Celkem cena s DPH				128 570,00 Kč
Celkové investiční náklady srovnatelné varianty				307 166,15 Kč

Zdroj: Autorská práce

Provoz topného systému je uvažován v tzv. přímotopné sazbě, kdy je topení provozováno 20 hodin denně v období nízkého tarifu elektřiny. Po zbývající 4 hodiny (rozděleno na max. hodinové úseky) trvá období vysokého tarifu a činnost topení je blokována. Topný systém je vzhledem k nakumulovanému teplu ve hmotě podlahy schopen tento výpadek překonat bez snížení uživatelského komfortu.

Tabulka 5.25 Teplovodní podlahové topení s elektrokotlem - provozní náklady

	Energie typ - zdroj	Potřeba energie	Účinnost přeměny	Spotřeba	Cena energie	Náklad
jednotka		kWh/a		kWh/a	Kč/kWh	Kč/rok
Vytápění	Elektřina NT - elektrokotel	2004	99,50%	2014	2,33947	4 711,86 Kč
Teplá voda	Elektřina NT - boiler	3618	95,00%	3808	2,33947	8 909,69 Kč
Elektřina ostatní	Elektřina Sazba D 45d - vážený průměr	2559	100,00%	2559	2,42015	6 193,15 Kč
Stálé platby	Sazba D 45d - jistič nad 3x20 A do 3x25 A včetně				435,6	5 227,20 Kč
Celkem						25 041,90 Kč

Zdroj: Autorská práce

Teplovodní podlahové topení s elektrokotlem prakticky využívá stejný zdroj energie jako referenční varianta. Rozdíl v provozních nákladech je způsoben pouze teoretickou hodnotou udávané účinnosti zařízení. Lze tedy konstatovat, že nárůst investičních prostředků na vybudování této varianty je ve srovnání s referenční variantou nenávratný.

Tabulka 5.26 Doba návratnosti - teplovodní podlahové topení s elektrokotlem

počet let	investice	úspora
1149,71	82 917,30 Kč	72,12 Kč

Zdroj: Autorská práce

Výpočet diskontované doby návratnosti v tomto kontextu nemá smysl.

Čistá současná hodnota investice do varianty teplovodního podlahového topení s elektrokotlem se nachází uprostřed hodnocených variant. To je způsobeno především nízkou investicí, která je druhá nejnižší ze všech hodnocených.

Tabulka 5.27 Čistá současná hodnota - teplovodní podlahové topení s elektrokotlem

rok	výdaje	CF	diskontní faktor	diskontované CF
	2,00%		5,27%	
	307 166,15 Kč	-307 166,15 Kč	1	-307 166,15 Kč
1	25 041,90 Kč	-25 041,90 Kč	0,9499383	-23 788,25 Kč
2	25 542,73 Kč	-25 542,73 Kč	0,9023827	-23 049,32 Kč
3	26 053,59 Kč	-26 053,59 Kč	0,8572078	-22 333,34 Kč
4	26 574,66 Kč	-26 574,66 Kč	0,8142945	-21 639,60 Kč
5	27 106,15 Kč	-27 106,15 Kč	0,7735295	-20 967,41 Kč
6	27 648,28 Kč	-27 648,28 Kč	0,7348053	-20 316,10 Kč
7	28 201,24 Kč	-28 201,24 Kč	0,6980196	-19 685,02 Kč
8	28 765,27 Kč	-28 765,27 Kč	0,6630756	-19 073,54 Kč
9	29 340,57 Kč	-29 340,57 Kč	0,6298808	-18 481,06 Kč
10	29 927,38 Kč	-29 927,38 Kč	0,5983479	-17 906,99 Kč
11	30 525,93 Kč	-30 525,93 Kč	0,5683936	-17 350,74 Kč
12	31 136,45 Kč	-31 136,45 Kč	0,5399388	-16 811,78 Kč
13	31 759,18 Kč	-31 759,18 Kč	0,5129085	-16 289,55 Kč
14	32 394,36 Kč	-32 394,36 Kč	0,4872314	-15 783,55 Kč
15	33 042,25 Kč	-33 042,25 Kč	0,4628398	-15 293,27 Kč
16	33 703,09 Kč	-33 703,09 Kč	0,4396692	-14 818,21 Kč
17	34 377,16 Kč	-34 377,16 Kč	0,4176586	-14 357,91 Kč
18	35 064,70 Kč	-35 064,70 Kč	0,3967499	-13 911,91 Kč
19	35 765,99 Kč	-35 765,99 Kč	0,3768879	-13 479,77 Kč
20	36 481,31 Kč	-36 481,31 Kč	0,3580202	-13 061,05 Kč
				-665 564,53 Kč

Zdroj: Autorská práce

5.4.6 Varianta E - Teplovodní podlahové topení s tepelným čerpadlem

Rozvody teplé vody v podlahách jednotlivých místností zůstávají stejné jako v předchozích dvou variantách. Podlahové topení je z hlediska účinnosti nejvhodnější variantou pro tepelné čerpadlo.

Systém NIBE F1126 je tvořen tepelným čerpadlem, ponorným ohříváčem, oběhovými čerpadly a řídicím systémem. Čerpadlo je připojeno k primárnímu a topnému okruhu. Tepelná energie země je v primárním okruhu (plošný zemní kolektor) předána do nemrznoucí kapaliny. Ve výparníku tepelného čerpadla předává nemrznoucí kapalina (směs vody a nemrznoucí směsi, glykolu nebo lihu) energii chladiivu, které se odpařuje, aby mohlo být stlačeno v kompresoru. Chladiivo, jehož teplota se nyní zvýšila, prochází do kondenzátoru, kde odevzdá energii do okruhu topného média, kterým je podlahové topení, a podle potřeby do připojeného ohříváče vody. Je-li požadováno více tepla/teplé vody, než dokáže poskytnout kompresor, použije se vestavěný elektrokotel (<http://www.nibe.cz/cs/tepelna-cerpadla-zeme-voda/tepelne-cerpadlo-nibe-f1126>, cit. 2015-01-25).

