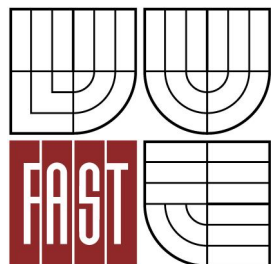




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV STAVEBNÍ EKONOMIKY A ŘÍZENÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF STRUCTURAL ECONOMICS AND MANAGEMENT

EKONOMICKÉ A ENVIRONMENTÁLNÍ HODNOCENÍ ENERGETICKY ÚSPORNÝCH OPATŘENÍ NA REZIDENČNÍCH BUDOVÁCH

ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL EVALUATION OF ENERGY SAVING MEASURES ON
RESIDENTIAL BUILDINGS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PAVLA DOSEDĚLOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. TOMÁŠ HANÁK, Ph.D.

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607R038 Management stavebnictví
Pracoviště	Ústav stavební ekonomiky a řízení

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Pavla Dosedělová
Název	Ekonomické a environmentální hodnocení energeticky úsporných opatření na rezidenčních budovách
Vedoucí bakalářské práce	Ing. Tomáš Hanák, Ph.D.
Datum zadání bakalářské práce	30. 11. 2011
Datum odevzdání bakalářské práce	25. 5. 2012
V Brně dne 30. 11. 2011	

.....
doc. Ing. Jana Korytářová, Ph.D.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Viturka, M: Základy environmentální ekonomie, Brno : ESF MU, 1997.

Moldán, B., Braniš, M.: Globální problémy životního prostředí, Portál, Praha, 2003.

Dahlsveen T., Petráš D., Hírš, J., Energetický audit budov, ISBN:80-88905-86-9

Vaverka J., Hírš J., Skotnicová I. a kol.: Stavební tepelná technika a energetika budov, VUTIUM, 2006

Zásady pro vypracování

Cílem práce je analyzovat energeticky úsporné trendy ve stavebnictví v souvislosti s jejich dopadem na životní prostředí, především s ohledem na svázané hodnoty energie a emisí CO₂, a následně formulovat závěry a doporučení vyplývající z provedené analýzy.

1. Moderní trendy v oblasti energeticky úsporných opatření ve stavebnictví.
2. Ekonomické hodnocení investic spojených se snižováním energetické náročnosti rezidenčních budov.
3. Dopady energeticky úsporných opatření na životní prostředí.
4. Analýza realizace energeticky úsporných opatření a jejich vlivu na životní prostředí na konkrétním příkladě.
5. Formulace závěrů a doporučení.

Předepsané přílohy

.....

Ing. Tomáš Hanák, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá energeticky úspornými opatřeními panelových domů, jejich vlivem na životní prostředí a ekonomickou efektivností. V teoretické části jsou jednotlivá opatření popsána a jsou definovány možné způsoby ekonomického a environmentálního hodnocení. Praktická část se zabývá dvěma již realizovanými případy zateplení panelových domů.

Klíčová slova

Energeticky úsporná opatření, zateplení, panelový dům, investice, úspora, čistá současná hodnota, doba návratnosti, emise, oxid uhličitý.

Abstract

The Bachelor Work goes into energy conservation measures of prefabricated blocks of flats, it deals with their effect on the environment and economic efficiency. In the theoretical part particular measures are described and possible economic and environmental assessment methods are defined. The practical part is devoted to two already realized cases of the thermal insulated prefabricated blocks of flats.

Keywords

Energy conservation measures, thermal building insulation, prefabricated block of flats, investment, saving, net present value, period rates of return on investment, emissions, carbon dioxide.

Bibliografická citace VŠKP

DOSEDĚLOVÁ, Pavla. *Ekonomické a environmentální hodnocení energeticky úsporných opatření na rezidenčních budovách*. Brno, 2012. 67 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební ekonomiky a řízení. Vedoucí práce Ing. Tomáš Hanák, Ph.D..

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně, a že jsem uvedl(a) všechny použité, informační zdroje.

V Brně dne 22.5.2012

.....
podpis autora

Poděkování:

Chtěla bych poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Tomášovi Hanákovi, Ph.D. za konzultace a řadu cenných rad při psaní této bakalářské práce.

OBSAH

1. ÚVOD	10
2. STAV BYTOVÉHO FONDU V ČESKÉ REPUBLICE	12
2.1 Situace v České republice v době výstavby panelových domů	12
2.2 Vládní programy finanční podpory v oblasti energetických úspor	13
2.2.3 Program Nový panel	13
2.2.4 Program Zelená úsporám	14
3 ENERGETICKY ÚSPORNÁ OPATŘENÍ.....	15
3.1 Zateplování obvodového pláště budovy	15
3.1.1 Součinitel prostupu tepla a odpor při prostupu tepla.....	15
3.1.2 Kontaktní zateplení fasády	17
3.1.3 Tepelné mosty	18
3.1.4 Výměna oken	18
3.1.5 Rekonstrukce střechy.....	19
3.1.6 Zasklení lodžii	20
3.1.7 Ekonomická efektivnost	20
3.1.8 Realizované projekty	21
3.2 Tepelná čerpadla	22
3.2.1 Topný faktor tepelného čerpadla.....	22
3.2.2 Zdroje tepla pro tepelná čerpadla	23

3.2.3	Ekonomika provozu.....	24
3.2.4	Vliv na životní prostředí.....	24
3.3	Solární energie	25
3.3.1	Tepelné solární kolektory	25
3.3.2	Fotovoltaické solární kolektory.....	26
3.3.3	Použití solárních systémů v Evropě	26
3.4	Monitoring energií	28
4.	EKONOMICKÉ HODNOCENÍ INVESTIC	29
4.1	Energetické audity.....	29
4.2	Průkaz energetické náročnosti budov.....	29
4.3	Ekonomika a ochrana životního prostředí.....	30
4.4	Ekonomické ukazatele.....	31
4.4.1	Čistá současná hodnota.....	31
4.4.2	Vnitřní výnosové procento.....	32
4.4.3	Prostá doba návratnosti.....	33
4.4.4	Diskontovaná doba návratnosti.....	33
5.	VLIV STAVEBNÍCH OPATŘENÍ NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ.....	35
5.1	Environmentálně energetické vazby	35
5.2	Trvale udržitelný rozvoj	35
5.3	Svázané hodnoty emisí skleníkových plynů.....	36
5.3.1	Hodnocení životního cyklu	38

6. POROVNÁNÍ REALIZACE ENERGETICKÝCH OPATŘENÍ KONKRÉTNÍCH PANELOVÝCH DOMŮ	39
6.1 Popis objektů a provedených opatření.....	39
6.2 Návratnost opatření z hlediska svázaných emisí CO ₂	41
6.2.1 Výpočet svázaných emisí CO ₂ materiálů použitých pro zateplení prvního objektu	41
6.2.2 Výpočet svázaných emisí CO ₂ materiálů použitých pro zateplení druhého objektu	45
6.2.3 Výpočet provozních emisí CO ₂	47
5.2.3 Doby návratnosti svázaných emisí CO ₂	49
6.3 Ekonomické hodnocení investice.....	49
6.3.1 Doba návratnosti.....	49
6.3.2 Čistá současná hodnota.....	54
6.3.3 Citlivostní analýza	56
7. ZÁVĚR.....	58
8. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	60
9. SEZNAM TABULEK.....	64
10. SEZNAM ILUSTRACÍ.....	66
11. SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	67

1. ÚVOD

Tématem této bakalářské práce je Ekonomické a environmentální hodnocení energeticky úsporných opatření na rezidenčních budovách. V dnešní době neustálého zdražování energií je toto téma velmi aktuální, navíc jde nejen o efektivní řešení úspory finančních prostředků vydaných za tepelnou energii, ale i o zlepšení tepelného komfortu obyvatel rezidenčních budov jak v zimním období, tak i v letním období. Nejhorší je situace v panelových domech postavených v sedmdesátých až devadesátých letech minulého století, proto se práce bude zabývat především jimi.

Kromě finančních úspor je velmi důležitým hlediskem pro provedení energeticky úsporná opatření také ochrana životního prostředí. Je zde snaha o zmenšení objemu produkce emisí oxidu uhličitého a dalších skleníkových plynů do ovzduší. Toho je dosahováno zmenšením objemu tepla potřebného pro vytápění a využíváním obnovitelných zdrojů energie.

Cílem této práce je zhodnocení energeticky úsporných opatření. Hlediskem je nejen ekonomická výhodnost investice, ale i environmentální aspekty, protože v současnosti je globálně kladen velký důraz na snižování dopadů na životní prostředí.

Práce se nejdříve věnuje bytovému fondu České republiky a legislativní podpoře energeticky úsporných opatření. Popisuje programy Nový panel a Zelená úsporám. V další části jsou popsána jednotlivá opatření, která lze provést s uvedením některých konkrétních realizovaných projektů. Největší prostor je věnován zateplování obvodového pláště budovy. V rámci této kapitoly je definován součinitel prostupu tepla a odpor při prostupu tepla. Dále je zde popsána problematika kontaktního zateplení, výměny oken, rekonstrukce střech nebo zasklení lodžii. Část je také věnována tepelným čerpadlům a solární energii. V následujících kapitolách jsou definovány způsoby hodnocení energeticky úsporných opatření z ekonomického a environmentálního hlediska a jsou vysvětleny pojmy jako energetický audit nebo průkaz energetické náročnosti budov.

Praktická část srovnává dva panelové domy v Olomouci, které byly zatepleny kontaktním zateplovacím systémem. Na domech bylo provedeno zateplení fasády a stropu mezi vytápěným a částečně nevytápěným podlažím, u prvního domu byla navíc provedena rekonstrukce střechy. Oba domy jsou postaveny v konstrukční soustavě T06-OL a jsou tedy snadno porovnatelné. Hledisky pro hodnocení jsou návratnost svázaných emisí CO₂, doba návratnosti investice a čistá současná hodnota pro hodnocené období projektu.

V závěru jsou popsány výsledky praktické části a formulována doporučení pro budoucí řešitele obdobných projektů.

2. STAV BYTOVÉHO FONDU V ČESKÉ REPUBLICE

Tato kapitola se zaměřuje na stav panelových bytových domů v České republice z historického hlediska. Je v ní vysvětlena stále aktuálnější potřeba energeticky úsporných opatření. Při rozhodování o provádění těchto opatření jsou pro investory důležitými kritérii mimo jiné i celkové investiční náklady a způsoby financování. Proto jsou v této kapitole popsány i vládní programy na podporu energetických úspor.

2.1 Situace v České republice v době výstavby panelových domů

Panelové bytové domy se v České republice začaly stavět v první polovině šedesátých let. Největšího boomu ve výstavbě bylo dosaženo mezi lety 1966 – 1975. Více než 30 % bytů z celkového bytového fondu se nachází v panelových domech. Hromadný způsob výroby panelových dílců vyžadoval typizaci. V bytové výstavbě se typizace uplatnila vytvářením stavebních soustav.

Prvním druhem je typizace objemová, která se objevila v šedesátých letech. Principem byla příprava projektové dokumentace pro menší počet objektů, které se později používaly na různých místech. Tato forma se používala po celé Evropě v době, kdy bylo potřeba rychle zvýšit počet bytů.

Další formou je typizace prvková. Typická je pro ni potřeba projektovat každý objekt zvlášť, protože typizované jsou jednotlivé prvky, ze kterých lze postavit domy různých tvarů. Toho však v praxi nebylo využíváno kvůli požadavkům na udržení nízkých cen bytů.

Téměř polovina panelových domů byla postavena stavebními bytovými družstvy. Tyto domy jsou obecně považovány za kvalitnější v porovnání se státními (dnes obecními) byty, protože technický dozor těchto staveb byl prováděn pečlivěji. [1]

V době výstavby panelových domů bylo teplo dotované státem, a proto se nedbalo na tepelné vlastnosti panelů nebo oken. Dnes je navíc důležitým hlediskem ochrana

životního prostředí, proto je důležité zabývat se energeticky úspornými opatřeními nejen z hlediska úspory peněz. [2]

2.2 Vládní programy finanční podpory v oblasti energetických úspor

O bydlení v panelových domech je stále zájem. Svědčí o tom snaha vlastníků o rekonstrukce a údržbu bytů a poptávka na trhu s byty v panelových domech. Vládními dotačními programy je na jedné straně snaha o zlepšení komfortu bydlení, na straně druhé se realizují energeticky úsporná opatření, s nimiž souvisí snižování emisí CO₂. [1]
[3]

Česká republika se spolu s dalšími průmyslově vyspělými státy v rámci Kjótského protokolu zavázala ke snížení emisí skleníkových plynů. Součástí protokolu jsou flexibilní mechanismy, které umožňují průmyslovým státům splnit část závazků alternativní cestou. Jedním z těchto mechanismů je obchodování s emisemi prostřednictvím emisních kreditů, jejichž prodejem získala Česká republika finanční prostředky na podporu energeticky úsporných opatření. [4]

2.2.3 Program Nový panel

Program Nový panel je realizován od roku 2009, kdy byla provedena novelizace nařízení vlády č.299/2001 Sb. Program je financován ze Státního fondu rozvoje bydlení, který je v působnosti Ministerstva pro místní rozvoj. [5]

Žadatelům lze po podání žádosti poskytnout zvýhodněnou bankovní záruku až ve výši 80% jistiny úvěru na opravu nebo modernizaci bytového domu. Je zde uvedena možnost volby mezi dvěma typy záruk.

M-záruka PANEL je poskytována v maximální výši 10 mil. Kč a to pouze u určitých bank, její vyřízení je však snazší. P-záruka PANEL je bez omezení výše poskytovaného úvěru. [6]

V rámci programu Nový panel došlo v roce 2011 k ukončení příjmu žádostí o podporu formou úrokových dotací. [5]

2.2.4 Program Zelená úsporám

Dotační program Zelená úsporám upravuje směrnice Ministerstva životního prostředí č. 9/2009 a je financován Státním fondem životního prostředí.

Hlavními cíli je snížení emisí CO₂, úspora tepla na vytápění, zlepšení podmínek pro bydlení nebo zvýšení výroby tepla z obnovitelných zdrojů. Program je tematicky rozdělen do tří částí. Část A se zabývá snížením spotřeby tepla na vytápění zateplením a patří sem i snížení spotřeby tepla na větrání výměnou otvorových výplní. V části B lze žádat o dotaci při výstavbě v pasivním energetickém standardu a část C se zaměřuje na využití obnovitelných zdrojů energie pro vytápění a přípravu teplé vody.

