

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STAVEBNÍ**



**BAKALÁŘSKÁ
PRÁCE**

2019

**MICHAELA
MYSLIVEČKOVÁ**



Zadání



Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Optimální návrh obálky bytového domu prostřednictvím analýzy životního cyklu (LCC)“ vypracovala pod vedením vedoucího této práce Ing. Petra Kalčeva, PhD. zcela samostatně za použití uvedených informačních zdrojů a literatury v souladu s Metodickým pokynem č. 1/2009 O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských státních závěrečných prací.

V Praze dne 26.5.2019

.....
Michaela Myslivečková



Poděkování

Ráda bych poděkovala panu Ing. Petrovi Kalčevovi, Ph.D., vedoucímu své bakalářské práce, za odbornou pomoc a cenné rady, které mi během zpracování předával. Poděkování za poskytnuté konzultace patří také paní Ing. Daně Čákové, Ph.D. Dále bych chtěla poděkovat celému týmu ze Skanska Reality, a.s. za pomoc s výběrem tématu a za poskytnutí architektonické studie, bez které by tato práce nemohla vzniknout.



Optimální návrh obálky bytového domu prostřednictvím
analýzy životního cyklu (LCC)
Assesment of building envelope considering life cycle cost
analysis (LCC)



Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá výběrem optimální kombinace konstrukcí obálky bytových domů a tepelného zdroje prostřednictvím analýzy životního cyklu (LCC). Kapitoly teoretické části jsou věnovány současným tepelně technickým požadavkům na stavební konstrukce, které je nutno splnit při navrhování budov, a základním principům tvorby kalkulace nákladů životního cyklu.

Na základě teoretické části jsou v části praktické navrženy konkrétní varianty konstrukcí obálky a tepelných zdrojů, které lze vzájemně kombinovat. Výběr dané kombinace později ovlivňuje především výši pořizovacích a provozních nákladů budovy. Srovnávacím kritériem pro výběr neoptimálnější varianty byla nejnižší hodnota kumulovaných diskontovaných nákladů (NPV) na konci hodnoceného období.

Klíčová slova

analýza životního cyklu (LCC), udržitelnost, čistá současná hodnota (NPV), diskontní sazba, obálka budovy, součinitel prostupu tepla, tepelná ztráta, spotřeba energie, tepelné čerpadlo, kondenzační plynový kotel



Annotation

This bachelor thesis deals with the choice of optimal combination of building envelope construction and heat source considering life cycle cost analysis. Chapters of the theoretical part are devoted to the current technical requirements for building constructions and to basic principles of life cycle costing.

In the practical part, there are specific drafts of the building envelope construction and heat sources. The choice of their combination influences primarily initial costs and operating costs of the building. The most optimal option was the one with the lowest NPV (net present value) at the end of the reporting period.

Keywords

life cycle cost analysis, sustainability, net present value, discount rate, building envelope, heat transfer coefficient, heat loss, power consumption, heat pump, condensing gas boiler



Seznam rovnic

Rovnice 1: Součinitel prostupu tepla	14
Rovnice 2: Tepelný odpor konstrukce.....	14
Rovnice 3: Celkový součinitel prostupu tepla	14
Rovnice 4: Současná hodnota	22
Rovnice 5: Čistá současná hodnota	23
Rovnice 6: Roční ekvivalent nákladů	23
Rovnice 7: Faktor pro přepočtení ročních částek.....	23
Rovnice 8: Vnitřní míra výnosnosti.....	24
Rovnice 9: Míra rizika	24
Rovnice 10: Deterministický přístup k LCC.....	26
Rovnice 11: Stochastický přístup k LCC.....	26
Rovnice 12: Průměrný součinitel prostupu tepla	36
Rovnice 13: Měrná ztráta prostupem	36
Rovnice 14: Tepelná ztráta prostupem	37
Rovnice 15: Roční potřeba energie pro vytápění	37
Rovnice 16: Roční potřeba tepla pro přípravu teplé vody	38
Rovnice 17: Výše nákladů jednotlivých let.....	40
Rovnice 18: Výše diskontovaných nákladů jednotlivých let.....	40
Rovnice 19: Kumulované náklady.....	40
Rovnice 20: Prostá doba návratnosti.....	40