Ohřev TUV je realizován pomocí akumulční nádrže. Akumulační nádrž slouží k akumulaci přebytečného tepla, v tomto případě tepelného čerpadla. Akumulace je vhodná zejména proto, aby nedocházelo k častému spouštění a opětovnému vypínání tepelného čerpadla. Optimální chod bez častého přerušování má zásadní vliv na jeho životnost. Nádrž typu NADO slouží k ukládání tepla v topném systému a umožňuje ohřev nebo předeřev TUV ve vnitřní nádobě. Nádrž i trubkové výměníky jsou vyráběny z oceli, bez úpravy vnitřního povrchu, vnější povrch nádrže je opatřen ochranným nátěrem. Nádrže jsou vybaveny snímatelnou 100 mm silnou izolací Symbio z polyesterového rouna. Typ NADO dovoluje přímý ohřev užitkové vody (TUV) ve vnitřní smaltované nádobě nebo její předeřev pro další ohříváče vody. Zapojení na tepelné čerpadlo TUV jen předeřev a je nutné zařadit další např. elektrický ohříváče, který dohřeje vodu na požadovanou teplotu nebo do akumulční nádoby namontovat elektrický dohřev, který umožňuje el. topná

jednotka TJ 6/4“ nebo topná příruba TPK

(http://www.dzd.cz/images/download/Navod_NADO_9_2013.pdf, cit. 2015-01-18).

Tabulka 5.28 Teplovodní podlahové topení s tepelným čerpadlem – investiční náklady

zařízení (specifikace)	množství	jednotka	cena jed- notková	cena celkem
ZDROJ				
Tepelné čerpadlo NIBE F1126	1,00	ks	120 000,00	120 000,00 Kč
Montáž, elektroinstalace, uvedení do provozu, revize elektro	1,00	kpl	53 000,00	53 000,00 Kč
Zemní kolektor vč. Zemních prací	1,00	kpl	36 000,00	36 000,00 Kč
PODLAHOVÉ ROZVODY				
Polybutenová trubka HR-PB DD 15x1,5	700,00	m	64,00	44 800,00 Kč
Press spojka 15/15	5,00	ks	71,00	355,00 Kč
Ochranná trubka 25	60,00	m	14,00	840,00 Kč
Rozdělovací stanice 1" s integrovanými násuvnými spojkami 7 1"	2,00	ks	5 684,00	11 368,00 Kč
Skříň rozdělovací stanice montáž pod omítku 7 (BARVA RAL dle interieru)	2,00	ks	1 639,00	3 278,00 Kč
Opěrné pouzdro 15	6,00	ks	6,00	36,00 Kč
Uzavírací kohout 1" - PÁR	2,00	ks	516,00	1 032,00 Kč
Systémové desky 35/32 - 6,075m ²	118,00	m ²	296,00	34 928,00 Kč
Systémové desky deska přívodu trubky 35/32 - 2,5m ²	15,00	m ³	580,00	8 700,00 Kč
Dilatační pás	130,00	m	20,00	2 600,00 Kč
Montážní materiál	1,00	ks	1 710,00	1 710,00 Kč
Montáž a doprava	1,00	ks	14 250,00	14 250,00 Kč
TUV				
Akumulační nádrž s vnitřním zásobníkem NADO 500/200 v1	1,00	ks	11 074,00	11 074,00 Kč
Montážní a fixační materiál	1,00	kpl	1 000,00	1 000,00 Kč
DPH	15,00%	%	344 971,00	51 745,65 Kč
Celkem cena s DPH				396 716,65 Kč

Řízené větrání s rekuperací tepla

Celkem cena s DPH				128 570,00 Kč
--------------------------	--	--	--	----------------------

Celkové investiční náklady srovnatelné varianty				525 286,65 Kč
--	--	--	--	----------------------

Zdroj: Autorská práce

K výpočtu provozních nákladů byl použit průměrný topný faktor 3,9 zjištěný na základě výzkumu skutečných instalací čerpadel podobného typu v Německu (viz Obrázek 4.3). Na základě vztahu (3.19) byla vypočtena spotřeba elektrické energie tepelného čerpadla pro vytápění a ohřev teplé vody. Dodávka elektrické energie je počítána na základě dvoutarifové sazby D 56d, určené speciálně pro vytápění tepelným čerpadlem.

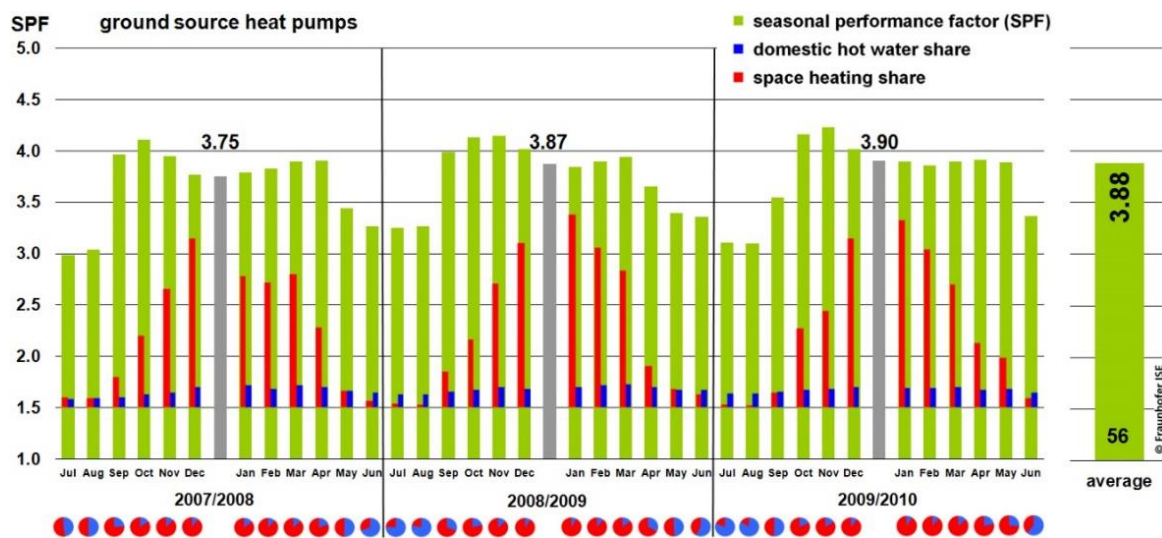
Tabulka 5.29 Teplovodní podlahové topení s tepelným čerpadlem – provozní náklady