Příjem žádostí byl pozastaven ke dni 29. 10. 2010. V současné době probíhá vyhodnocování a vyplácení dotací k projektům, které byly podány před tímto datem. [3]
[7]

3 ENERGETICKY ÚSPORNÁ OPATŘENÍ

Odhadem se pro výstavbu a provoz budov využije 40% celkové spotřeby energie. Při hledání způsobu úspory finančních prostředků vynaložených za tepelnou energii lze narazit na dvě možnosti. První je snížení potřebného množství tepla pro vytápění, chlazení a ohřevu vody. Druhé řešení spočívá ve větší míře využití obnovitelných zdrojů energie, a to především sluneční a geotermální energie.

Při plánování energeticky úsporných opatření se očekává dosažení teplotního komfortu 20°C. Tato teplota je teplotou výslednou, která je dána aritmetickým průměrem součtu teploty vzduchu a teploty vnitřních ploch konstrukce. Je zde také požadavek na regulovatelnost tepelné soustavy, protože například zvýšení teploty o 1°C vede ke zvýšení spotřeby tepla o cca 6%. [8]

Takto kapitola se zabývá možnými způsoby energetické úspory v panelových domech a jsou zde uvedeny příklady objektů s takto provedenými opatřeními.

3.1 Zateplování obvodového pláště budovy

Žádné panelové dílce používané v České republice nesplňují dnešní normy na tepelnou ochranu budov. Zateplování je tedy přirozený důsledek snahy o zlepšení tepelných vlastností na požadovanou úroveň.

Zateplování kontaktními systémy zvyšuje tepelnou ochranu budovy a tím je snížena spotřeba energie nutná k vytápění. Díky tomu je umožněno používat úspornější otopné systémy a alternativní zdroje energie. [9]

3.1.1 *Součinitel prostupu tepla a odpor při prostupu tepla*

Součinitel prostupu tepla se udává v jednotkách $W/(m^2.K)$ a charakterizuje tepelně izolační schopnost konstrukce. V normě ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov, která nabyla platnosti 1. 10. 2011, jsou uvedeny doporučené a požadované hodnoty součinitele prostupu tepla konstrukcí. Odvozuje se z tepelného odporu konstrukce při prostupu tepla, který udává, jak je konstrukce schopna bránit úniku tepla.

$$U = \frac{1}{R_T} \tag{3-1}$$

Kde:

R_T ... tepelný odpor při prostupu tepla

Tepelný odpor je udáván v jednotkách (m².K)/W. Tepelný odpor při prostupu tepla se stanoví ze vztahu

$$R_T = R_{si} + R + R_{se} \tag{3-2}$$

Kde:

R_{si} ... odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce

R ... tepelný odpor konstrukce

R_{se} ... odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce

Hodnoty R_{si} a R_{se} jsou tabelovány.

Tepelný odpor konstrukce vyjadřuje tepelné izolační vlastnosti konstrukce. Pokud lze uvažovat jednorozměrné šíření tepla, lze tepelný odpor vypočítat ze vztahu:

$$R = \sum R_j \tag{3-3}$$

Kde:

R_j ... tepelný odpor j-té vrstvy konstrukce, stanovený ze vztahu

$$R_j = \frac{d_j}{\lambda_j} \tag{3-4}$$

Kde:

d_j ... tloušťka j -té vrstvy konstrukce v metrech

λ_j ... návrhový součinitel tepelné vodivosti materiálu j -té vrstvy konstrukce, ve W/(m.K) [10]

3.1.2 Kontaktní zateplení fasády

Kontaktní zateplování se ve většině případů provádí z vnější strany konstrukce. Tento způsob je vhodnější, protože tepelná izolace chrání konstrukci před teplotními výkyvy. V případě izolace provedené uvnitř by se teplota na vnitřní straně konstrukce blížila venkovní teplotě a docházelo by v letním období k přehřívání a v zimním období k podchlazování konstrukce. Tyto teploty by se mohly snadno přenášet na vnitřní povrch v místech tepelných mostů. Další nevýhodou vnitřního zateplení je možná tvorba plísní na vnitřním povrchu konstrukce.

Zateplením fasády dochází ke zmenšení dilatačních pohybů vlivem změny teplot. Tím získává konstrukce rezervu v únosnosti. Dalším pozitivem je přemístění kondenzační zóny do vnější části konstrukce. Zkondenzované množství páry bývá menší než u nezateplených budov a zateplení navíc nebrání vysychání v letním období. [9]

Vnější kontaktní zateplovací systém obsahuje lepicí hmotu, kotvicí prostředky, tepelnou izolaci, výztužnou vrstvu a povrchovou úpravu. Dle platné legislativy musí výrobky splňovat požadavky na bezpečnost, povinnosti při uvádění na trh a při používání jakož i další technické požadavky.

Tepelná izolace se dodává ve formě fasádních tepelně-izolačních desek. Jednou z nejdostupnějších izolací je zpeňovaný polystyren EPS. Používá se samozhášlivá varianta EPS-F. Jinou variantou jsou desky z minerální vlny. Mají lepší akustické a požárně technické vlastnosti, jsou však dražší a nehodí se do vlhkého prostředí. Poslední možností je extrudovaný polystyren XPS, který je hutnější než zpeňovaný polystyren a je nenasákový. Používá se v místech zatížených vlhkostí.

Aby bylo po zateplení panelových domů dosaženo doporučených hodnot součinitele prostupu tepla, je nutné izolovat obvodové stěny izolací o tloušťce 9 – 14 cm. Do tloušťky 20 cm izolace neprobíhá významné zvyšování nákladů, protože izolace do 20 cm se kotví v jedné vrstvě. Při použití větších tloušťek je nutné izolaci kotvit ve dvou vrstvách. To je výhodné kvůli potlačení tepelných mostů mezi deskami izolantu. Výrazně zde ale stoupají investiční náklady. Z ekonomického hlediska je zpravidla nejvhodnější volit tloušťku izolace mezi 12 – 20 cm. Z environmentálního hlediska je vhodnější použít větší tloušťky izolací z důvodu úspory energie a tím i snížení provozních emisí CO₂. Při požadavku na rekonstrukci domu do pasivního standardu je nutné použít tloušťku kolem 30 a více cm. [11]

3.1.3 Tepelné mosty

Tepelnými mosty proudí větší tepelný tok než v celé konstrukci. Nejčastěji se jedná o styky, spáry a spoje mezi jednotlivými konstrukcemi v obvodovém plášti.

Kvalitním provedením souvislé tepelné izolace lze zabránit vytvoření tepelných mostů. Je však důležité věnovat zvýšenou pozornost zateplení ostění oken, míst osazení balkonů nebo lodžii, spojení fasády se střechou nebo zateplení stěn a stropů suterénu.

V případě vnitřního zateplení nelze tepelné mosty zcela odstranit. Vznikají v místech přerušení tepelné izolace u stropů nebo kolem okenních ostění. V těchto místech bude s velkou pravděpodobností kondenzovat vodní pára, což může být příčinou vzniku plísní. Dalšími tepelnými mosty mohou být kovové předměty zapuštěné do obvodové stěny.

Případné tepelné mosty mohou také způsobit menší než očekávané snížení spotřeby energie na vytápění. [9]

3.1.4 Výměna oken

Při výstavbě panelových domů se používala dřevěná zdvojená okna. Součinitel prostupu tepla těchto oken se pohybuje mezi 2,7 a 3,0 W/m².K. Okna nebyla montována těsně, protože se počítalo s potřebou výměny vzduchu, který se však po provedení tohoto

opatření nedal regulovat. To mělo za následek ztráty energie a suchý vzduch nebo zatékání do bytů či propouštění do dřeva.

K výměně oken dochází často před skončením předpokládané životnosti, která byla původně u oken panelových domů odhadována na 40 – 50 let. Méně nákladným řešením je výměna vnitřního skla za izolační dvojsklo, čímž se zlepší vlastnosti o 25%. Při výměně oken je důležité dbát na certifikáty jakosti a prohlášení o shodě. V případě dovozu ze zahraničí je vhodné zjistit, zda byla okna vyrobena podle stejně přísných nebo přísnějších norem. [2]

Součinitel prostupu tepla u oken s izolačním dvojsklem se pohybuje mezi 1,8 a 2,0 W/m².K při plnění vzduchem. Při plnění argonem klesá součinitel na 1,5 – 1,9 W/m².K a pro okna s izolačním trojsklem dosahuje hodnoty až 0,6 W/m².K. Při porovnání prosté návratnosti a celkové finanční úspory je rozdíl mezi okny s dvojskly a trojskly neutrální. [12]

3.1.5 Rekonstrukce střechy

Důvody pro rekonstrukci střechy při regeneraci panelových domů jsou tepelně technické nedostatky a poruchy. Střecha se nejčastěji rekonstruuje kvůli opravě hydroizolační funkce a je výhodné spojit opravu i se zateplením. Před rekonstrukcí je důležité komplexní posouzení stávajícího stavu konstrukcí a rozhodnout se pro šikmou nebo plochou střechu. V dnešní době existují systémy plochých střech, které mají vyhovující životnost a jejich provedení je finančně výhodnější než provedení šikmých střech. Navíc pohyb po ploché střeše je bezpečný, tak zde nevzniká žádný problém při montáži antén a jiných zařízení. [2]

Sanaci střechy lze provést mnoha způsoby. V případě rekonstrukcí plochých střech bývá v poslední době častou volbou forma střecha plus, kdy se ponechá původní střešní souvrství a přidají se nové vrstvy izolace a krytiny. Podobně se řeší i tzv. inverzní střecha plus. Na stávající souvrství se přidá souvrství v opačném pořadí vrstev. Nejdříve se položí hydroizolace, na ni tepelná izolace a zatížení. Tento způsob se používá při problémech s kondenzací vodních par. Při rekonstrukci původní dvouplášťové střechy se často horní plášť odstraňuje a pokračuje se jako v případě rekonstrukce formou

střecha plus. V případě betonového horního pláště by byla demontáž nákladná, lze tedy postupovat uzavřením provětrávané dutiny a opět pokračovat v rekonstrukci metodou střecha plus.

Zateplení střechy nelze posuzovat čistě z hlediska úspory energie, protože rekonstrukce střechy se provádí hlavně z důvodu obnovy hydroizolační funkce střechy a vložení tepelné izolace je pouze výhodné doplnění. Celkový finanční přínos se odvíjí od výšky budovy, protože energetické úspory se týkají pouze bytů umístěných přímo pod střechou a při rozpočítání úspor na všechny byty je úspora větší u domů s menším počtem podlaží. [12]

3.1.6 Zasklení lodžii

Zasklení lodžie zvyšuje dobu její využitelnosti v průběhu roku. Zasklením se navíc sníží únik tepla, a tím se zvýší teplota v návazné místnosti o 2-3°C a sníží se průnik zvuku o 6 dB. Další výhodou může být snížení prašnosti. Provedená opatření zvyšují užitnou plochu bytu. Lodžii ale nelze vytápět a není izolovaná, takže v zimě promrzá. Navíc může dojít ke zhoršení osvětlení návazné místnosti.

Nezbytně nutné je větrání lodžii z důvodu zabránění vzniku plísní vlivem vlhkosti. Z tohoto důvodu jsou obvykle mezi skly 2 mm mezery. [13]

3.1.7 Ekonomická efektivnost

Náklady na realizaci po určité době vyrovná menší spotřeba energií na vytápění. S menší spotřebou tepla se pojí další výhody. Sníží se množství CO₂ a dalších škodlivých látek produkovaných do ovzduší. Kromě ochrany životního prostředí to znamená také zmenšení poplatků, které jsou povinni platit vlastníci zdrojů tepla (poplatky za emise).

Tím, že se dosáhne snížení tepelné ztráty budovy, je možné dimenzovat menší vytápěcí a otopná zařízení. Dojde tedy k další úspoře při pořízení. [14]

Kvalita provedení a z ní vyplývající úspora tepla jsou odvislé od lidského faktoru. Chyby mohou vznikat v různých etapách procesu a projevují se v důsledku nedbalého

přístupu k realizaci a nedostatečných vědomostí o zateplování. Nejčastějšími chybami jsou chyby v návrhu zateplení, zateplování vlhkého zdiva, chyby v kotvení a používání nesourodých komponentů. Celkovou úsporu tepla může ovlivnit i nestabilní otopná soustava. Otopnou soustavu je nutné upravit tak, aby nedocházelo k přetápění. [15]

3.1.8 Realizované projekty

Prvním příkladem je Bytové družstvo Orlová, které v období 1996 – 2007 provedlo celkovou revitalizaci panelových domů ve vlastnictví družstva. V první fázi energetických opatření byly v domech osazeny termostatické ventily a v další fázi se postupně začaly zateplovat fasády. V roce 1998 došlo u prvního domu k zasklení lodžii. Spotřeba tepla v objektu klesla o 21,4 % a tím stoupl zájem o toto opatření. Od roku 2001 jsou pro opravy domů využívány úvěry z programu Panel. Využívají se na zateplení obvodových plášťů, střech a strojoven výtahů, výměnu oken a pro další opatření. Do roku 2007 bylo revitalizováno 93,7 % bytového fondu. Celkové investiční náklady jsou 873 000 000 Kč. Po provedení opatření je průměrná spotřeba tepla 0,245 GJ/m²/rok. Dosažením této spotřeby se náklady na vytápění snížily o 32,75 Kč/m²/rok, i když mezi roky 1996 a 2007 došlo ke zdražení tepla o 98,5 %. Do roku 2007 se úspory pohybovaly kolem 234 milionů korun. Tyto úspory převádí družstvo do fondu oprav formou snižování záloh na topení. [16]

Dalším příkladem je regenerace panelových objektů na sídlišti Nový Lískovec v Brně. Tato regenerace započala v roce 1999 a byla podporována půjčkami s podporou úroků z programu Panel. Prvním krokem bylo zpracování energetických auditů, poté byly zahájeny práce na projektu. Pro zateplení fasády byla zvolena tloušťka izolace 16 cm (v té době se běžně zateplovaly štítové zdi izolací o tloušťce 4 – 5 cm) a byl použit pěnový polystyren. Kvůli tomu bylo nutné předsazení nových oken do líce fasády. Byla zvolena dřevěná eurookna se součinitelem prostupu tepla $U = 1,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$. Zajímavým prvkem bylo zateplení fasády suterénu až pod úroveň terénu extrudovaným polystyrenem tloušťky 6 cm a zateplení podhledu sklepních prostor minerální vlnou. Na zateplení střechy byl použit pěnový polystyren tloušťky 30 cm a byly vyměněny balkony. Kvůli minimalizaci tepelných mostů byly zvoleny ocelové balkóny se zavěšením na fasádu před izolaci. Investiční náklady se pohybovaly mezi 370 000 – 550 000 Kč na byt, podle

velikosti bytu a počtu bytů v domě. Tato cena také zahrnuje nahrazení původních bytových jader. Díky úsporám energie se zpomaluje růst nákladů na bydlení. Náklady na vytápění se nezvýšily o 70 % jako cena tepla, ale pouze o 20 %. Spotřeba tepla k vytápění a ohřevu teplé vody klesla až o 63 %. [17]

3.2 Tepelná čerpadla

Tepelné čerpadlo využívá přírodní teplo o nízké teplotě, tzv. nízkopotenciální teplo, pro běžné vytápění je však nepoužitelné. Převádí ho na teplo s vyšší teplotou vhodné pro vytápění nebo ohřev vody.