Seznam obrázků

Obrázek 1: Tabulka požadovaných a doporučených hodnot součinitele prostupu tepla	13
Obrázek 2: Vizualizace objektu	31
Obrázek 3: Geminox THRs 35C	35
Obrázek 4: Carrier 3ORQ-033CH.....	33
Obrázek 5: Okrajové podmínky výpočetního modulu	34
Obrázek 6: Návrh kombinace konstrukcí obálky bytových domů	35
Obrázek 7: Návrh tepelné zdroje	36
Obrázek 8: Hodnoty vypočítané na základě volby kombinace jednotlivých konstrukcí a tepelného zdroje	36
Obrázek 9: Pasivní alternativa zvolené kombinace	38
Obrázek 10: Ukázka simulace nákladů životního cyklu.....	39
Obrázek 11: Hodnoty vstupující do kalkulace nákladů životního cyklu	39
Obrázek 12: Průběh nákladů životního cyklu	41
Obrázek 13: Přípustné kombinace se soustavou tepelných čerpadel.....	41
Obrázek 14: Přípustné kombinace se soustavou kondenzačních plynových kotlů	42
Obrázek 15: Průběh nákladů životního cyklu všech přípustných kombinací se soustavou tepelných čerpadel	42
Obrázek 16: Průběh nákladů životního cyklu všech přípustných kombinací se soustavou plynových kondenzačních kotlů	42
Obrázek 17: Průběh nákladů životního cyklu kombinace č. 6 závislý na volbě tepelného zdroje	43



Obsah

1 Úvod	11
2 Tepelně technické požadavky pro navrhování budov	12
2.1 Šíření tepla konstrukcí a obálkou budovy	12
2.1.1 Nejnižší vnitřní povrchová teplota konstrukce.....	12
2.1.2 Součinitel prostupu tepla.....	13
2.2 Šíření vlhkosti konstrukcí.....	15
2.3 Zdroje tepla	15
2.4 Požadavky na energetickou náročnost budov	16
3 Udržitelný rozvoj a jeho ekonomické aspekty	17
3.1 Životní cyklus stavby	18
3.1.1 Struktura nákladů životního cyklu	20
3.2 Analýza nákladů životního cyklu.....	22
3.2.2 Modelování nákladů životního cyklu.....	22
3.2.3 Riziko a nejistota	24
3.2.4 Přístupy ke kalkulaci nákladů životního cyklu.....	25
3.2.5 Úrovně analýzy	26
3.2.6 Postup aplikace analýzy	27
4 Praktická část	30
4.1 Informace o řešeném objektu	30
4.2 Skladby konstrukcí.....	31
4.3 Tepelné zdroje	32
4.4 Výpočetní modul.....	34
4.4.1 Vstupní hodnoty	34
4.4.2 Návrh kombinace.....	35
4.4.3 LCC.....	39
4.4.4 Výsledné porovnání	41
5 Závěr	44
Seznam zdrojů a citované literatury.....	45
Přílohy	
Příloha 1: Tepelně technické posouzení skladeb navržených konstrukcí	
Příloha 2: Položkové rozpočty	
Příloha 3: Technické listy navržených tepelných zdrojů	
Příloha 4: Ceny dodávek energií	



1 ÚVOD

Požadavky na výstavbu nových budov se neustále zpřísňují. Vývoj oblasti pozemních staveb se musí zaměřovat především na snižování energetické náročnosti budov, efektivnější využívání zdrojů a na omezování vzniku škodlivých emisí a odpadů. Tomu se již v počátku návrhu musí podřídit výběr konstrukčních prvků a technologií realizace, které je třeba posuzovat v rámci celého životního cyklu.

Proto jsem se rozhodla svou bakalářskou práci věnovat optimálnímu návrhu obálky bytových domů. Tento návrh spočíval ve výběru vhodných skladeb konstrukcí a tepelných zdrojů a v následném posouzení jejich dopadu na výši nákladů životního cyklu stavby pomocí vlastního výpočtového modulu.

Teoretická část shrnuje současné tepelně technické požadavky pro navrhování budov a požadavky na jejich energetickou náročnost a popisuje základní principy tvorby kalkulace nákladů životního cyklu. Cílem praktické části byl reálný návrh několika variant konstrukcí obálky budovy a tepelných zdrojů, které lze mezi sebou kombinovat. Volba konkrétní kombinace má pozdější dopad jak na pořizovací náklady, tak na náklady provozní, jako jsou například náklady na vytápění objektu. Pro vzájemné porovnání vzniklých kombinací jsem vytvořila v programu MS Excel jednoduchý výpočtový modul, který pro každou z nich sestavuje průběh kumulovaných nákladů po dobu třiceti let.

Kritériem pro porovnání všech kombinací byla pouze čistá současná hodnota (NPV) v posledním roce zkoumaného období. Výsledky a závěrečné vyhodnocení jsou uvedeny v poslední kapitole této práce.