	Energie typ - zdroj	Potřeba energie	Topný faktor/ Účinnost přeměny	Spotřeba	Cena energie	Náklad
jednotka		kWh/a		kWh/a	Kč/kWh	Kč/rok
Vytápění	Elektřina NT - tepelné čerpadlo	2004	3,90	514	2,34189	1 203,37 Kč
Teplá voda	Elektřina NT - tepelné čerpadlo	3618	3,90	928	2,34189	2 172,55 Kč
Elektřina ostatní	Elektřina Sazba D 56d - vážený průměr	2559	100,00%	2559	2,36841	6 060,77 Kč
Stálé platby	Sazba D 56d - jistič nad 3x20 A do 3x25 A včetně				435,6	5 227,20 Kč
Celkem						14 663,89 Kč

Zdroj: Autorská práce

Zásadní veličinou ve výpočtu provozních nákladů tepelného čerpadla je tzv. topný faktor (viz metodika). Rozsáhlý test tepelných čerpadel provedla německá agentura Fraunhofer ISE. Výzkum zahrnoval 110 instalací tepelných čerpadel, poskytujících vytápění a ohřev teplé užitkové vody v nových rodinných domech. Podrobné údaje byly použity mimo jiné ke stanovení účinnosti provozu tepelných čerpadel. Projekt "Efektivita tepelných čerpadel" probíhal od října 2005 do září 2010. Pro analýzu topného faktoru čerpadel systému země – voda byly použity údaje z měření na 56 objektech. Stejně jako v uvažované variantě bylo podlahové sálavé vytápění nejčastějším typem systému distribuce tepla. V tomto období byl dosažen u tepelných čerpadel země – voda průměrný sezónní topný faktor (SPF) 3,9 (<http://www.ise.fraunhofer.de/en/business-areas/energy-efficient-buildings/research-topics/electrically-and-heat-thermally-heat-pumps/projects/completed-projects/wp-effizienz>, cit. 2015-01-25).

Obrázek 5.3 Topný faktor tepelných čerpadel typu země - voda



Zdroj: (<http://www.ise.fraunhofer.de/en/business-areas/energy-efficient-buildings/research-topics/electrically-and-heat-thermally-heat-pumps/projects/completed-projects/wp-effizienz>, cit. 2015-01-25)

Teplovodní podlahové topení s tepelným čerpadlem má nejnižší provozní náklady, naopak investice do vybudování tohoto systému získávání tepla je nejvyšší. Z těchto údajů získaný výpočet návratnosti (Tabulka 5.30) vychází za hranici předpokládané životnosti zařízení. Přesto pokud přihlédneme k ekologickým hlediskům je možné i tuto variantu považovat za přijatelnou.

Tabulka 5.30 Doba návratnosti - teplovodní podlahové topení s tepelným čerpadlem

počet let	investice	úspora
28,81	301 037,80 Kč	10 450,12 Kč

Zdroj: Autorská práce

Zahrneme-li do výpočtu návratnosti časovou hodnotu peněz, dostáváme se na hodnotu 91 let. Z pohledu diskontované návratnosti se tedy jedná o variantu nepřijatelnou.

Čistá současná hodnota varianty uvedená v tabulce 5.31 je druhá nejhorší z hodnocených, protože nízké provozní náklady nedokáží za dobu předpokládané životnosti vyvážit vysokou počáteční investicí do zařízení.

Tabulka 5.31 Čistá současná hodnota - teplovodní podlahové topení s tepelným čerpadlem

rok	výdaje	CF	diskontní faktor	diskontované CF
	2,00%		5,27%	
	525 286,65 Kč	-525 286,65 Kč	1	-525 286,65 Kč
1	14 663,89 Kč	-14 663,89 Kč	0,9499383	-13 929,79 Kč
2	14 957,17 Kč	-14 957,17 Kč	0,9023827	-13 497,09 Kč
3	15 256,32 Kč	-15 256,32 Kč	0,8572078	-13 077,83 Kč
4	15 561,44 Kč	-15 561,44 Kč	0,8142945	-12 671,60 Kč
5	15 872,67 Kč	-15 872,67 Kč	0,7735295	-12 277,98 Kč
6	16 190,12 Kč	-16 190,12 Kč	0,7348053	-11 896,59 Kč
7	16 513,93 Kč	-16 513,93 Kč	0,6980196	-11 527,05 Kč
8	16 844,21 Kč	-16 844,21 Kč	0,6630756	-11 168,98 Kč
9	17 181,09 Kč	-17 181,09 Kč	0,6298808	-10 822,04 Kč
10	17 524,71 Kč	-17 524,71 Kč	0,5983479	-10 485,87 Kč
11	17 875,21 Kč	-17 875,21 Kč	0,5683936	-10 160,15 Kč
12	18 232,71 Kč	-18 232,71 Kč	0,5399388	-9 844,55 Kč
13	18 597,36 Kč	-18 597,36 Kč	0,5129085	-9 538,75 Kč
14	18 969,31 Kč	-18 969,31 Kč	0,4872314	-9 242,44 Kč
15	19 348,70 Kč	-19 348,70 Kč	0,4628398	-8 955,35 Kč
16	19 735,67 Kč	-19 735,67 Kč	0,4396692	-8 677,17 Kč
17	20 130,38 Kč	-20 130,38 Kč	0,4176586	-8 407,63 Kč
18	20 532,99 Kč	-20 532,99 Kč	0,3967499	-8 146,46 Kč
19	20 943,65 Kč	-20 943,65 Kč	0,3768879	-7 893,41 Kč
20	21 362,52 Kč	-21 362,52 Kč	0,3580202	-7 648,22 Kč
				-735 155,59 Kč

Zdroj: Autorská práce

6 ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ A DOPORUČENÍ

6.1 Celkový přehled variant a dosažených výsledků

Celkové zhodnocení výsledků ekonomických výpočtů zachycuje souhrnná Tabulka 6.1
Přehled výsledků variantních řešení otopné soustavy.