Teplota varu látek závisí na tlaku. Toho se využívá při chlazení tepelných čerpadel. Nejčastěji se jako chladiva používají směsi různých typů freonů. Jejich výhodami jsou nehořlavost a nejedovatost, hlavní nevýhodou je účinek na ozónovou vrstvu Země. Alternativou k freonům může být propan, který je ale hořlavý, nebo CO₂.

Kapalina, které bylo dodáno okolní teplo, se odvádí do výparníku. Ve výparníku je nižší tlak, takže se kapalina může přeměnit na páru. Tím spotřebuje teplo, které odebírá chlazené látce. Následně je chladivo kompresorem stlačeno na vyšší tlak, aby poté mohlo v kondenzátoru zkondenzovat a vzniklé teplo předat ohřívané látce, kterou bývá často voda ústředního topení. V poslední fázi se ve škrtkém ventilu sníží tlak na výchozí hodnotu, aby bylo umožněno opakovat cyklus. [18]

3.2.1 Topný faktor tepelného čerpadla

Základním parametrem tepelného čerpadla je topný faktor (Coefficient of Performance), který se stanoví poměrem topného výkonu tepelného čerpadla a jeho elektrického příkonu. Topný faktor se během roku mění v závislosti na změnách teplot zdroje. Tyto změny mohou způsobit i kolísání výstupní teploty z čerpadla. Obecně ale platí, že čím vyšší topný faktor, tím je levnější provoz čerpadla. Topný faktor dosahuje lepších hodnot, když je teplota výstupní vody nižší, proto je vhodné instalovat s teplenými čerpadly podlahové topení, které využívá vodu o nižší teplotě, než se používá v radiátorech.

Dimenzovat čerpadla na maximální výkon, tedy pro nejnižší teploty, je neekonomické, protože je nutné pořídit výkonnější, a tedy i dražší čerpadlo, hlubší vrt nebo větší kolektor. Proto je pro tento způsob vytápění typický bivalentní provoz, kdy po určitou dobu v roce vyrábí teplo kromě tepelného čerpadla i další zdroj. Tímto zdrojem bývá často elektrokotel, ale může jím být i plynový kotel či krb nebo interiérová kamna. Tento tzv. špičkový zdroj slouží i jako záloha pro možné výpadky tepelného čerpadla. [18]

3.2.2 Zdroje tepla pro tepelná čerpadla

Tepelná čerpadla mohou jako svůj zdroj využít vodu, vzduch a podloží.

Při čerpání tepla z podloží je důležitým kritériem tepelná vodivost hornin, kterou posuzujeme vhodnost dané lokality. Teplo se z podloží získává pomocí vrtů v hloubce od 50 m do 150 m, kde je vedená polyetylenová hadice kolektoru, ve které proudí nemrzoucí kapalina. Jiným možným řešením je využití půdního kolektoru, kdy se půda ochlazuje tepelným výměníkem uloženým v hloubce kolem 1,5 m. Oproti hlubinným vrtům má menší topný faktor, který ale kompenzují nižší pořizovací náklady.

Jako zdroj lze využít spodní i povrchovou vodu. Podzemní voda se odebírá ze zdrojové studny a po ochlazení se vrací zpět vsakovací studnou. Tento způsob je výhodný zejména pro stálou teplotu vody během celého roku, která se pohybuje mezi 8°C a 10°C. Před prováděním je nutný hydrogeologický průzkum. Vlastní vrt je podle zákona č. 254/2001 Sb. považován za vodní dílo a vyžaduje tedy územní rozhodnutí a stavební povolení. Povrchová voda je méně vhodná, protože její teplota v zimním období je nízká, zamrzá a bývá znečištěná. V praxi je její využití pouze výjimečné.

V poslední době se jako zdroj tepla využívá čím dál více okolní vzduch. Pořizovací náklady u tohoto způsobu jsou nižší, protože nepotřebují vrty nebo kolektory. Vzduchová tepelná čerpadla jsou schopná pracovat do teplot -15°C. Pro nižší teploty je nutné mít další zdroj vytápění. Často se pro tyto případy využívá elektrokotlů. [18]

3.2.3 Ekonomika provozu

Tepelné čerpadlo svým provozem snižuje energetickou potřebu zdroje tepla u výrobce elektrické energie a tím i celkové provozní náklady za vytápění v objektu.

Provoz tepelného čerpadla také umožňuje odebírat elektřinu pro provoz domácnosti za nižší cenu. Pro tepelná čerpadla platí tato sazba 22 hodin za den. Při využívání jiných způsobů vytápění elektřinou je tato sazba kratší a při vytápění jinými způsoby je vřechen odběr elektřiny ve vysokém tarifu.

V současné době mají maloodběratelé, kromě domácností, instalovány dva elektroměry a nižší sazba pro ně platí pouze pro odběr tepelným čerpadlem a elektrokotlem. Pokud by se tento způsob měl rozšířit i na domácnosti, odpadla by výhoda pro využití levné elektřiny pro provoz domácnosti.

Ekonomicky výhodné je před výměnou zdroje tepla snížit spotřebu tepla na vytápění zateplením, výměnou oken, aj. a následně nadimenzovat tepelné čerpadlo. Tím se lze vyhnout předimenzování, které by znamenalo vyšší pořizovací náklady a náklady na provoz. [18] [19]

3.2.4 Vliv na životní prostředí

Tepelné čerpadlo z 60 až 70% využívá přírodní energii. Snižuje emise tím, že samo žádné emise neprodukuje a zařízení vyrábějící potřebnou elektrickou energii pro chod tepelného čerpadla jí může vyrobit méně právě o tu část, kterou získá z přírodních zdrojů.

Tepelná čerpadla se výrazně méně podílejí na těžbě uhlí a produkci CO₂. Výrazný vliv na životní prostředí mají chladiva. Nejčastějšími chladivy používanými v tepelných čerpadlech jsou freony, které poškozují ozónovou vrstvu. Největší hrozbu představují tvrdé freony (CFC), které se již nepoužívají, ale lze na ně narazit u starších tepelných čerpadel. Měkké freony se dělí na dvě skupiny, z nichž jedna má na ozónovou vrstvu mnohem menší vliv a druhá je pro ozón zcela neškodná, ale patří mezi skleníkové plyny. [18]

3.3 Solární energie

Rozhodujícím argumentem pro solární opatření je šetrnost k životnímu prostředí. Provedení také může znamenat určité architektonické vylepšení a může nahradit 20 – 50% tepla k vytápění a 50 – 70% k ohřevu teplé vody v domácnosti. energii ze slunce nelze vyčerpávat, nevýhodou však je nestabilita její dispozice a závislost intenzity na roční a denní době. Z hlediska využití solární energie jsou směrodatné hodnoty doby a intenzity slunečního záření. Počet hodin slunečního svitu se v České republice pohybuje v rozmezí 1331 – 1844 hodin za rok. Intenzita slunečního záření je 950 – 1200 kWh/m² za rok. Pro využívání solární energie jsou typické vysoké pořizovací a nízké provozní náklady. To často vede k neprovedení opatření. Možným řešením je přenechat stavbu a provoz zařízení soukromému investorovi nebo energetickému distributorovi a potom odebírat teplo a elektrickou energii za výhodnější cenu. Problémem opatření na snižování spotřeby energie je také situace v nájemních bytech. Pronajímatel vynaloží investice, ale užitek z nich má nájemník z hlediska uspořené peněz za vytápění.

Solární energie je využívána pomocí tepelných a fotovoltaických kolektorů. Kolektory se montují na jižní fasády nebo na jižní stranu střechy. Tyto plochy nesmí být zastíněné, aby nedocházelo ke zbytečnému snížení energetického zisku. Z hlediska finanční úspory je vhodné provádět instalaci kolektorů současně se zateplením fasády či střechy. [20]

3.3.1 Tepelné solární kolektory

Jedná se o nejrozšířenější využití solární energie. Slouží k ohřevu vody a vytápění místností. Energie se na střeše nebo fasádě získá pomocí absorberu. Tou se napájí ohřívače vody nebo zásobníky otopného systému. Absorbéry jsou desky nebo trubice uvnitř kolektoru, kde se sluneční záření přeměňuje na tepelnou energii.

Tepelný kolektor potřebuje pro svůj provoz akumulátor energie, pro který musí být místo v budově. Důležité je umístit akumulátor tak, aby délka vedení mezi ním a akumulátorem byla co nejmenší. Tímto opatřením se regulují tepelné ztráty.

Nejčastěji se používají ploché a vakuové solární kolektory. V plochých kolektorech je záření zachyceno absorberem, kde se přímo přemění na tepelnou energii, která je pomocí teplonosné látky odvedena do výměníku, kde se spotřebovává k ohřevu vody. Ve vakuových kolektorech se energie získává vakuovanou trubicí a přeměňuje se na tepelnou energii. V průběhu tohoto procesu se vypařuje teplonosná látka a je vedena do kondenzátoru, kde dochází k ohřevu vody. Vakuové kolektory jsou výkonnější avšak dražší než ploché. [20]

3.3.2 Fotovoltaické solární kolektory

Kolektory se skládají ze solárních článků, které mohou být monokrystalické, polykrystalické nebo amorfni. Liší se mezi sebou účinností, která je největší u monokrystalických článků. V solárním článku se přeměňuje solární energie na elektrickou díky fotovoltaickému jevu. Tento jev probíhá nehlukně a bez emisí. Nejčastěji se fotovoltaické kolektory montují na šikmé a ploché střechy. Díly se upevňují na kovových konstrukcích nad krytinou střechy nebo se konstrukční díly střechy nahrazují solárními moduly. Při použití krystalických článků, které na svou výrobu spotřebují největší množství energie, se energetický výdaj zpětně vynahradí po 1,8 – 3,6 letech. Pokud budeme navíc uvažovat, že životnost zařízení je 30 let, vyrobí se 8krát až 25krát více energie než bylo potřeba na výrobu panelu. [21]

3.3.3 Použití solárních systémů v Evropě

Zpravidla se instalace solárních systémů provádí po celkové revitalizaci bytového domu. Návrh celkového počtu kolektorů probíhá na základě denní spotřeby teplé vody v objektu. Lze také použít údaje o počtu osob, žijících v bytovém domě, a údaje o průměrné spotřebě teplé vody na osobu a den.

Česká republika má mnohaleté zkušenosti s provozováním solárních systémů. Z bytových domů je možné uvést příklad panelového domu na ulici Hudečkova v Praze 4 – Podolí. Byl zde navržen a instalován solární systém pro ohřev teplé vody z 26 plochých solárních kolektorů KPS11. Tyto kolektory jsou pro ohřev teplé vody využívány nejčastěji. Na daném objektu jsou umístěny na ploché dvouplášťové střeše, kde jsou umístěny na nosné ocelové konstrukci, která je kotvená do střešního

železobetonového panelu. Tento bytový dům má vlastní plynovou kotelnu, ve které probíhá ohřev teplé vody i ohřev vody pro vytápění. V nové technické místnosti jsou umístěny dva zásobníky teplé vody o objemu 750 l a 1000 l. Z nich je teplá voda vedena měděným potrubním do stávající kotelny, kde dochází k dohřevu. Díky provedenému opatření dochází k roční energetické úspoře na přípravu teplé vody ve výši 138 GJ/rok. Návratnost solárního systému je stanovena na 10 let. Počáteční investice byla 1 041 741 Kč, přičemž se předpokládá zdražování energie o 7 % za rok.

Dalším příkladem je bytový dům Husova v Nové Roli u Karlových Varů. Zde byl ponechán původní systém pro přípravu teplé vody a je využíván pro dohřev na požadovanou výstupní teplotu. V tomto případě byly použity opět kolektory KPS11. 28 plochých panelů bylo umístěno na šikmé střeše objektu. Byla též vytvořena nová technická místnost, kde byly instalovány tři zásobníky teplé vody. Spotřeba energie se snížila o 149 GJ/rok. Při počáteční investici ve výši 1 200 000 Kč je návratnost vypočítána přibližně na 8 let.

Předpokládaná životnost těchto zařízení je více než 25 let. Investice do solárních zařízení je tedy další možností, jak snížit závislost provozu objektu na stále rostoucích cenách energií. [22]

V zahraničí je možnost setkat se i s rozsáhlejšími projekty. V Oederan, což je město východně od Saské Kamenice, bylo po provedení zateplení budov a nahrazení staré kotelny na hnědé uhlí instalováno na několik domů solární zařízení pro přípravu teplé vody. Jedná se historicky o první použití těchto zařízení pro panelové sídliště. Kolektory byly připevněny na jižních stranách sedlových střeš a teplá voda je předávána do zásobníku o objemu 4 500 litrů. Investiční náklady na jeden kolektor jsou v tomto případě nižší než investiční náklady při navrhování kolektorů na samostatné domy. Použití solární techniky na velkých sídlištích je tedy ekonomicky výhodné. Solární zařízení pokrývá 77 % potřeby energie na ohřev teplé vody. Pokrytí kolísá mezi 30 % v lednu a 90 % v květnu až září. [20]

3.4 Monitoring energií

Energetický management je další opatření, které vede k úspoře energií. Monitoring energií vyhodnocuje spotřebu energií v budově a porovnává je s hodnotami danými energetickým auditem. K tomuto srovnání slouží tzv. E-t křivka, která zaznamenává vztah mezi průměrnými sedmidenními venkovními teplotami a spotřebou energie vztahenou na jednotku plochy za stejné období. E-t křivka se skládá z lineární a konstantní části. Lineární část se vykresluje v otopné sezóně, kdy je spotřeba energií závislá na venkovní teplotě. Konstantní část křivky představuje letní období, kdy je nejvíce energie konstantně spotřebováváno na ohřev teplé vody.