2 TEPELNĚ TECHNICKÉ POŽADAVKY PRO NAVRHOVÁNÍ BUDOV

Při navrhování budov musí být zajištěno splnění základních požadavků na stavby jako jsou úspora energie, tepelná pohoda uživatelů a ochrana zdraví, zdravých životních podmínek a životního prostředí. Přesným stanovením těchto požadavků se zabývá norma ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky. Její dodržování zabezpečuje prevenci tepelně technických vad a poruch budov.

Normou definované požadavky zohledňují šíření tepla, vlhkosti a vzduchu konstrukcemi, místnostmi a budovami. Některé požadavky jsou stanoveny ve dvou úrovních: „požadované hodnoty stanovují úroveň technického požadavku prokazovanou a písemně dokládanou v návaznosti na zvláštní předpisy a doporučené hodnoty stanovují úroveň potřebnou pro energeticky zvláště úsporné budovy.“ [1]

„Tato norma neplatí převážně pro budovy velkoplošně otevřené, nafukovací haly, stany, mobilní buňky, skleníky, stájové objekty, chladírny a mrazírny a pro stavby bez požadavku na stav vnitřní prostředí, na které se nevztahuje základní požadavek na ochranu zdraví, zdravých životních podmínek a životního prostředí a základní požadavek na úsporu energie a tepelnou ochranu budov.“ [1]

2.1 Šíření tepla konstrukcí a obálkou budovy

2.1.1 Nejnižší vnitřní povrchová teplota konstrukce

Kvůli zamezení kondenzace vodní páry a výskytu plísní na vnitřním povrchu stavební konstrukce stanovuje norma požadavek na vnitřní povrchovou teplotu.

„Pro hodnocení požadavků je používán teplotní faktor vnitřního povrchu. Jedná se o poměrnou veličinu, která je na rozdíl od vnitřní povrchové teploty vlastností konstrukce a nezávisí na působících teplotách.“ [2]

„Požadavky na teplotní faktor jsou stanoveny odlišně pro neprůsvitné konstrukce a pro výplně otvorů. Pro neprůsvitné konstrukce je kritériem vyloučení vzniku plísní, pro okna vyloučení povrchové kondenzace vodní páry. Za hranici vyloučení vzniku plísní je pokládána relativní vlhkost vnitřního povrchu 80 %. Pokud je povrchová relativní vlhkost nižší, vznik plísní je prakticky vyloučen. Při vyšší hodnotě je naopak riziko velmi značné. Kritická povrchová relativní vlhkost pro vyloučení povrchové kondenzace je 100 % - při nižších vlhkostech ke kondenzaci vodní páry na povrchu konstrukce nedochází.“ [2]

Konkrétní požadavky a postup výpočtu stanovuje ČSN 73 0540-2 v čl. 5.1.



2.1.2 Součinitel prostupu tepla

Součinitel prostupu tepla vyjadřuje, kolik tepla unikne konstrukcí o ploše 1 m² při rozdílu teplot jejích povrchů 1 K. Hodnotí se současně dvěma způsoby: pro jednotlivé konstrukce a pro budovu jako celek pomocí průměrného součinitele prostupu tepla. Ten se stanoví jako vážený průměr součinitelů prostupů tepla jednotlivých konstrukcí obálky vytápěné zóny. „Oba požadavky musí být splněny současně, pokud není výjimečně připuštěno jinak.“ [1]

„Požadované hodnoty součinitele prostupu tepla se použijí pro hodnocení konstrukcí dle Vyhlášky č. 268/2009 Sb. Použití hodnot doporučených se doporučuje všude tam, kde tomu nebrání technické, ekonomické nebo legislativní překážky. Hodnoty doporučené pro pasivní budovy se použijí zejména pro předběžný návrh konstrukcí pasivní budovy.“ [1]