Zvýšené investiční náklady na variantu A. - Cirkulační teplovzdušné vytápění jsou kompenzovány druhými nejnižšími provozními náklady. Přesto je návratnost investice poměrně dlouhá, ale přijatelná ve vztahu k životnosti zařízení. Čistá současná hodnota je druhá nejlepší ze všech variant.

Z pohledu investiční náročnosti vychází vítězně varianta B. - Elektrické podlahové topení. Provozní náklady jsou jedny z nejvyšších, nicméně při nízké celkové spotřebě energie pasivního domu nejsou nepřijatelné, zejména pokud přihlédneme k dlouhým dobám návratnosti ostatních variant. Výhodnost varianty podtrhuje i nejlepší výsledek celkových vložených prostředků se započtením faktoru času v podobě čisté současné hodnoty.

Varianta C. - Teplovodní podlahové topení s krbovou vložkou je ekonomicky nepřijatelná, protože má druhou nejvyšší investici a zároveň nejvyšší provozní náklady. V porovnání s referenční variantou – elektrickým podlahovým topením je nenávratná. Také čistá současná hodnota investice je nejhorší ze všech variant.

Investičně nízko je varianta D. - Teplovodní podlahové topení s elektrokotlem, avšak provozně patří k dražším způsobům vytápění. Návratnost je tedy neúměrně dlouhá. Celkové investované prostředky za dobu 20 let se nachází uprostřed spektra variant.

Výrazně nejvyšší investici vyžaduje řešení variantou E. - Teplovodní podlahové topení s tepelným čerpadlem. Naopak provoz tohoto zdroje je nejlevnější. Doba, za níž se

provozními úsporami zaplatí vysoká investice, je však neúměrně dlouhá. Čistá současná hodnota investice je druhá nejhorší.

Tabulka 6.1 Přehled výsledků variantních řešení otopné soustavy

	Investiční náklady	Provozní náklady	CF (úspora)	Doba návratnosti	Diskont. doba návratnosti	Čistá současná hodnota
A. Cirkulační teplovzdušné vytápění	338 222 Kč	17 857 Kč	7 257 Kč	16	23	-593 786 Kč
B. Elektrické podlahové topení	224 249 Kč	25 114 Kč	referenční varianta	referenční varianta	referenční varianta	-583 679 Kč
C. Teplovodní podlahové topení s krbovou vložkou	392 998 Kč	25 843 Kč	-729 Kč	-231	nenávratná	-762 862 Kč
D. Teplovodní podlahové topení s elektrokotlem	307 166 Kč	25 042 Kč	72 Kč	1 150	>100	-665 565 Kč
E. Teplovodní podlahové topení s tepelným čerpadlem	525 287 Kč	14 664 Kč	10 450 Kč	29	90	-735 156 Kč

Zdroj: Autorská práce

6.2 Vícekriteriální analýza výsledků

Pro konečné vyhodnocení všech navrhovaných variant otopného systému je využita vícekriteriální analýza. Cílem této metody je získat pořadí variant podle profitu, který jejich realizace přinese. Prvním krokem vícekriteriální analýzy je stanovení kritérií, podle nichž budou varianty hodnoceny. Všechna kritéria však nejsou obvykle stejně důležitá. Důležitost kritéria využitelná ve výpočtu je vymezena jeho vahou. Vymezení vah je založeno na kvantitativním párovém srovnávání tzv. Saatyho metodě, kdy se srovnávají vždy páry kritérií a hodnocení se ukládá do tzv. Saatyho matice. Z matice je vypočítán užitek variant podle jednotlivých kritérií ve vztahu na jejich váhu. Podle takto získaných hodnot lze sestavit žebříček hodnocených variant otopného systému.

Z předchozích výpočtů není do hodnotících kritérií zahrnuta doba návratnosti, protože její hodnota u referenční varianty nemohla být vypočítána.

Prvním kritériem je tedy velikost základní investice do vybudování otopného systému. Druhým kritériem pak jsou provozní náklady, které jsou neméně důležité. Třetím kritériem je čistá současná hodnota jednotlivých variant, která charakterizuje veškeré náklady na každou z nich se započtením faktoru časové hodnoty peněz. Tento výpočet však závisí na těžko predikovatelných činitelích, jako je časová hodnota peněz a změna ceny energií, proto jeho váhu nelze přeceňovat. Čtvrtým a posledním kritériem je náročnost instalace. U tohoto kritéria bylo zvolena metoda určení pořadí následovně:

Za nejjednodušší je z tohoto pohledu považováno elektrické podlahové topení, které nevyžaduje složitou regulaci a je možné ho nainstalovat buď do skladby hrubých podlah, nebo přímo pod vrchní podlahovou krytinu (např. dlažbu či plovoucí podlahu).

Na druhé místo bylo zařazeno teplovodní podlahové topení s elektrokotlem, které je typově podobné předchozí variantě s tím rozdílem, že zdroj tepla je centrální.

Dalším v pořadí bylo určeno teplovzdušné cirkulační vytápění se solárními panely. Toto řešení s centrálním zásobníkem tepla je vzhledem k více zdrojům již poměrně náročné na regulaci systému. Navíc vyžaduje instalaci zmíněných solárních panelů a s nimi spojených rozvodů. Na druhou stranu v sobě spojuje řešení nuceného větrání s vytápěním dohromady.

Na čtvrté místo bylo zařazeno teplovodní podlahové topení s krbovou vložkou. Krb vyžaduje stavbu komína, který v ostatních variantách není nutný. Navíc využití krbu s jeho velkým výkonem je vzhledem k malým tepelným ztrátám objektu problematický z hlediska okamžitého přehřívání interiéru.