Hodnoty E-t křivky jsou porovnávány s aktuálními sedmidenními hodnotami a sledují se odchylky. Pokud k nějaké odchylce dojde, je nutné na ni zareagovat a odstranit příčinu. Možnými příčinami odchylek můžou být u vytápění dlouhodobě otevřená okna, špatné nastavení termostatických ventilů nebo netěsnosti v rozvodech vytápění. [23]

4. EKONOMICKÉ HODNOCENÍ INVESTIC

V úvodní části této kapitoly je vysvětlen význam energetického auditu, jako možného způsobu určení nejhodnější varianty energetického opatření a průkazů energetické náročnosti budov. Dále jsou definovány ekonomické ukazatele, kterými jsou doba návratnosti, čistá současná hodnota a vnitřní výnosové procento. Těmito ukazateli je zjišťována ekonomická efektivnost daných opatření.

4.1 Energetické audity

Energetický audit je způsob určení stavu využívání energií. Je studií proveditelnosti navržených energeticky úsporných opatření. Snaží se omezit emise oxidu uhličitého zvyšováním energetické účinnosti. Z provedeného energetického auditu se lze dozvědět o efektivnosti využívání energií a o energetických ztrátách a jejich lokalizaci. Energetický audit také stanovuje cíle, které vedou ke zvyšování efektivnosti využívání energií a navrhne úsporná opatření tak, aby byly pro zadavatele co nejoptimálnější. Zákon stanovuje, že tyto návrhy je nutné zpracovat minimálně ve dvou variantách.

Povinnost energetického auditu udává zákon č. 406/2000 o hospodaření energií. Nejčastěji je audit vyžadován jako příloha k žádostem o různé programy podpor. Vyhodnocení se provádí písemnou zprávou o energetickém auditu, jejíž forma a obsah jsou stanoveny vyhláškou Ministerstva průmyslu a obchodu 213/2001 Sb., kterou se vydávají podrobnosti náležitostí energetického auditu, ve znění vyhlášky 425/2004 Sb.

Energetický audit vykonává energetický auditor. Energetický auditor je fyzická osoba zapsaná do seznamu energetických auditorů vedeného Ministerstvem průmyslu a obchodu. Auditor je nezávislá osoba. [24]

4.2 Průkaz energetické náročnosti budov

Budovy musí splňovat požadavky na energetickou náročnost, které jsou stanoveny ve vyhlášce č. 152/2001 Sb. Dokládají se průkazem energetické náročnosti budov a jsou přílohou dokumentace při výstavbě nových budov, při větších změnách dokončených

budov s celkovou podlahovou plochou nad 1 000 m², které ovlivňují jejich energetickou náročnosti a při prodeji nebo nájmu těchto budov.

Tento průkaz bude tedy dokládat splnění požadované energetické náročnosti nejen při výstavbě, ale také při každém jejím převodu nebo nájmu.

Od roku 2006 vešla v České republice v platnost Směrnice Evropského parlamentu a Rady č. 2002/91/ES o energetické náročnosti budov. Tato směrnice neuvažuje energetickou spotřebu jen jako pasivní ztráty tepla obvodovými konstrukcemi, ale uvažuje celkové energeticky úsporné řešení budov včetně chlazení, větrání, ohřevu vody, ventilace i využití alternativních zdrojů energie. [24]

4.3 Ekonomika a ochrana životního prostředí

Uvědoměním si hodnoty čistého životního prostředí a přírody vznikla environmentální ekonomie. Zabývá se ekonomickými aspekty tvorby a ochrany životního prostředí. Problémem tržní ekonomiky v souvislosti s ochranou životního prostředí je existence veřejných a soukromých statků tedy společného majetku a externalit.

Společný majetek se stává problémem v případě vyčerpání nebo degradace přírodních zdrojů z důvodu rozporu mezi kolektivními a individuálními zájmy. Tyto problémy mohou být vyřešeny privatizací zdroje, což motivuje vlastníky k péči o zdroj, regulací využívání zdroje externí silou nebo kolektivní smlouvou mezi uživateli.

Externality jsou vnější účinky ekonomického rozhodnutí, kdy část nákladů za dopady nese někdo jiný než původce. V oblasti životního prostředí převažují negativní externality. Poškození životního prostředí se neprojevuje na konečných cenách produkovaných výrobků nebo služeb. [25]

Energeticky úsporná opatření ale přináší všeobecný prospěch ve formě menší zátěže životního prostředí snížením spotřeby tepla. V tomto případě se tedy jedná o pozitivní externality a je proto důležité je podporovat z veřejných zdrojů.

4.4 Ekonomické ukazatele

Ekonomická efektivnost investic se měří penězi, proto její výpočet neobsahuje penězi neměřitelné veličiny, mezi které patří i veličiny měřící dopady na životní prostředí. Pro výpočet ekonomických ukazatelů je nutné znát především celkové investiční náklady, předpokládanou dobu životnosti opatření, náklady na vytápění a ohřev teplé vody a velikost úspor energie.

4.4.1 Čistá současná hodnota

Čistá současná hodnota (NPV, z anglického Net Present Value) je nástrojem k hodnocení ekonomické efektivnosti v delším časovém období. Principem je převedení budoucích výnosů, které jsou předpokládány z pořízení investičního majetku, v následujících letech na jejich současnou hodnotu. Je zde předpoklad, že peněžní prostředky jsou efektivně investovány pouze v případě, že výnos z investice je roven nákladům nebo je vyšší než investiční náklad. V případě energeticky úsporných opatření platí, že celkové investiční náklady jsou menší než cena ušetřené energie.

Hodnota peněz se v čase mění, proto je nutné převést výnos z jednotlivých let na jejich současnou hodnotu (PV, z anglického Present Value). K tomu lze využít vztah

$$PV = \sum_{i=1}^n V_i \times \frac{1}{(1+r)^i}$$

(4-1)

Kde:

PV ... současná hodnota v Kč

V_i ... výnosy v jednotlivých letech

i ... počet let hodnocení projektu od 1 do n

r ... alternativní náklad kapitálu (časová hodnota peněz) v 100 %

Zlomek $\frac{1}{(1+r)^i}$ ze vztahu pro výpočet současné hodnoty (4-1) se nazývá diskontní faktor a jeho hodnoty jsou pro výpočet tabelovány.

Čistá současná hodnota je dána rozdílem současné hodnoty a celkových investičních nákladů.

$$NPV = PV - IC \quad (4-2)$$

Kde:

NPV ... čistá současná hodnota v Kč

IC ... celkové investiční náklady v Kč

Rozhodovací pravidlo pro ukazatel čisté současné hodnoty říká, že lze přijmout investice s kladnou nebo nulovou NPV. Tyto investice produkují výnos stejný nebo vyšší než je hodnota počáteční investice. [26]

4.4.2 Vnitřní výnosové procento

Vnitřní výnosové procento (IRR, z anglického Internal Rate of Return) představuje procentuální výnosnost projektu. Vnitřní výnosové procento se stanovuje metodou lineární interpolace. Prvním krokem je odhad vnitřního výnosového procenta IRR a výpočet čisté současné hodnoty NPV pro kladnou a zápornou hodnotu čisté současné hodnoty NPV. Dalším krokem je dosazení do interpolačního vzorce pro zjištění skutečné hodnoty IRR.

$$IRR = r_i + \frac{NPV+}{|NPV+| + |NPV-|} \times (r_2 - r_1) \quad (4-3)$$

Kde:

r_1 ... odhadované IRR pro kladnou NPV

r_2 ... odhadované IRR pro zápornou NPV

Při porovnávání jednotlivých energetických opatření je nejvýhodnější to opatření, které má nejvyšší hodnotu vnitřního výnosového procenta. [26]

4.4.3 Prostá doba návratnosti

Doba návratnosti udává čas, za který jsou vytvořeny kladné peněžní toky (CF, z anglického Cash Flow) ve výši celkových investičních nákladů. Doba návratnosti se stanoví sčítáním ročních peněžních toků do výše celkových investičních nákladů. Pokud jsou roční peněžní toky konstantní, lze pro výpočet prosté doby návratnosti použít následující vztah. [27]

$$T_s = \frac{IN}{CF} \tag{4-4}$$

Kde:

T_s ... doba návratnosti

IN ... investiční náklady projektu

CF ... roční úspora nákladů na vytápění

4.4.4 Diskontovaná doba návratnosti

Postup výpočtu je stejný jako výpočet prosté doby návratnosti s tím rozdílem, že s celkovými investičními náklady jsou porovnávány diskontované peněžní toky, aby byla zohledněna časová hodnota peněz. Při rozhodování platí pravidlo, že investice s kratší dobou návratnosti je výhodnější. Diskontovanou dobu návratnosti lze stanovit z uvedeného vztahu. [27]

$$\sum_{i=1}^{T_{sd}} \left[CF_t \times \frac{1}{(1+r)^i} - IN \right] = 0$$

(4-5)

Kde:

T_{sd} ... diskontovaná doba návratnosti

CF_t ... úspora nákladů v daném roce v Kč

$\frac{1}{(1+r)^i}$... diskontní faktor pro daný rok

IC ... celkové investiční náklady v Kč

5. VLIV STAVEBNÍCH OPATŘENÍ NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ

V této kapitole je popsán vliv oxidu uhličitého (CO₂) a dalších skleníkových plynů na životní prostředí. Také je zde definován způsob hodnocení energetických opatření z hlediska svázaných emisí CO₂ metodou doby návratnosti těchto emisí.

5.1 Environmentálně energetické vazby

Oxid uhličitý je skleníkový plyn, který je produkován do atmosféry spalováním fosilních paliv a odlesňováním. Zvyšování objemu skleníkových plynů, ke kterým kromě oxidu uhličitého řadíme chlor-fluorované uhlovodíky, metan, oxid dusný a další látky, způsobuje oteplování Země.

Výhodné z hlediska produkce CO₂, je spalování biomasy. Vzniká při něm sice CO₂, ale biomasa spotřebovává stejnou koncentraci při svém růstu.

Tepelná energie se získává převážně spalováním paliv. Při tomto spalování vznikají znečišťující látky. Jedná se hlavně o oxid uhelnatý, oxid siřičitý, oxidy dusíku, tuhé částice ve spalinách a organické látky. Platnou legislativou jsou stanoveny emisní a imisní limity. Jedná se o nejvyšší povolené koncentrace daných látek. Znečišťující látky, které vystupují ze zdroje znečišťování, se nazývají emise. Látky obsažené v přízemní vrstvě ovzduší se označují jako imise. Využíváním alternativních zdrojů energie lze dosáhnout snížení vypouštěného objemu těchto znečišťujících látek. [28]

5.2 Trvale udržitelný rozvoj

Snaha o využívání obnovitelných zdrojů energie je jednou z možností jak odvrátit nebezpečí nevratných globálních změn planety Země, jako je desertifikace, odlesňování, globální oteplení nebo snižování ozónové vrstvy. Trvale udržitelný rozvoj je reakcí na rozpor mezi hospodářským rozvojem a ochranou životního prostředí.

Trvale udržitelný rozvoj naplňuje potřeby stávající generace v takové míře, aby nebyly ovlivněny příští generace nebo ostatní národy. Z ekonomického hlediska se tím rozumí zachování trvale udržitelného výnosu. Objem aktiv, který výnos poskytuje, musí být udržen nebo rozmnožen.

Rozlišují se tři dimenze trvalé udržitelnosti, z nichž pro energetické odvětví je důležitá především ekologická udržitelnost. Ta předpokládá využívání obnovitelných zdrojů s ohledem na rychlost jejich reprodukce a snahu o minimalizaci čerpání neobnovitelných zdrojů, a ekonomická udržitelnost, kterou se zabývá moderní ekologická ekonomie ve smyslu hodnocení environmentálních a zdravotních externalit ve vztahu s ekonomickou efektivností.

Stát může vést obyvatele k ekologickému chování a jednání různými nástroji environmentální politiky. Právně lze stanovit ekologické cíle a požadavky například formou limitů znečištění. Promyšlené rozmístování lidských aktivit v území se realizuje územním plánováním. Dalším způsobem, jak motivovat občany k ekologickému chování mohou být různé ekonomické nástroje, jako daňové úlevy, dotace nebo pokuty či poplatky za znečištění a využívání přírodních zdrojů. [28]

5.3 Svázané hodnoty emisí skleníkových plynů

V současné době je velmi aktuální problém globálního oteplování a je patrná snaha snižovat emise CO₂ a dalších skleníkových plynů. Nezanedbatelnou hodnotou je produkce emisí těchto plynů svázaných s existencí budovy. Ta zahrnuje i výrobu stavebních materiálů. [29]

Zateplením objektů dochází ke snížení spotřeby energie na vytápění a tím i produkce CO₂ s tímto spojené. Dochází však ke spotřebě primární energie v souvislosti s materiály na zateplení. Primární energie je svázaná energie, která udává celkovou spotřebu přírodních zdrojů energie během životního cyklu výrobku. Zahrnuje těžbu a zpracování surovin, výrobu i dopravu výrobku. Tato energie se označuje jako PEI (z anglického Primary Energy Input) a je většinou udávána v megajoulech. Tyto energie jsou spojeny s produkcí CO₂. Zvolené tepelné opatření je tím šetrnější k životnímu

prostředí, čím dřív množství ušetřených emisí CO₂ spojených se snížením potřeby energie na vytápění, vyrovná svázané emise CO₂.

Návratnost emisí CO₂ lze vypočítat ze vztahu:

$$N = \frac{m_{\text{CO}_2, \text{sváz}}}{m_{\text{CO}_2, \text{pův}} - m_{\text{CO}_2, \text{zat}}} \text{ [let]}$$

(5-1)

Kde:

N ... návratnost svázaných emisí CO₂ v materiálu tepelných izolací [let]

$m_{\text{CO}_2, \text{sváz}}$... hmotnost svázaných emisí CO₂ zateplovacího systému na 1 m² fasády [kg/m²]

$m_{\text{CO}_2, \text{pův}}$... hmotnost provozních emisí CO₂ pro původních nezateplenou konstrukci na 1 m² fasády za 1 rok [kg/m²/rok]

$m_{\text{CO}_2, \text{zat}}$... hmotnost provozních emisí CO₂ pro zateplenou konstrukci na 1 m² fasády za 1 rok [kg/m²/rok]

Svázané emise CO₂ ekvivalentní udávají vyprodukované emise CO₂ a dalších plynů podílejících se na skleníkovém efektu. Jejich skleníkový efekt je přepočítán na úroveň efektu CO₂. Udává se v kilogramech ekvivalentu CO₂ [kg CO_{2, ekv}]. Veličina se nazývá potenciál globálního oteplování – GWP (z anglického Global Warming Potential). V následující tabulce jsou uvedeny hodnoty ekvivalentu CO₂ některých skleníkových plynů. [11]

Tab. 5-1: Ekvivalent CO₂

CO ₂	CH ₂	N ₂ O
1	23	296

Zdroj: SLAVÍK, Jan. Využití hodnocení životního cyklu v energetických auditech. [29]

Obdobné vzťahy lze použiť pro výpočet návratnosti emisí CO₂ pro ostatní energeticky úsporná opatření.

5.3.1 Hodnocení životního cyklu

Tato metoda, též nazývaná LCA (z anglického Life Cycle Assessment), hodnotí dopady výrobků, tedy i budov, během celého životního cyklu. Cyklus je zachycen od výroby po likvidaci nejen z hlediska potenciálu globálního oteplování, ale i ostatních vlivů na životní prostředí jako je spotřeba primárních surovin, narušování ozónové vrstvy, produkce odpadů a dalších.

Tato metoda je popsána v mezinárodní normě ISO 14000 – Environmentální hodnocení. Je rozdělena na několik fází. V první fázi se definují cíle a rozsah analýzy. Následuje inventarizační analýza, která obsahuje údaje o spotřebě surovin, materiálů a energie, emisích do okolního prostředí nebo produkci odpadů. Výsledkem je inventarizační matice, která popisuje vliv na životní prostředí látkových a energetických toků. V další fázi, nazývané charakterizace, je vliv na životní prostředí vyjádřen ekvivalentními jednotkami jednotlivých kategorií. Takovými jednotkami může být ekvivalent CO₂ pro určení potenciálu globálního oteplování nebo ekvivalent SO₂ pro hodnocení lokálních dopadů. Poslední fází je interpretace životního cyklu. [29]

6. POROVNÁNÍ REALIZACE ENERGETICKÝCH OPATŘENÍ KONKRÉTNÍCH PANELOVÝCH DOMŮ

Tato část práce je zaměřena na dva konkrétní, již realizované případy zateplení panelových domů v Olomouci. Je zde porovnán vliv provedených opatření na životní prostředí na základě návratnosti svázaných emisí CO₂. Ekonomická výhodnost realizovaného zateplení je porovnávána pomocí ukazatelů doby návratnosti a čisté současné hodnoty.

6.1 Popis objektů a provedených opatření

Prvním objektem pro posouzení je obytný panelový dům provedený v konstrukční soustavě T06-OL v Olomouci na ulici Řezáčova 10 – 14 vystavěný v roce 1972. Budova má osm nadzemních a jedno podzemní podlaží. Konstrukční výška podlaží je 2,8 m. Na objektu jsou lodžie předsazené o 1,2 m. V tomto domě bylo v květnu roku 2007 provedeno zateplení obvodového pláště a osazení nového střešního pláště.

Vnější stěny jsou tvořeny dílci z keramzitbetonu tloušťky 290 mm, které byly opatřeny zateplovacím systémem Stomix Therm Alfa. Vlastní tepelně izolační vrstva je tvořena pěnovým polystyrénem. Polystyrenové desky jsou kotveny k obvodovému plášti hmoždinkami a jejich tloušťka je 90 mm. Součinitel prostupu tepla konstrukce se snížil na $U = 0,355 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ a odpor při prostupu tepla $R_T = 2,819 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$. Byl tak splněn požadavek tepelně technické normy ČSN 73 0540/2002 – Tepelná ochrana budov na požadovanou hodnotu U_N požadovaný = $0,380 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Aby bylo dosaženo doporučené hodnoty U_N doporučený = $0,25 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, bylo by nutné použít polystyren v tloušťce minimálně 140 mm. Před provedením opatření byl součinitel prostupu tepla $U = 1,42 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Stropy jsou provedené z plných železobetonových panelů tloušťky 150 mm. Strop mezi vytápěným a částečně vytápěným prostorem suterénu byl obložen izolačními deskami z minerálních vláken Nobasil tloušťky 60 mm. Součinitel prostupu tepla konstrukce $U = 0,581 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ a odpor při prostupu tepla $R_T = 1,722 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$. Bylo opět dosaženo

pouze požadované hodnoty normy U_N požadovaný = 0,750 W/m².K. Doporučená hodnota U_N doporučený = 0,500 W/m².K.

Nová konstrukce střechy je dvouplášťová s provětrávaným střešním meziprostorem. Izolace byla provedena z izolačních desek Rockwool Rockmin o rozměrech 500 x 1000 x 100 mm, a to ve dvou vrstvách, a tedy tloušťce 200 mm. Horní nosný plášť je tvořen deskami OSB, na které byl aplikován hydroizolační systém z asfaltových pásů. OSB desky jsou šroubované do krokví. Krokve jsou následně podporovány podélnými vaznicemi, které jsou podporovány ocelovými stojkami. Vaznice jsou délkově nastavovány plátováním, a to tak, že plát je umístěn nad ocelovou stojkou. Stojky jsou umístěny nad nosnými stěnami a jsou kotveny do stropního železobetonového panelu přes patní plech. Součástí řešení jsou i vyhřívané střešní vpusti, které jsou napojeny na stávající střešní odpady.

Součinitel prostupu tepla $U = 0,192$ W/m².K a odpor při prostupu tepla $R_T = 5,198$ m².K/W. Tím bylo dosaženo doporučené hodnoty stanovené normou ČSN 73 0540/2002 – Tepelná ochrana budov U_N doporučený = 0,200 W/m².K.

V tabulce 6-1 jsou uvedeny hodnoty tepelného odporu při prostupu tepla a součinitele prostupu tepla daných konstrukcí a požadavky normy ČSN 73 0540/2002.

Tab. 6-1: Odpor při prostupu tepla a součinitel prostupu tepla

Konstrukce	Odpor při prostupu tepla R [m ² .K/W]	Součinitel prostupu tepla U [W/m ² .K]	ČSN 73 0540/2002	
			U_N požadovaný	U_N doporučený
Obvodové stěny	2,819	0,355	0,380	0,250
Strop mezi 1PP a 1NP	1,722	0,581	0,750	0,500
Střecha	5,198	0,192	0,300	0,200

Zdroj: Projektová dokumentace Řezáčova 10 – 14 [30]

Projektová dokumentace Jánského 2, 4, 6 [31]

Druhý objekt je panelový dům postavený ve stejné konstrukční soustavě T6-OL, který byl vybudován v roce 1975 v Olomouci na ulici Jánského 2 – 6. Na objektu bylo již dříve provedeno zateplení jednoho štítu minerální rohoží tloušťky 60 mm. V řešené stavební části bylo provedeno zateplení dosud nezateplených částí fasády a stropu suterénu.

Dle technické zprávy byl opět použit zateplovací systém Stomix Therm Alfa. Také tloušťky izolací byly voleny stejně. Izolační vrstva obvodových stěn je tvořena pěnovým polystyrenem tloušťky 90 mm, u stropu suterénu jsou to desky z minerální vlny tloušťky 60 mm. Díky tomu jsou výsledné hodnoty odporu při prostupu tepla a součinitele prostupu tepla pro obvodové stěny stejné jako u předchozího objektu.

6.2 Návratnost opatření z hlediska svázaných emisí CO₂

Vliv provedených energeticky úsporných opatření na životní prostředí zde bude vyjádřen dobou návratnosti svázaných emisí CO₂.

6.2.1 Výpočet svázaných emisí CO₂ materiálů použitých pro zateplení prvního objektu

K zateplení obvodových stěn prvního objektu bylo použito polystyrenových desek tloušťky 90 mm. K vytvoření pružné základní vrstvy byla použita suchá lepicí a stěrková hmota Alfafix firmy Stomix na bázi cementu v tloušťce 2 mm. Na tyto vrstvy byla nanášena silikátová omítka Betadekor firmy Stomix v tloušťce 3 mm a akrylátová barva Gamadekor v tloušťce 0,2 mm. Tato izolační vrstva je započata na rozhraní soklu v 1. NP a prochází až po úroveň +23,32 m.

Vnitřní část vstupů do objektu je izolována deskami z minerálních vláken Cemix Therm tloušťky 80 mm.

V tabulce 6-2 jsou uvedeny jednotlivé materiály použité pro zateplení fasády a jejich celková hmotnost.

Tab. 6-2: Materiály použité pro zateplení

Materiály použité pro zateplení obvodových stěn prvního objektu					
Materiál	Tloušťka ¹⁾ [mm]	Objemová hmotnost ¹⁾ [kg.m ⁻³]	Spotřeba na plochu ²⁾ [kg.m ⁻²]	Plocha ³⁾ [m ²]	Celková hmotnost ³⁾ [kg]
Pěnový polystyren	90	20,02	–	2 372	4 273,9
Lepicí a stěrková hmota Alfafix	2	–	3,9	2 372	9 250,8
Silikátová omítka Betadekor	3	–	2,6	2 372	6 167,2
Fasádní barva Gamadekor	0,2	–	0,5	2 372	1 186
Minerální vlna	80	170	–	41,4	562,9

Zdroj: Projektová dokumentace Řezáčova 10 – 14 ¹⁾ [30]
 Technické listy výrobce ²⁾ [32]
 Vlastní výpočet autora ³⁾

Pěnovým polystyrenem byla zateplena plocha 2 372 m², objemová hmotnost polystyrenu je 20,02 kg/m³, celková hmotnost je tedy 4 273,9 kg. Minerální vlnou byla zateplena plocha 41,4 m², objemová hmotnost použitých desek je 170 kg/m³, celková hmotnost je 438,136 kg. Průměrná spotřeba fasádní barvy Gamadekor je 0,5 kg/m², silikátové omítky Betadekor 2,6 kg/m² a lepicí a stěrkové hmoty Alfafix 3,9 kg/m². Hmotnost fasádní barvy je tedy 1 186 kg, omítky 6 167,2 kg a lepicí a stěrkové hmoty 9 250,8 kg.

Hmotnost svázaných emisí CO₂ dané konstrukce lze stanovit ze vztahu

$$m_{CO_2,sváz,kce} = \sum_{i=0}^n GWP_i \times m_i [kg_{CO_2,ekv}]$$

(6-1)

Kde:

GWP_i ...hmotnost svázaných emisí CO_2 ekvivalentních vztažených na 1 kg materiálu [kg CO_2 ekv./ kg]

m_i ... hmotnost použitého materiálu

V následující tabulce je proveden výpočet svázaných emisí CO_2 ekvivalentní pro použité materiály dle vzorce (6-1)

Tab. 6-3: Svázané emise CO_2 pro zateplení svislých obvodových stěn (20)

Materiál	Hmotnost svázaných emisí CO_2 $GWP^{1)}$ [kg CO_2 ekv./ kg]	Hmotnost použitého materiálu ²⁾ [kg]	Celková hmotnost emisí $CO_2^{2)}$ [kg]
Pěnový polystyren	4,2121	4 273,9	18 002,1
Lepicí a stěrková hmota	0,7610	9 250,8	7 039,9
Akrylátová omítka	0,200	6 167,2	1 233,4
Akrylátová barva	0,250	1 186,0	296,5
Minerální vlna	1,1331	41,4	637,8
Celková hmotnost svázaných emisí CO_2			27 209,7

Zdroj: Internet ¹⁾ [33] [34]

Vlastní výpočet autora ²⁾

Hmotnost svázaných emisí CO_2 pro zateplení svislých obvodových stěn je po dosazení do vzorce 27 209,7 kg CO_2 ekv./ kg.

Skladba materiálů pro zateplení u podlahy mezi vytápěným prostorem prvního podlaží a částečně nevytápěným prostorem suterénu je téměř stejná, liší se použitím izolace z minerální vlny namísto polystyrenu. Jedná se o desky Nobasil tloušťky 60 mm

s objemovou hmotností 150 kg/m³. Na zateplení bylo použito 690 m² izolace, to odpovídá 6 210 kg materiálu. Plocha stropu je 518,4 m². To odpovídá hmotnosti 4 665,6 kg minerálních desek, 2 021,8 kg lepicí a stěrkové hmoty, 1 347,8 kg omítky a 259,2 kg barvy. V tabulce jsou výsledky výpočtů podle vzorce (6-1). Celková hmotnost svázaných emisí CO₂ je 7 159,6 kg CO₂ ekv./kg.

Tab. 6-3: Svázané emise CO₂ pro zateplení stropu suterénu (20)

Materiál	Tloušťka ¹⁾ [mm]	Plocha ¹⁾ [m ²]	Hmotnost ²⁾ [kg]	Emise CO ₂ ²⁾ [kg CO ₂ ,ekv]
Minerální vlna	60	518,4	4 665,6	5 286,6
Lepicí a stěrková hmota	2	518,4	2 021,8	1 538,6
Akrylátová omítka	3	518,4	1 347,8	269,6
Akrylátová barva	0,2	518,4	259,2	64,8
Celková hmotnost svázaných emisí CO ₂				7 159,6

Zdroj: Projektová dokumentace Řezáčova 10 – 14 ¹⁾ [30]
Vlastní výpočet autora ²⁾

Celková plocha střechy je 518,4 m². Bylo zde použito izolačních desek Rockwool Rockmin 500 x 1000 x 100 mm v celkové ploše 1 036,8 m² ve dvou vrstvách o objemové hmotnosti 35 kg/m³ a modifikovaných asfaltových pásů o hmotnosti 8 230 kg. GWP pro asfaltové pásy je 0,826 kg CO₂ ekv./ kg.

Hmotnost svázaných emisí CO₂ je pro střechu 10 909,8 kg CO₂ ekv./ kg. Výpočet je proveden v tabulce 6-4.