Konečně na poslední páté místo byl zařazen systém teplovodního podlahového topení s tepelným čerpadlem a centrálním zásobníkem tepla. Samotné tepelné čerpadlo je poměrně složitý systém s velkými nároky na regulaci. Dále předpokládá vybudování zemního kolektoru pro získávání tepelné energie.

Váhy kritérií jsou určeny metodou kvantitativního párového porovnávání kritérií (Saatyho metoda). K ohodnocení párových porovnání kritérií je použita následující stupnice:

- 1 - rovnocenná kritéria i a j
- 3 - slabě preferované kritérium i před j
- 5 - silně preferované kritérium i před j
- 7 - velmi silně preferované kritérium i před j
- 9 - absolutně preferované kritérium i před j

Preference aplikované na objasněná kritéria lze slovně popsat následovně:

Investiční náklady jsou slabě preferovány před provozními náklady.

Investiční náklady jsou silně preferovány před čistou současnou hodnotou.

Investiční náklady jsou slabě preferovány před náročností instalace.

Provozní náklady jsou silně preferovány před čistou současnou hodnotou.

Provozní náklady jsou silně preferovány před náročností instalace.

Čistá současná hodnota je slabě preferována před náročností instalace.

Na základě uvedených preferencí byla sestavena Saatyho matice $S = (s_{ij})$ dle vztahu 0 a zároveň byl proveden výpočet vah jednotlivých kritérií dle vztahů (3.26) a (3.27):

Tabulka 6.2 Saatyho matice

	Investiční náklady	Provozní náklady	Čistá současná hodnota	Náročnost instalace	b_i	v_i
Investiční náklady	1,00	3,00	5,00	3,00	2,590	0,49
Provozní náklady	0,33	1,00	5,00	5,00	1,699	0,32
Čistá současná hodnota	0,20	0,20	1,00	3,00	0,589	0,11
Náročnost instalace	0,33	0,20	0,33	1,00	0,386	0,07

Zdroj: Autorská práce

S použitím vztahů (3.28), (3.29) a (3.30) byla z výše uvedených hodnot přepočtena standardizovaná kritériální matice a nakonec proveden výpočet užítku jednotlivých variant

se započtením vah popsaných kritérií. Ze součtu užítku variant podle kritérií lze sestavit žebříček užitečnosti zkoumaných variant.

Tabulka 6.3 Užitek variant

Varianta	Investiční náklady	Provozní náklady	Čistá současná hodnota	Náročnost instalace	užitek	pořadí
A. Cirkulační teplovzdušné vytápění	0,31	0,23	0,11	0,04	0,68	2
B. Elektrické podlahové topení	0,49	0,02	0,11	0,07	0,70	1
C. Teplovodní podlahové topení s krbovou vložkou	0,22	0,00	0,00	0,02	0,23	5
D. Teplovodní podlahové topení s elektrokotlem	0,36	0,02	0,06	0,06	0,50	4
E. Teplovodní podlahové topení s tepelným čerpadlem	0,00	0,32	0,02	0,00	0,34	3

Zdroj: Autorská práce

Výsledkem vícekritériální analýzy je pořadí variant podle jejich užítku:

1. B. Elektrické podlahové topení
2. A. Cirkulační teplovzdušné vytápění
3. E. Teplovodní podlahové topení s tepelným čerpadlem
4. D. Teplovodní podlahové topení s elektrokotlem
5. C. Teplovodní podlahové topení s krbovou vložkou

ZÁVĚR

Práce se skládá ze tří hlavních částí. Část první se zabývá metodikou použitou pro zpracování dané látky. Ve své úvodní části je zaměřena na energetickou bilanci budov, vymezení technických předpisů používaných v této oblasti v ČR a v zahraničí a definici energeticky pasivního standardu podle těchto předpisů. Představuje software PHPP jako nástroj pro výpočet energetické bilance pasivních domů, který je dále využit pro technické výpočty. Ukazuje schéma energetické bilance budovy a flow chart procesu jejího výpočtu pomocí software PHPP. Dále popisuje metody a vztahy výpočtů jednotlivých faktorů nezbytných pro určení celkové spotřeby energie budovy. Počínaje tepelnými ztrátami a zisky, přes teplo potřebné pro ohřev teplé užitkové vody, až po pokrytí tepelných potřeb solárními kolektory a výkon tepelného čerpadla. Na technické metody navazuje specifikace vybraných ekonomických výpočtů určených pro hodnocení investice v podobě diskontované a jednoduché doby návratnosti a čisté současné hodnoty. Závěrem metodické části jsou definovány vztahy k vícekriteriální analýze, která je využita pro vyhodnocení získaných dat.

Část druhá prezentuje přehled řešené problematiky z dostupné literatury k zadanému tématu domů s nízkou spotřebou energie. Práce seznamuje s obecným rozdělením budov dle jejich spotřeby energie pro provoz a nastiňuje nejen historické kořeny vzniku tohoto typu výstavby v Evropských zemích, ale také současný stav dané oblasti v ČR. Rešerše dále uvádí některé podstatné jevy a principy související s tepelnou bilancí budov. Jmenuje využitelné zdroje tepla a popisuje systémy vytápění budov, jejich řízeného větrání a ohřevu vody, které jsou pak použity v navrhovaných variantách technického zařízení konkrétní budovy.

V praktické třetí části je použita projektová dokumentace konkrétní rozestavěné stavby. Práce demonstruje uplatnění principů a podmínek nízkoenergetické výstavby na návrhu konkrétní stavby. Zde se jedná zejména o tvar budovy, její orientaci a umístění na stavebním pozemku, o tepelně-technické vlastnosti použitých konstrukčních materiálů,

vymezení energetických potřeb a zdrojů apod. Pomocí metod popsanych v první části jsou provedeny nejprve technické výpočty, nezbytné pro určení konkrétní spotřeby energie dané budovy. Zajímavostí je vypočtená potřeba tepla na vytápění, která je menší, než potřeba tepla na ohřev vody. Na základě získaných údajů je navrženo pokrytí energetických potřeb zdroji tepla v pěti variantách. K jednotlivým variantám jsou provedeny propočty jak investiční, tak i provozní náročnosti. Každá z variant byla pomocí propočtů návratností a čisté současné hodnoty zhodnocena také ekonomicky. V závěru je potom provedeno vyhodnocení popsanych variant a jejich seřazení do sestupného žebříčku za použití vícekritériální analýzy získaných výsledků.

Cílem práce bylo navrhnout investičně a provozně vyvážené konstrukční a technologické řešení konkrétního pasivního rodinného domu, zejména pak jeho otopné soustavy. Na základě údajů z provedených technických výpočtů bylo navrženo celkem 5 konkrétních variant vytápění a ohřevu teplé užitkové vody. Primárním zdrojem energie je elektřina, topné dřevo, sluneční energie a geotermální energie. Zemní plyn není v místě realizace dostupný, tudíž není ve variantách zastoupen. Technická řešení topných soustav jednotlivých variant jsou navržena z vyzkoušených technologií běžně dostupných na trhu. Hodnocení bylo v souladu se zaměřením práce pojato úzce ekonomicky. Do úvahy bylo vzato i hledisko praktické realizovatelnosti. Naopak ekologická hlediska byla odsunuta do pozadí. Záměrně práce neuvažuje s využitím dotací, které by zkreslilo reálný ekonomický obraz porovnávaných variant. Navíc je dosažitelnost dotací obvykle časově i věcně omezená.

Významným faktorem v ekonomickém hodnocení je cena elektrické energie. Prakticky je ve všech variantách řešení použita elektrická energie jako záložní zdroj pro zajištění ohřevu teplé užitkové vody, v případě, kdy se z jakéhokoli důvodu nedostává energie z primárního zdroje. Elektřina je nenahraditelná také při provozu všech technologických zařízení (čerpadla, ventilátory, elektroventily, regulace, apod.) i pro chod běžného vybavení domácnosti. Součet těchto dvou složek energetické potřeby navrhovaného domu tvoří cca tři čtvrtiny potřeb veškeré energie. Z hlediska provozních nákladů je nedůležitější

zvolit otopný systém tak, aby bylo možno získat zvýhodněný tarif dodavatele elektrické energie. Tento efekt je ještě zesílen technickým vybavením nutným pro přeměnu energie. Technologie ohřevu vody elektrickou energií je poměrně jednoduchá a tudíž levná, ve srovnání se získáváním tepla spalováním biomasy, kde je potřeba zajistit prostor pro spalování, výměníky tepla, čerpadla, regulaci, a také vybudovat komín. Pokud tedy zbývající čtvrtinu potřeby tepla, kterou tvoří teplo pro vytápění, pokryjeme byt' z velmi levného zdroje, kterým je například v této práci zvolené topné dřevo, zvýšená investice nebude v požadované době umořena.

Ze získaných výsledků je zřejmé, že při velmi nízké potřebě tepla pro vytápění, které je díky izolaci u pasivních budov dosahováno, převažuje význam vstupní investice do zařízení před jeho provozními náklady. Je nasnadě, že tepelná pohoda a ohřev vody musí být v každé obytné budově zajištěn. Při nízké spotřebě energie však není nejpodstatnější cena za jednotku energie, ale spíše cena zařízení nezbytného pro její přeměnu, protože doby návratnosti každého navýšení investice s cílem úspory provozních nákladů jsou velmi dlouhé. Často se dostávají až za hranici životnosti pořizovaného zařízení.

Ze získaných dat lze vyvozovat obecný závěr, že z ekonomického hlediska je výhodnější varianta s menší investicí, protože při velmi nízké celkové spotřebě energie dosahované v pasivním domě, se zvýšená investice během životnosti zařízení z provozních úspor nevrátí.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

Monografické publikace tištěné

BÁRTA, Jan. *Manuál energeticky úsporné architektury*. Praha: Státní fond životního prostředí, 2010, 228 s. ISBN 978-80-904577-1-3.

BROŽOVÁ, Helena, Milan HRUŠKA a Tomáš ŠUBRT. *Modely pro vícekriteriální rozhodování*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2014. ISBN 978-80-213-1019-3.

DLUHOŠOVÁ, Dana. *Finanční řízení a rozhodování podniku: analýza, investování, oceňování, riziko, flexibilita*. 2. upr. vyd. Praha: Ekopress, 2008, 192 s. ISBN 978-80-86929-44-6.

DRÁBEK a POLÁCH. *Reálne a finančné investovanie firiem*. Zvolen: Vydavateľstvo TU, 2008. ISBN 978-80-228-1934-3.

DUFFIE, John A a William A BECKMAN. *Solar Engineering of Thermal Processes*. 3rd ed. Hoboken: John Wiley, 2006, xix, 908 s. ISBN 978-0-471-69867-8.

DUFKA, Jaroslav. *Hospodárné vytápění domů a bytů*. 1. vyd. Praha: Grada, 2007, 112 s. ISBN 978-80-247-2019-7.

FEIST, Wolfgang. *Innere Gewinne werden überschätzt. Sonnenenergie & Wärmetechnik*. 1994, roč. 1994, č. 1.

FEIST, Wolfgang. *Program pro navrhování pasivních domů: PHPP CZ verze 8*. Darmstadt, Germany: Passive House Institute, 2013.

FIALA, Petr. *Vícekriteriální rozhodování*. dotisk. Praha: Vysoká škola ekonomická, 1997, 316 s. ISBN 80-707-9748-7.

FOTR, Jiří a Ivan SOUČEK. *Investiční rozhodování a řízení projektů: jak připravovat, financovat a hodnotit projekty, řídit jejich riziko a vytvářet portfolio projektů*. 1. vyd. Praha: Grada, 2011, 408 s. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-3293-0.