Tab. 6-4: Svázané emise CO₂ pro zateplení svislých střechy (20)

Materiál	Tloušťka ¹⁾ [mm]	Plocha ¹⁾ [m ²]	Hmotnost ²⁾ [kg]	Emise CO ₂ ²⁾ [kg CO ₂ ,ekv]
Minerální vlna	100	1 036,8	3 628,8	4 111,8
Asfaltové pásy	10	518,4	8 230	6 798,0
Celková hmotnost svázaných emisí CO ₂				10 909,8

Zdroj: Projektová dokumentace Řezáčova 10 – 14 ¹⁾ [30]

Vlastní výpočet autora ²⁾

Pro výpočet návratnosti je potřeba znát hmotnost svázaných emisí CO₂ zateplovacího systému na 1 m² fasády. Celková plocha plných částí fasády je 2 590,6 m². Potřebnou hodnotu lze zjistit dosazením do vztahu

$$m_{CO_2,sváz} = \frac{m_{CO_2,stěny} + m_{CO_2,strop} + m_{CO_2,střecha}}{A}$$

(6-2)

$$m_{CO_2,sváz} = \frac{27\,209,7 + 7\,159,6 + 10\,909,8}{2\,590,6} = 17,48 \text{ kg CO}_{2,ekv}/\text{m}^2$$

Výsledkem podílu celkové hmotnosti emisí CO₂ a plochy fasády je hodnota 17,48 kg CO₂ ekv./ m² fasády.

6.2.2 Výpočet svázaných emisí CO₂ materiálů použitých pro zateplení druhého objektu

Protože je druhý objekt podobný prvnímu a pro zateplení jsou použity stejné materiály, tedy skladba vnějších stěn i podlahy mezi vytápěným a částečně nevytápěným prostorem suterénu je shodná, provedu výpočet celkových hmotností emisí jednotlivých částí konstrukcí v jedné tabulce. Tyto výpočty byly provedeny dříve v tabulce 6-2 a v tabulce 6-3. Hodnoty GWP pro jednotlivé materiály jsou převzaty z tabulky 6-3, spotřeby materiálů jsou převzaty z tabulky 6-2.

Tab. 6-5: Svázané emise CO₂ pro zateplení druhého objektu (20)

Materiál	Tloušťka ¹⁾ [mm]	Plocha ¹⁾ [m ²]	Hmotnost ²⁾ [kg]	Emise CO ₂ ²⁾ [kg CO ₂ ,ekv]
Zateplení stropu mezi vytápěným a částečně nevytápěným prostorem				
Minerální vlna	60	668,9	6 020,1	6 821,4
Lepicí a stěrková hmota Alfafix	2	668,9	2 608,7	1 985,2
Silikátová omítka Betadekor	3	668,9	1 739,1	347,8
Fasádní barva Gamadekor	0,2	668,9	334,5	83,6
Celková hmotnost svázaných emisí CO ₂				9 238,0
Zateplení obvodových stěn				
Pěnový polystyren	90	2 290,8	4 127,6	17 385,9
Lepicí a stěrková hmota Alfafix	2	2 290,8	8 934,1	6 798,9
Silikátová omítka Betadekor	3	2 290,8	5 956,1	1 191,2
Fasádní barva Gamadekor	0,2	2 290,8	1 145,4	286,4
Celková hmotnost svázaných emisí CO ₂				25 662,4

Zdroj: Projektová dokumentace Jánského 2 – 4¹⁾ [31]

Vlastní výpočet autora²⁾

V případě obvodových stěn byla polystyrenem zateplena plocha 2 290,8 m², celková hmotnost polystyrenu je 4 127,6 kg. Hmotnost použité fasádní barvy je 1 145,4 kg,

omítky 5 956,1 kg a lepicí a stěrkové hmoty 6 798,9 kg. Tomu odpovídá hmotnost 25 662,4 kg CO_{2,ekv}.

Plocha stropu suterénu je 518,4 m². Tento strop byl zateplen deskami z minerální vlny tloušťky 60 mm. Objemová hmotnost desek je 150 kg/m³. To odpovídá hmotnosti 6 020,1 kg. Bylo také použito 2 608,7 kg lepicí a stěrkové hmoty, 1 739,1 kg omítky a 334,5 kg barvy. Hmotnost svázaných emisí CO₂ použitého materiálu je 9 238 kg CO_{2,ekv}.

Opět je nutné znát hmotnost svázaných emisí CO₂ zateplovacího systému na 1 m² fasády. Pro výpočet je použit vzorec 6-2.

$$m_{CO_2,sváz} = \frac{25\,662,4 + 9\,238 + 0}{2\,755,2} = 12,67 \text{ kg } CO_{2,ekv}/m^2$$

6.2.3 Výpočet provozních emisí CO₂

Teplu je do objektu dodáváno společností OLTERM & TD Olomouc, a.s., která k výrobě tepla využívá hnědé uhlí. Při spalování hnědého uhlí dochází k produkci 111 g CO_{2,ekv}/MJ.

V následující tabulce je uvedena roční spotřeba tepla v GJ/rok prvního objektu.

Tab. 6-6: Spotřeba tepla v jednotlivých letech prvního objektu [GJ]

2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
1 768,7	1 821,5	1 608,9	1 487	1 454	1 026,8	996	1 014,9	1 125,2	936,7

Zdroj: Projektová dokumentace Řezáčova 10 – 14 [30]

Zateplení bylo provedeno v březnu 2007, proto spotřebu tepla v tomto roce nebude uvažována při výpočtu průměrných ročních spotřeb. Průměrná roční spotřeba energie před provedením opatření byla 1 628 GJ/rok. Tato hodnota je vypočítána jako aritmetický průměr spotřeb v letech 2002 – 2006. Po opatření klesla na hodnotu 1018,2 GJ/rok, což je průměr z let 2008 – 2011. Pro výpočet návratnosti svázaných emisí CO₂ je potřeba znát hodnoty provozních emisí CO₂ na 1 m² fasády za 1 rok pro

původně nezateplenou i nyní zateplenou budovu. Tyto hodnoty lze zjistit podílem součinu produkce emisí CO₂ na jednotku tepla a průměrné roční úpory tepla a plochy fasády.

$$m_{CO_2,p\u016fv} = \frac{111 \times 10^{-3} \times 1\,628 \times 10^3}{2\,590,6} = 69,76 \text{ kg } CO_2 \text{ ekv./rok/m}^2$$

$$m_{CO_2,zat} = \frac{111 \times 10^{-3} \times 1\,018 \times 10^3}{2\,590,6} = 43,63 \text{ kg } CO_2 \text{ ekv./rok/m}^2$$

Druhý objekt odebírá teplo od stejného dodavatele, uvažují se tedy stejné cenamy i jejich růst. Zateplení bylo provedeno v září roku 2005. Průměrná roční spotřeba před opatřením byla 1870,2 GJ/rok. Spotřeba je dána aritmetickým průměrem hodnot v letech 2000 – 2004. Průměrná roční spotřeba po zateplení dána průměrem spotřeb v letech 2006 – 2010 je 865,85 GJ/rok, což znamená úsporu 1004,35 GJ/rok.

V tabulce 6-7 je uvedena roční spotřeba tepla v GJ/rok druhého objektu.

Tab. 6-7: Spotřeba tepla v jednotlivých letech druhého objektu [GJ]

2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
1 990	2 421	1 925	1 533	1 482	1 287,9	954	811,3	798	839,6	926

Zdroj: Projektová dokumentace Jánského 2 – 4 [31]

Hmotnost provozních emisí pro původní nezateplenou konstrukci je 75,35 kg CO₂ ekv./ rok/m² a pro zateplenou 34,88 kg CO₂ ekv./ rok/m² Tyto hodnoty jsou vypočítané stejným způsobem, jako u předchozí budovy.

$$m_{CO_2,p\u016fv} = \frac{111 \times 10^{-3} \times 1\,870,2 \times 10^3}{2\,755,2} = 75,35 \text{ kg } CO_2 \text{ ekv./rok/m}^2$$

$$m_{CO_2,zat} = \frac{111 \times 10^{-3} \times 865,9 \times 10^3}{2\,755,2} = 34,88 \text{ kg } CO_2 \text{ ekv./rok/m}^2$$

5.2.3 Doby návratnosti svázaných emisí CO₂

Doba návratnosti emisí pro první sledovanou budovu je stanovena podle vztahu (5-1).

$$N = \frac{17,48}{69,76 - 43,63} = 0,67 \text{ let}$$

Pro druhou budovu dle stejného vzorce

$$N = \frac{12,67}{75,35 - 34,88} = 0,31 \text{ let}$$

Doba návratnosti svázaných emisí CO₂ prvního objektu je více než dvakrát vyšší než u druhého objektu. To je dané zateplením střechy, díky kterému se velmi zvýšila hmotnost svázaných emisí CO₂ použitých materiálů oproti poměrně nízké energetické úspoře.

Návratnost svázaných emisí CO₂ stoupá lineárně se vzrůstající tloušťkou izolačního materiálu. U panelových domů, kde je jako palivo pro vytápění využíváno hnědé uhlí, se návratnost svázaných emisí CO₂ pohybuje kolem 0,3 let při použití pěnového polystyrenu o tloušťce 90 mm. Při používání zemního plynu jako paliva je výsledná doba návratnosti delší, protože při spalování zemního plynu se na jednotku získané energie vyprodukuje menší množství emisí CO₂.

6.3 Ekonomické hodnocení investice

V této kapitole je stanovena a porovnána doba návratnosti a čistá současná hodnota hodnocených energeticky úsporných opatření. V závěru kapitoly je provedena citlivostní analýza pro různé varianty růstu cen tepla.

6.3.1 Doba návratnosti

V prvním kroku je stanovena prostá doba návratnosti. V následující tabulce jsou rozepsány celkové investiční náklady, nutné pro výpočet.

Tab. 6-8: Investiční náklady

Celkové investiční náklady		
	První objekt	Druhý objekt
Zateplení obvodového pláště pro obytný dům	4 212 097,4 Kč	4 147 650,6 Kč
Rekonstrukce střechy s vnitřním sedlem	1 714 523,03 Kč	0
Celková cena	5 926 620,43 Kč	4 147 650,6 Kč

Zdroj: Projektová dokumentace Řezáčova 10 – 14 [30],
Projektová dokumentace Jánského 2, 4, 6 [31]

V posledních osmi letech se cena tepla dodávaná společností OLTERM & TD Olomouc, a.s. zvyšovala průměrně o 6,5% za rok. Ve výpočtu se v dalších letech předpokládá stejný průměrný vývoj cen. V roce 2012 je konečná cena tepla na vstupu do objektu odebírajícího teplo 594,2 Kč/GJ. Průměrná spotřeba tepla před provedením opatření byla v prvním objektu 1 628,2 GJ/rok, od roku 2008 spotřeba klesla na průměrných 1 018,2 GJ/rok. Roční úspora je tedy 610 GJ/rok. Druhý objekt ročně uspoří 1004,35 GJ/rok. Průměrná roční spotřeba před opatřením byla 1870,2 GJ/rok a po provedení opatření je 865,85 GJ/rok. Ceny tepla pro všechny výpočty jsou převzaty z [35].

Výpočet prosté doby návratnosti je uveden v následujících tabulkách.

Tab. 6-9: Prostá doba návratnosti prvního objektu

Investice v roce 2007: 5 926 620,43 Kč			
Rok	Cena tepla/GJ	Úspora	Cash flow
2008	499,00 Kč	304 390,00 Kč	304 390,00 Kč
2009	521,80 Kč	318 298,00 Kč	622 688,00 Kč
2010	537,80 Kč	328 058,00 Kč	950 746,00 Kč
2011	554,00 Kč	337 940,00 Kč	1 288 686,00 Kč
2012	594,20 Kč	362 462,00 Kč	1 651 148,00 Kč
2013	632,82 Kč	386 022,03 Kč	2 037 170,03 Kč

2014	673,96 Kč	411 113,46 Kč	2 448 283,49 Kč
2015	717,76 Kč	437 835,84 Kč	2 886 119,33 Kč
2016	764,42 Kč	466 295,17 Kč	3 352 414,50 Kč
2017	814,11 Kč	496 604,35 Kč	3 849 018,85 Kč
2018	867,02 Kč	528 883,64 Kč	4 377 902,48 Kč
2019	923,38 Kč	563 261,07 Kč	4 941 163,55 Kč
2020	983,40 Kč	599 873,04 Kč	5 541 036,59 Kč
2021	1 047,32 Kč	638 864,79 Kč	6 179 901,38 Kč

Zdroj: Vlastní výpočet autora

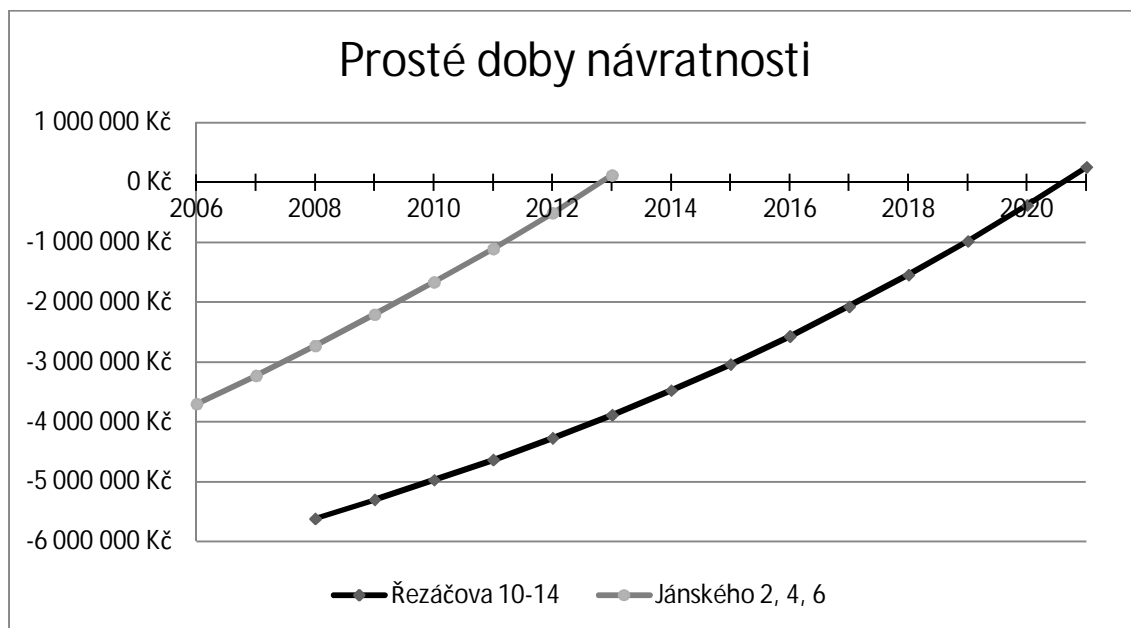
Tab. 6-10: Prostá doba návratnosti druhého objektu

Investice v roce 2007: 4 147 650,6 Kč			
Rok	Cena tepla/GJ	Úspora	Cash Flow
2006	439,95 Kč	441 863,78 Kč	441 863,78 Kč
2007	468,55 Kč	470 588,19 Kč	912 451,98 Kč
2008	499,00 Kč	501 170,65 Kč	1 413 622,63 Kč
2009	521,80 Kč	524 069,83 Kč	1 937 692,46 Kč
2010	537,80 Kč	540 139,43 Kč	2 477 831,89 Kč
2011	554,00 Kč	556 409,90 Kč	3 034 241,79 Kč
2012	594,20 Kč	596 784,77 Kč	3 631 026,56 Kč
2013	632,82 Kč	635 575,78 Kč	4 266 602,34 Kč

Zdroj: Vlastní výpočet autora

Z tabulek vyplývá, že investice prvního objektu se vrátí v průběhu roku 2021. To je 14 let od investice. Investice druhého objektu se vrátí podstatně dříve, již na konci roku 2013. To je 8 let od investice. Tato metoda je ale velmi nepřesná, protože neuvažuje časovou hodnotu peněz. Aby byla zohledněna časová hodnota peněz, je výnosy v jednotlivých letech nutné diskontovat. Pro výpočet daných objektů se uvažuje diskontní faktor 5%, který se u podobných investic běžně používá. Na obrázku 6-1 je znázorněn graf prostých dob návratnosti obou objektů.

Obr. 6-1: Graf prostých dob návratnosti



V tabulkách 6-11 a 6-12 je naznačen postup výpočtu diskontované doby návratnosti.

Tab. 6-11: Diskontovaná doba návratnosti prvního objektu

Investice: 5 926 620,43 Kč				
Rok	Roční CF (úspora)	Diskontní faktor (5%)	Diskontované CF	Kumulované CF
2008	304 390 Kč	0,9524	289 901 Kč	289 901 Kč
2009	318 298 Kč	0,9070	288 696 Kč	578 597 Kč
2010	328 058 Kč	0,8638	283 377 Kč	861 974 Kč
2011	337 940 Kč	0,8227	278 023 Kč	1 139 997 Kč
2012	362 462 Kč	0,7835	283 989 Kč	1 423 986 Kč
2013	386 022 Kč	0,7462	288 050 Kč	1 712 036 Kč
2014	411 113 Kč	0,7107	292 178 Kč	2 004 214 Kč
2015	437 836 Kč	0,6768	296 327 Kč	2 300 541 Kč
2016	466 295 Kč	0,6446	300 574 Kč	2 601 115 Kč
2017	496 604 Kč	0,6139	304 865 Kč	2 905 981 Kč
2018	528 884 Kč	0,5847	309 238 Kč	3 215 219 Kč
2019	563 261 Kč	0,5568	313 624 Kč	3 528 843 Kč

2020	599 873 Kč	0,5303	318 113 Kč	3 846 955 Kč
2021	638 865 Kč	0,5051	322 691 Kč	4 169 646 Kč
2022	680 391 Kč	0,4810	327 268 Kč	4 496 914 Kč
2023	724 616 Kč	0,4581	331 947 Kč	4 828 861 Kč
2024	771 716 Kč	0,4363	336 700 Kč	5 165 561 Kč
2025	821 878 Kč	0,4155	341 490 Kč	5 507 051 Kč
2026	875 300 Kč	0,3957	346 356 Kč	5 853 407 Kč
2027	932 195 Kč	0,3769	351 344 Kč	6 204 751 Kč

Zdroj: Vlastní výpočet autora

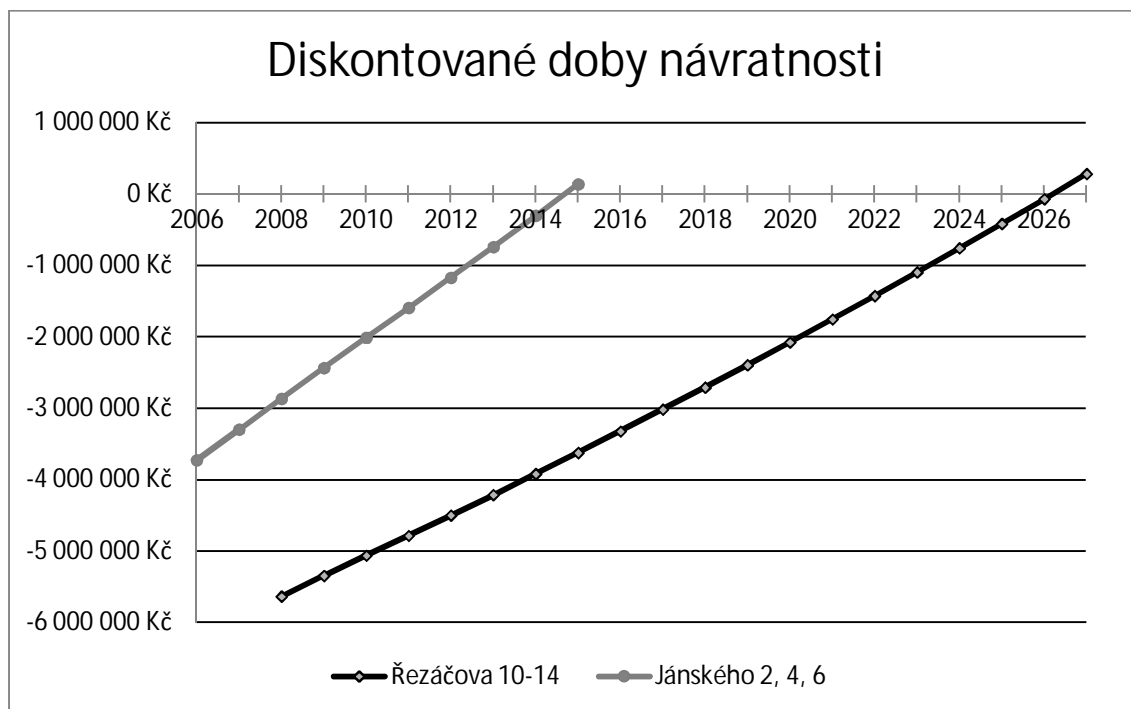
Tab. 6-12: Diskontovaná doba návratnosti druhého objektu

Investice: 4 147 650,6 Kč				
Rok	Roční CF (úspora)	Diskontní faktor (5%)	Diskontované CF	Kumulované CF
2006	441 863,78 Kč	0,9524	420 831,07 Kč	420 831,07 Kč
2007	470 588,19 Kč	0,9070	426 823,49 Kč	847 654,56 Kč
2008	501 170,65 Kč	0,8638	432 911,21 Kč	1 280 565,76 Kč
2009	524 069,83 Kč	0,8227	431 152,25 Kč	1 711 718,01 Kč
2010	540 139,43 Kč	0,7835	423 199,24 Kč	2 134 917,26 Kč
2011	556 409,90 Kč	0,7462	415 193,07 Kč	2 550 110,32 Kč
2012	596 784,77 Kč	0,7107	424 134,94 Kč	2 974 245,26 Kč
2013	635 575,78 Kč	0,6768	430 157,69 Kč	3 404 402,95 Kč
2014	676 888,21 Kč	0,6446	436 322,14 Kč	3 840 725,09 Kč
2015	720 885,94 Kč	0,6139	442 551,88 Kč	4 283 276,96 Kč

Zdroj: Vlastní výpočet autora

Z těchto tabulek je znovu velmi patrný rozdíl mezi oběma objekty. Pokud budou ceny tepla růst stejným tempem, vrátí se investice prvního objektu v průběhu dvacátého roku od investice a druhého objektu po deseti letech od investice. Na obrázku 6-2 je znázorněn graf diskontovaných dob návratnosti.

Obr. 6-2: Graf diskontovaných dob návratnosti



6.3.2 Čistá současná hodnota

Pro výpočet je uvažováno hodnocené období projektu 20 let. Nejdříve je zde stanovena současná hodnota prvního objektu. Hodnota je spočítána podle vztahu (4-1) z kapitoly Ekonomické ukazatele.

$$PV = \sum_{i=1}^n V_i \times \frac{1}{(1+r)^i} = 6\,204\,751,39 \text{ Kč}$$

Výpočet je naznačen v následující tabulce.

Tab. 6-13: Současná hodnota prvního objektu

Rok	Roční výnos	Diskontní faktor (5%)	Diskontovaný roční výnos	Kumul.výnos
2008	304 390,00 Kč	0,9524	289 901,04 Kč	289 901,04 Kč
2009	318 298,00 Kč	0,9070	288 696,29 Kč	578 597,32 Kč
2010	328 058,00 Kč	0,8638	283 376,50 Kč	861 973,82 Kč
2011	337 940,00 Kč	0,8227	278 023,24 Kč	1 139 997,06 Kč

2012	362 462,00 Kč	0,7835	283 988,98 Kč	1 423 986,04 Kč
2013	386 022,03 Kč	0,7462	288 049,64 Kč	1 712 035,68 Kč
2014	411 113,46 Kč	0,7107	292 178,34 Kč	2 004 214,01 Kč
2015	437 835,84 Kč	0,6768	296 327,29 Kč	2 300 541,31 Kč
2016	466 295,17 Kč	0,6446	300 573,86 Kč	2 601 115,17 Kč
2017	496 604,35 Kč	0,6139	304 865,41 Kč	2 905 980,58 Kč
2018	528 883,64 Kč	0,5847	309 238,26 Kč	3 215 218,85 Kč
2019	563 261,07 Kč	0,5568	313 623,76 Kč	3 528 842,61 Kč
2020	599 873,04 Kč	0,5303	318 112,67 Kč	3 846 955,28 Kč
2021	638 864,79 Kč	0,5051	322 690,60 Kč	4 169 645,89 Kč
2022	680 391,00 Kč	0,4810	327 268,07 Kč	4 496 913,96 Kč
2023	724 616,41 Kč	0,4581	331 946,78 Kč	4 828 860,74 Kč
2024	771 716,48 Kč	0,4363	336 699,90 Kč	5 165 560,64 Kč
2025	821 878,05 Kč	0,4155	341 490,33 Kč	5 507 050,97 Kč
2026	875 300,13 Kč	0,3957	346 356,26 Kč	5 853 407,23 Kč
2027	932 194,63 Kč	0,3769	351 344,16 Kč	6 204 751,39 Kč

Zdroj: Vlastní výpočet autora

Čistá současná hodnota je vypočítána ze vztahu (4-2) ze stejné kapitoly.

$$NPV = PV - IC = 6\,204\,751,39 - 5\,926\,620,43 = 278\,130,96 \text{ Kč.}$$

Stejným způsobem je stanovena čistá současná hodnota druhého objektu.

$$PV = \sum_{i=1}^n V_i \times \frac{1}{(1+r)^i} = 9\,071\,872,71 \text{ Kč}$$

Tab. 6-14: Současná hodnota druhého objektu

Rok	Roční výnos	Diskontní faktor (5%)	Diskontovaný roční výnos	Kumulovaný výnos
2006	441 863,78 Kč	0,9524	420 831,07 Kč	420 831,07 Kč
2007	470 588,19 Kč	0,9070	426 823,49 Kč	847 654,56 Kč
2008	501 170,65 Kč	0,8638	432 911,21 Kč	1 280 565,76 Kč

2009	524 069,83 Kč	0,8227	431 152,25 Kč	1 711 718,01 Kč
2010	540 139,43 Kč	0,7835	423 199,24 Kč	2 134 917,26 Kč
2011	556 409,90 Kč	0,7462	415 193,07 Kč	2 550 110,32 Kč
2012	596 784,77 Kč	0,7107	424 134,94 Kč	2 974 245,26 Kč
2013	635 575,78 Kč	0,6768	430 157,69 Kč	3 404 402,95 Kč
2014	676 888,21 Kč	0,6446	436 322,14 Kč	3 840 725,09 Kč
2015	720 885,94 Kč	0,6139	442 551,88 Kč	4 283 276,96 Kč
2016	767 743,53 Kč	0,5847	448 899,64 Kč	4 732 176,60 Kč
2017	817 646,85 Kč	0,5568	455 265,77 Kč	5 187 442,37 Kč
2018	870 793,90 Kč	0,5303	461 782,01 Kč	5 649 224,38 Kč
2019	927 395,50 Kč	0,5051	468 427,47 Kč	6 117 651,85 Kč
2020	987 676,21 Kč	0,4810	475 072,26 Kč	6 592 724,10 Kč
2021	1 051 875,16 Kč	0,4581	481 864,01 Kč	7 074 588,12 Kč
2022	1 120 247,05 Kč	0,4363	488 763,79 Kč	7 563 351,90 Kč
2023	1 193 063,11 Kč	0,4155	495 717,72 Kč	8 059 069,63 Kč
2024	1 270 612,21 Kč	0,3957	502 781,25 Kč	8 561 850,88 Kč
2025	1 353 202,00 Kč	0,3769	510 021,84 Kč	9 071 872,71 Kč

Zdroj: Vlastní výpočet autora

$$NPV = PV - IC = 9\,071\,872,71 - 4\,147\,650,6 = 4\,924\,222,11 \text{ Kč.}$$

Budoucí finanční úspory byly převedeny na současnou hodnotu. Výnosy z investice jsou u obou objektů vyšší než celkový investiční náklad, ale u prvního objektu je čistá současná hodnota velmi nízká. Proto je zde provedena citlivostní analýza pro rozdílné varianty růstu ceny tepla.

6.3.3 Citlivostní analýza

Protože nelze přesně odhadnout, jak v následujících letech poroste cena tepla, byla provedena citlivostní analýza pro variantu pomalejšího i rychlejšího růstu. Pomalejší růst ceny tepla byl stanoven na 4% ročně, rychlejší na 8% ročně. V tabulce 6-15 jsou uvedeny výsledky výpočtů diskontovaných dob návratnosti a čistých současných hodnot.