FOTR, Jiří. *Podnikatelský plán a investiční rozhodování*. 1. vyd. Praha: Grada, 1995, 178 s. ISBN 80-856-2320-X.

HUDEC, Mojmir, Blanka JOHANISOVÁ a Tomáš MANSBART. *Pasivní domy z přírodních materiálů*. 1. vyd. Praha: Grada, 2013, 157 s. ISBN 978-80-247-4243-4.

HUDEC, Mojmir. *Pasivní rodinný dům: proč a jak stavět*. 1. vyd. Praha: Grada, 2008, 108 s. ISBN 978-80-247-2555-0.

MÁČE, Miroslav. *Finanční analýza investičních projektů: praktické příklady a použití*. 1. vyd. Praha: Grada, 2006, 77 s. ISBN 80-247-1557-0.

MURTINGER, Karel. *Úsporný rodinný dům*. 1. vyd. Praha: Grada, 2013, 112 s. Profi. ISBN 978-80-247-4559-6.

NAGY, Eugen. *Nízkoenergetický a energeticky pasivní dům*. Bratislava: Jaga group, 2009, 207 s. ISBN 978-80-8076-077-9.

NOVÁK, Jiří. *Vzduchotěsnost obvodových plášťů budov*. 1. vyd. Praha: Grada, 2008, 203 s. Stavitel. ISBN 978-80-247-1953-5.

PETRÁŠ, Dušan. *Nízkoteplotní vytápění a obnovitelné zdroje energie*. 1. vyd. Bratislava: Jaga, 2008, 207 s. ISBN 978-80-8076-069-4.

POČINKOVÁ, Marcela a Danuše ČUPROVÁ. *Úsporný dům*. 2., aktualiz. vyd. Brno: ERA, 2008, x, 182 s. ISBN 978-80-7366-131-1.

POLÁCH, Jiří. *Reálné a finanční investice*. Vyd. 1. Praha: C. H. Beck, 2012, xvi, 263 s. Beckova edice ekonomie. ISBN 978-80-7400-436-0.

PREGIZER, Dieter. *Zásady pro stavbu pasivního domu*. 1. vyd. Praha: Grada, 2009, 126 s. Stavitel. ISBN 978-80-247-2431-7.

QUASCHNING, Volker. *Obnovitelné zdroje energií*. 1. vyd. Praha: Grada, 2010, 296 s. Stavitel. ISBN 978-80-247-3250-3.

RŮČKOVÁ, Petra a Michaela ROUBÍČKOVÁ. *Finanční management*. 1. vyd. Praha: Grada, 2012, 290 s. Finanční řízení (Grada). ISBN 978-80-247-4047-8.

SMOLA, Josef. *Stavba a užívání nízkoenergetických a pasivních domů*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 2011, 352 s. Stavitel. ISBN 978-80-247-2995-4.

SVOZILOVÁ, Alena. *Projektový management*. 2., aktualiz. a dopl. vyd. Praha: Grada, 2011, 380 s. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-3611-2.

SYNEK, Miloslav. *Manažerská ekonomika*. 4., aktualiz. a rozš. vyd. Praha: Grada, 2007, 452 s. ISBN 978-80-247-1992-4.

ŠUBRT, Roman. *Tepelné mosty: pro nízkoenergetické a pasivní domy : 85 prověřených a spočítaných stavebních detailů*. 1. vyd. Praha: Grada, 2011, 222 s. Stavitel. ISBN 978-80-247-4059-1.

TYWONIAK, Jan. *Nízkoenergetické domy 3: nulové, pasivní a další*. 1. vyd. Praha: Grada, 2012, 195 s. Stavitel. ISBN 978-80-247-3832-1.

Dokumenty dostupné z internetu

CENTRUM PASIVNÍHO DOMU. *Plánovací nástroj PHPP 2007 CZ - česká verze* [online]. Brno: Centrum pasivního domu, 2015 [cit. 2015-01-18]. Dostupné z: <http://www.pasivnidomy.cz/planovaci-nastroj-phpp-2007-cz-ceska-verze/t326>

ČESKÁ NÁRODNÍ BANKA. *ARAD systém časových řad: Výnosy státních dluhopisů* [online]. Praha: Česká národní banka, 2015 [cit. 2015-02-14]. Dostupné z: http://www.cnb.cz/cnb/STAT.ARADY_PKG.PARAMETRY_SESTAVY?p_sestuid=375&p_strid=AEBA&p_tab=1&p_lang=CS

ČSN 73 0540-2. *Tepelná ochrana budov: Část 2: Požadavky*. 1.10.2011. Praha: Český normalizační institut, 2011. Dostupné z: <https://csnonline.unmz.cz/Detailnormy.aspx?k=89012>

ČSN EN ISO 6946. *Stavební prvky a stavební konstrukce - Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla - Výpočtová metoda*. 1.12.2008. Praha: Český normalizační institut, 2008. Dostupné z: <http://seznamcsn.unmz.cz/Detailnormy.aspx?k=82334>

DRUŽSTEVNÍ ZÁVODY DRAŽICE-STROJÍRNA S.R.O. *Akumulační nádrže typ NADO* [online]. Dražice: Družstevní závody Dražice-strojírna s.r.o., 2013 [cit. 2015-01-18]. Dostupné z: http://www.dzd.cz/images/download/Navod_NADO_9_2013.pdf

DRUŽSTEVNÍ ZÁVODY DRAŽICE-STROJÍRNA S.R.O. *Závěsné, svislé ohřívače vody - bojler* [online]. Dražice: Družstevní závody Dražice-strojírna s.r.o., 2014 [cit. 2015-01-04]. Dostupné z: http://www.dzd.cz/images/download/Navod_OKC_OKCE_OKC1m2.pdf

EKOWATT SPOLEČNOST S R. O. *Zásady výstavby nízkoenergetických domů* [online]. Praha: EkoWATT společnost s r. o., 2007 [cit. 2014-12-22]. Dostupné z: <http://www.ekowatt.cz/cz/informace/uspory-energie/zasady-vystavby-nizkoenergetickych-domu>

HAAS+SOHN RUKOV S.R.O. *Krbové vložky s výměníkem: Amadora s výměníkem* [online]. Rumburk: HAAS+SOHN Rukov s.r.o., 2015 [cit. 2015-01-04]. Dostupné z: <http://www.haassohn-rukov.cz/cz/produkty-a-sluzby/vyrobn-program/krbove-vlozky-s-vymenikem/amadora-s-vymenikem0671015000000.html>

LEVIS, Sarah. PASSIVE HOUSE INSTITUTE. *Passipedia - The Passive House Resource: PHPP – Passive House Planning Package* [online]. Darmstadt, germany: Passive House Institute, 2014 [cit. 2014-06-29]. Dostupné z: http://passipedia.passiv.de/passipedia_en/planning/calculating_energy_efficiency/phpp_-_the_passive_house_planning_package

MIARA, Marek. FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V.,. *WP-Effizienz* [online]. München, Germany: Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., 2015 [cit. 2015-01-25]. Dostupné z: <http://www.ise.fraunhofer.de/en/business-areas/energy-efficient-buildings/research-topics/electrically-and-heat-thermally-heat-pumps/projects/completed-projects/wp-effizienz>

NIBE ENERGY SYSTEMS CZ. *Tepelné čerpadlo NIBE F1126* [online]. Dražice: NIBE ENERGY SYSTEMS CZ, 2015 [cit. 2015-01-25]. Dostupné z: <http://www.nibe.cz/cs/tepelna-cerpadla-zeme-voda/tepelne-cerpadlo-nibe-f1126>

PORSENNA O.P.S. *Pasivní domy* [online]. Praha: PORSENNA o.p.s., 2015 [cit. 2015-01-20]. Dostupné z: <http://www.porsennaops.cz/cs/o-p-s/sluzby-a-produkty/pasivni-domy/>

TOPINFO S.R.O. *Přehled cen elektrické energie* [online]. Praha: Topinfo s.r.o., 2015 [cit. 2015-01-21]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/prehled-cen-elektricke-energie>

SEZNAM GRAFICKÝCH OBJEKTŮ POUŽITÝCH V PRÁCI

Seznam tabulek

Tabulka 3.1	Kritéria pasivního standardu dle TNI a PHPP	6
Tabulka 3.2	Hodnoty tepelného odporu konstrukce	10
Tabulka 3.3	Přehled metod hodnocení ekonomické efektivity investičních projektů doporučených vybranými autory	23
Tabulka 4.1	Základní vlastnosti pasivních budov	34
Tabulka 4.2	Základní požadavky na energeticky nulové budovy	35
Tabulka 5.1	Označení místností 1. NP	51
Tabulka 5.2	Označení místností 2.NP	52
Tabulka 5.3	Součinitele U stavebních konstrukcí	53
Tabulka 5.4	Měrná potřeba tepla pro vytápění – měsíční metoda 1. část	55
Tabulka 5.5	Měrná potřeba tepla pro vytápění – měsíční metoda 2. část	56
Tabulka 5.6	Potřeba tepla pro ohřev TUV	57
Tabulka 5.7	Pokrytí spotřeby tepla solárním systémem	58
Tabulka 5.8	Potřeba elektřiny ostatní	59
Tabulka 5.10	Energetické hodnocení objektu	60
Tabulka 5.10	Potřeba energie objektu	62
Tabulka 5.11	Řízené větrání s rekuperací tepla – investiční náklady	65
Tabulka 5.12	Teplovzdušné topení – investiční náklady	66
Tabulka 5.13	Teplovzdušné topení - provozní náklady	67
Tabulka 5.14	Doba návratnosti - cirkulační teplovzdušné vytápění	67
Tabulka 5.15	Diskontovaná doba návratnosti - cirkulační teplovzdušné vytápění	68
Tabulka 5.16	Čistá současná hodnota - cirkulační teplovzdušné vytápění	69
Tabulka 5.17	Elektrické podlahové topení - investiční náklady	70
Tabulka 5.18	Elektrické podlahové topení - provozní náklady	71
Tabulka 5.19	Čistá současná hodnota - elektrické podlahové topení	72
Tabulka 5.20	Teplovodní podlahové topení s krbovou vložkou - investiční náklady	74
Tabulka 5.21	Teplovodní podlahové topení s krbovou vložkou - provozní náklady	75
		99

Tabulka 5.22	Doba návratnosti - teplovodní podlahové topení s krbovou vložkou	76
Tabulka 5.23	Čistá současná hodnota - teplovodní podlahové topení s krbovou vložkou	77
Tabulka 5.24	Teplovodní podlahové topení s elektrokotlem – investiční náklady	78
Tabulka 5.25	Teplovodní podlahové topení s elektrokotlem - provozní náklady	79
Tabulka 5.26	Doba návratnosti - teplovodní podlahové topení s elektrokotlem	79
Tabulka 5.27	Čistá současná hodnota - teplovodní podlahové topení s elektrokotlem	80
Tabulka 5.28	Teplovodní podlahové topení s tepelným čerpadlem – investiční náklady	82
Tabulka 5.29	Teplovodní podlahové topení s tepelným čerpadlem – provozní náklady	83
Tabulka 5.30	Doba návratnosti - teplovodní podlahové topení s tepelným čerpadlem	84
Tabulka 5.31	Čistá současná hodnota - teplovodní podlahové topení s tepelným čerpadlem	85
Tabulka 6.1	Přehled výsledků variantních řešení otopné soustavy	87
Tabulka 6.2	Saatyho matice	89
Tabulka 6.3	Užitek variant	90

Seznam obrázků

Obrázek 2.1	Flow chart procesu výpočtu dle PHPP	8
Obrázek 2.2	Schéma energetické bilance	13
Obrázek 3.1	Škála energetické náročnosti domů.	32
Obrázek 4.1	Půdorys 1. NP	51
Obrázek 4.2	Půdorys 2. NP	52
Obrázek 4.3	Topný faktor tepelných čerpadel typu země - voda	84