Tab. 6-15: Citlivostní analýza

Předpokládaný růst cen		4%	6,50%	8%
Diskontovaná doba návratnosti	První objekt	22 let	20 let	23 let
	Druhý objekt	10 let	10 let	10 let
Čistá současná hodnota	První objekt	-297 433,87 Kč	652 312,49 Kč	1 341 736,70 Kč
	Druhý objekt	4 375 671,28 Kč	5 467 395,37 Kč	6 239 965,66 Kč

Zdroj: Vlastní výpočet autora

7. ZÁVĚR

Cílem této práce bylo zhodnocení energeticky úsporných opatření na rezidenčních budovách. Jsou v ní popsány možné varianty energetických opatření a definovány způsoby ekonomického a environmentálního hodnocení těchto opatření. Pro hodnocení byly vybrány dva panelové domy, na kterých bylo provedeno zateplení kontaktním zateplovacím systémem.

V první části bylo provedeno hodnocení návratnosti svázaných emisí CO₂. Z tohoto hlediska lze zateplení kontaktními zateplovacími systémy, s použitím polystyrenu jako izolantu, doporučit. Úspora provozních emisí CO₂ vyplývající z úspory tepla na vytápění v obou případech do jednoho roku překročila emise CO₂ spojené s výrobou materiálu na zateplení. Při uvažované životnosti zateplení až 50 let je tento výsledek velmi příznivý. Obecně je tedy možné říct, že zateplování má kladný vliv na životní prostředí. Velkou roli hraje využití hnědého uhlí k výrobě tepla. Spalováním uhlí se uvolňuje téměř dvakrát více emisí CO₂, než při spalování zemního plynu, návratnost emisí CO₂ je tedy v tomhle případě rychlejší.

Druhá část byla věnována ekonomickému hodnocení. Doby návratnosti těchto opatření jsou u prvního objektu, kde byla zateplena fasáda, střecha a strop suterénu, necelých 20 let a u druhého objektu, kde byla zateplena fasáda a strop suterénu, téměř 10 let. Čistá současná hodnota těchto projektů se liší o téměř 5 miliónů korun ve prospěch druhého hodnoceného objektu. Rozdíl v těchto ukazatelích mezi objekty je dán velkým rozdílem objemu ušetřeného tepla v objektech. Nelze přesně zjistit, čím je toto způsobeno, ale jako možná odpověď se nabízí ovlivnění lidským faktorem.

Vliv na výsledky má samozřejmě roční úspora tepla. V ekonomické části hodnocení je podstatná i cena tepla a její vývoj. Tento vývoj je z růstu cen v posledních čtyřech letech odhadnutý na 6,5 % ročně. Tuto hodnotu ale nelze přesně stanovit, proto byla v závěru ekonomického hodnocení provedena citlivostní analýza, ve které je uvažován rychlejší i pomalejší růst cen tepla. Pokud bude cena tepla růst menším než předpokládaným tempem, je investice do zateplení prvního hodnoceného objektu nevýhodná. Čistá současná hodnota je v tomto případě záporná a doba návratnosti

investice je téměř 22 let. Možným řešením této situace by mohlo být správné nastavení E-t křivky. Aby v budoucnosti v podobných projektech k takovým případům nedocházelo, je vhodné použít silnější vrstvy tepelné izolace. Jak již bylo napsáno dříve, do dvaceti centimetrů tloušťky izolace nedochází k významnému zvyšování nákladů a lze tak dosáhnout větších ročních úspor.

I přes současnou ekonomickou krizi se zájem o energeticky úsporná opatření zvyšuje. Rozhodující pro tato opatření je neustále rostoucí cena energií. V dnešní době je také mnohem jednodušší výběr vhodného řešení než dříve. Množství možných způsobů úspory energie vyhovuje nejrůznějším potřebám a požadavkům. Je zde také tlak ze strany Evropské unie. Ta se rozhodla snížit emise skleníkových plynů a zvýšit podíl obnovitelných zdrojů energie. Nejvyšší potenciál úspor vykazují právě úspory z vytápění budov.

V současné době je v České republice stále poměrně hodně panelových domů, na kterých nebyla provedena energeticky úsporná opatření. Pro majitele bytů v těchto domech by mělo v současnosti být velkou prioritou, hlavně z důvodu neustále rostoucí ceny tepla, do těchto opatření investovat.

8. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] JANOUŠKOVÁ, Šárka. *Informační příručka pro vlastníky, správce a uživatele panelových bytových domů*. 1. vyd. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2002, 271 s. ISBN 80-86364-94-1.
- [2] DRÁPALOVÁ, Jana. *Regenerace panelových domů: krok za krokem*. Brno: ERA, c2006, 142 s. ISBN 80-7366-054-7.
- [3] MRÁZEK, Karel, Alena HORÁKOVÁ a Martin HANÁK. *Zelená úsporám v kombinaci s programem Nový panel: úspory energií a regenerace bytových domů*. Vyd. 1. V Praze: Svaz českých a moravských bytových družstev, 2010, 108 s. ISBN 978-80-86426-33-4.
- [4] MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. *SFZP: Státní fond životního prostředí České republiky* [online]. Dostupné z: <http://www.sfzp.cz>
- [5] MINISTERSTVO PRO MÍSTNÍ ROZVOJ. *SFRB: Státní fond rozvoje bydlení* [online]. Dostupné z: <http://www.sfrb.cz>
- [6] *CMZRB: Českomoravská záruční a rozvojová banka* [online]. Dostupné z: <http://www.cmzrb.cz>
- [7] MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. *Zelená úsporám* [online]. Dostupné z: <http://www.zelenausporam.cz>
- [8] KUČERA, Petr. *Hospodaření s energiemi v panelových domech*. Vyd. 1. V Praze: Vydal Svaz českých a moravských bytových družstev a Centrum stavebního inženýrství v nakl. ŠEL, 2007, 109 s. ISBN 978-80-86426-26-6.
- [9] ŠÁLA, Jiří a Milan MACHATKA. *Zateplování v praxi: provádění vnějších kontaktních zateplovacích systémů*. 1. vyd. Praha: Grada, 2002, 105 s. ISBN 80-247-0224-x.

- [10] VAVERKA, Jiří. *Stavební tepelná technika a energetika budov*. Vyd. 1. Brno: VUTIUM, 2006, 648 s. ISBN 80-214-2910-0.
- [11] ŠANCOVÁ, Lucie. *Zateplování panelových domů - technologické limity*. [online]. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/regenerace-bytovych-domu/6801-zateplovani-panelovych-domu-technologicke-limity>
- [12] BERANOVSKÝ, Jiří, Karel SRDEČNÝ a Petr VOGEL. *Pasivní panelák? A to myslíte vážně?*. Praha: EkoWATT, Centrum pro obnovitelné zdroje a úspory energie, 2011, 136 s. ISBN 978-80-87333-07-5.
- [13] ŠANCOVÁ, Lucie. *Rekonstrukce panelových domů v nízkoenergetickém standardu*. Praha: EkoWATT, 2010, 12 s. ISBN 978-80-87333-06-8.
- [14] ŘEHÁNEK, Jaroslav. *4 x E o tepelné izolaci budov: energetika : environment : ekonomika : efektivnost*. 1. vyd. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2004, 251 s. ISBN 80-86769-25-9.
- [15] MAŠEK, Martin. *O zateplení, jeho chybách a lidském faktoru*. [online]. Dostupné z: <http://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/poruchy-a-opravy/o-zatepleni-jeho-chybach-a-lidskem-faktoru-2366.html>
- [16] KATAUER, Jan. *Úspory tepla při komplexním zateplení panelových domů v Orlové (1996 - 2007)*. [online]. Dostupné z: <http://www.casopisstavebnictvi.cz/clanek.php?detail=1881>
- [17] DRÁPALOVÁ, Jana. *Regenerace panelových objektů 15 – Sídliště Nový Lískovec*. [online]. Dostupné z: <http://www.imaterialy.cz/Clanky-Tema-mesice/Regenerace-panelovych-objektu-15-Sidliste-Novy-Liskovec.html>
- [18] SRDEČNÝ, Karel a Jan TRUXA. *Tepelná čerpadla*. 1. vyd. Praha: EkoWATT, 2009, 71 s. ISBN 978-80-87333-02-0.
- [19] BELICA, Petr. *Průvodce energetickými úsporami a obnovitelnými zdroji energie*. 1. vyd. Valašské Meziříčí: Regionální energetické centrum ve spolupráci s TG Tisk, 2006, 88 s., 8 s. barev. obr. příl. ISBN 80-903680-1-8.

- [20] HALLER, Andreas, Othmar HUMM a Karsten VOSS. *Solární energie: využití při obnově budov*. 1. vyd. Praha: Grada, 2001, 177 s. ISBN 80-7169-580-7.
- [21] HASELHUHN, Ralf. *Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu*. 1. české vyd. Ostrava: HEL, 2011, 176 s. ISBN 978-80-86167-33-6.
- [22] KŘIŠÍKOVÁ, Helena. *Ukázky instalací a provozu solárních systémů na bytových domech*. *Stavebnictví a interiér*. 2012, č. 2.
- [23] WEISZOVÁ. *Monitoring energií v panelových bytových domech*. [online]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3852-monitoring-energie-v-panelovych-bytovych-domech>
- [24] DAHLSVEEN, Trond, Jiří HIRŠ a Dušan PETRÁŠ. *Energetický audit budov*. 1. vyd. Bratislava: Jaga, 2003, 214 s., [73 s.] příl. ISBN 80-967095-9-3.
- [25] ŠTĚPÁNEK, Zdeněk. *Ekonomické souvislosti ochrany životního prostředí*. 1. vyd. Olomouc: Vydavatelství Univerzity Palackého, 1997, 74 s. ISBN 80-7067-737-6.
- [26] KORYTÁROVÁ, Jana, Bohumil PUCHÝŘ a Jaroslav FRIDRICH. *Ekonomika investic*. Brno: CERM, 2001, 227 s. ISBN 80-214-2089-8.
- [27] CHADIM, Tomáš. *Výpočtová pomůcka EKONOMICKÁ EFEKTIVNOST INVESTIC (II)*. [online]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/2786-vypoctova-pomucka-ekonomicka-efektivnost-investic-ii>
- [28] SLÁBOVÁ, Markéta. *Tvorba a ochrana životního prostředí*. 1. vyd. České Budějovice: Vysoká škola evropských a regionálních studií, 2006, 237 s. ISBN 80-86708-29-2.
- [29] SLAVÍK, Jan. *Využití hodnocení životního cyklu v energetických auditech*. [online]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/2334-vyuziti-hodnoceni-zivotniho-cyklu-v-energetickych-auditech>

- [30] BOHUSLAV, Josef. *Projektová dokumentace k zateplení obvodového pláště a rekonstrukce střechy s vnitřním sedlem pro obytný dům Řezáčova 10 – 14 v Olomouci.*
- [31] BOHUSLAV, Josef. *Projektová dokumentace k zateplení obvodového pláště pro obytný dům Jánského 2, 4, 6 v Olomouci.*
- [32] STOMIX, spol. s r. o. *Stomix: Expert na zateplení* [online]. Dostupné z: www.stomix.cz
- [33] ČVUT. *Envimat: Katalog stavebních materiálů a konstrukcí* [online]. Dostupné z: www.envimat.cz
- [34] SRDEČNÝ, Karel, Miroslav PURKERT a Jitka KLINKEROVÁ. *Porovnání kvality realizovaných pasivních domů v ČR z environmentálních hledisek.* In: Ekowatt: Centrum pro obnovitelné zdroje a úspory energie [online]. Dostupné z: http://www.ekowatt.cz/library/dokumenty/MZP/POROVNANI_KVALITY_REALIZOVANYCH_PASIVNICH_DOMU_V_CR_Z_ENVIRONMENTALNICH_HLEDISEK.pdf
- [35] ENERGOŠTAV: Energeticko – informační portál. INERGIN: INSTITU ENERGETICKÝCH INFORMACÍ. Dostupné z: <http://energostat.cz/ceny-tepla.html>

9. SEZNAM TABULEK

Tab. 5-1: Ekvivalent CO ₂	37
Tab. 6-1: Odpor při prostupu tepla a součinitel prostupu tepla.....	40
Tab. 6-10: Prostá doba návratnosti druhého objektu	51
Tab. 6-11: Diskontovaná doba návratnosti prvního objektu	52
Tab. 6-12: Diskontovaná doba návratnosti druhého objektu	53
Tab. 6-13: Současná hodnota prvního objektu	54
Tab. 6-14: Současná hodnota druhého objektu	55
Tab. 6-15: Citlivostní analýza	57
Tab. 6-2: Materiály použité pro zateplení	42
Tab. 6-3: Svázané emise CO ₂ pro zateplení stropu suterénu (20).....	44
Tab. 6-3: Svázané emise CO ₂ pro zateplení svislých obvodových stěn (20).....	43
Tab. 6-4: Svázané emise CO ₂ pro zateplení svislých střechy (20).....	45
Tab. 6-5: Svázané emise CO ₂ pro zateplení druhého objektu (20).....	46
Tab. 6-6: Spotřeba tepla v jednotlivých letech prvního objektu [GJ].....	47
Tab. 6-7: Spotřeba tepla v jednotlivých letech druhého objektu [GJ].....	48
Tab. 6-8: Investiční náklady.....	50
Tab. 6-9: Prostá doba návratnosti prvního objektu.....	50
Tab. 6-10: Prostá doba návratnosti druhého objektu.....	51
Tab. 6-11: Diskontovaná doba návratnosti prvního objektu.....	52

Tab. 6-12: Diskontovaná doba návratnosti druhého objektu.....	53
Tab. 6-13: Současná hodnota prvního objektu.....	54
Tab. 6-14: Současná hodnota druhého objektu.....	55
Tab. 6-15: Citlivostní analýza.....	57

10. SEZNAM ILUSTRACÍ

Obr. 6-1: Graf prostých dob návratnosti.....52

Obr. 6-2: Graf diskontovaných doby návratnosti.....54

11. SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

NPV – Net Present Value

PV – Present Value

IRR – Internal Rate of Return

CF – Cash Flow

GWP – Global Warming Potencial

LCA – Life Cycle Assessment