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla [W/(m ² ·K)]		
	Požadované hodnoty $U_{N,20}$	Doporučené hodnoty $U_{rec,20}$	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy $U_{pas,20}$
Stěna vnější	0,30 ¹⁾	těžká: 0,25 lehká: 0,20	0,18 až 0,12
Střecha strmá se sklonem nad 45°	0,30	0,20	0,18 až 0,12
Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Strop s podlahou nad venkovním prostorem	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Strop pod nevytápěnou půdou (se střechou bez tepelné izolace)	0,30	0,20	0,15 až 0,10
Stěna k nevytápěné půdě (se střechou bez tepelné izolace)	0,30 ¹⁾	těžká: 0,25 lehká: 0,20	0,18 až 0,12
Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině ^{4), 5)}	0,45	0,30	0,22 až 0,15
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k nevytápěnému prostoru	0,60	0,40	0,30 až 0,20
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k temperovanému prostoru	0,75	0,50	0,38 až 0,25
Strop a stěna vnější z temperovaného prostoru k venkovnímu prostředí	0,75	0,50	0,38 až 0,25
Podlaha a stěna temperovaného prostoru přilehlá k zemině ⁵⁾	0,85	0,60	0,45 až 0,30
Stěna mezi sousedními budovami ³⁾	1,05	0,70	0,5
Strop mezi prostory s rozdílem teplot do 10 °C včetně	1,05	0,70	
Stěna mezi prostory s rozdílem teplot do 10 °C včetně	1,30	0,90	
Strop vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně	2,2	1,45	
Stěna vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně	2,7	1,80	
Výplň otvoru ve vnější stěně a strmé střeše, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí, kromě dveří	1,5 ²⁾	1,2	0,8 až 0,6
Šikmá výplň otvoru se sklonem do 45°, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí	1,4 ⁷⁾	1,1	0,9
Dveřní výplň otvoru z vytápěného prostoru do venkovního prostředí (včetně rámu)	1,7	1,2	0,9
Výplň otvoru vedoucí z vytápěného do temperovaného prostoru	3,5	2,3	1,7
Výplň otvoru vedoucí z temperovaného prostoru do venkovního prostředí	3,5	2,3	1,7
Šikmá výplň otvoru se sklonem do 45° vedoucí z temperovaného prostoru do venkovního prostředí	2,6	1,7	1,4

Obrázek 1: Tabulka požadovaných a doporučených hodnot součinitele prostupu tepla [1]



Součinitel prostupu tepla U [W/m^2K] je dán vztahy:

$$U = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}} = \frac{1}{R_T}$$

Rovnice 1: Součinitel prostupu tepla [3]

kde R_{si} je odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce v m^2K/W (dle ČSN 73 0540-3),
 R je odpor konstrukce v m^2K/W ,
 R_{se} je odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce v m^2K/W (dle ČSN 73 0540-3)

Odpor konstrukce R [m^2/KW] určíme jako:

$$R = \sum R_j = \sum \frac{d_j}{\lambda_j}$$

Rovnice 2: Tepelný odpor konstrukce [3]

kde d_j je tloušťka j -té vrstvy konstrukce v m ,
 λ_j je návrhový součinitel tepelné vodivosti materiálu j -té vrstvy konstrukce ve W/mK stanovený v souladu s ČSN 73 0540-3

Celkový součinitel prostupu tepla U_c , který zpřesňuje součinitel prostupu tepla U zahrnutím korekce přímého působení venkovních atmosférických vlivů na tepelné izolace, se stanoví ze vztahu:

$$U_c = U + \sum \Delta U$$

Rovnice 3: Celkový součinitel prostupu tepla [3]

kde U je součinitel prostupu tepla s vlivem tepelných mostů v konstrukci ve W/m^2K ,
 $\sum \Delta U$ je korekce přímého působení venkovních atmosférických vlivů na tepelné izolace ve W/m^2K , které nebyly zahrnuty v součiniteli prostupu tepla U (např. korekce na vliv proudění vzduchu v tepelných izolacích nebo vliv dešťové vody pronikající do tepelné izolace)



2.2 Šíření vlhkosti konstrukcí

„K difúzi vodní páry ve stavebních konstrukcích dochází za předpokladu, že konstrukce odděluje dvě prostředí s rozdílnými teplotními a vlhkostními podmínkami. V důsledku takto vzniklého gradientu částečných tlaků vodních par dochází v makrokapilárách stavebních materiálů k pohybu vlhkosti podle zákonů difúze od místa s vyšším parciálním tlakem vodní páry k místu s tlakem nižším.

V případě, že v konstrukci dochází ke kondenzaci vodní páry, musí být současně splněny tři požadavky:

- 1. kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce (např. změnou statických nebo fyzikálních vlastností materiálu, vznikem plísní, nebo výrazným snížením životnosti materiálu)*
- 2. množství vodní páry zkondenzované v konstrukci během jednoho ročního cyklu musí být nižší nebo nanejvýš rovno množství vodní páry, které je schopno se v průběhu téhož cyklu vypařit*
- 3. ročně zkondenzované množství vodní páry nesmí přesáhnout normativní limit udaný normou“*

[4]

Konkrétní požadavky a postup výpočtu stanovuje ČSN 73 0540 a ČSN EN ISO 13788.

2.3 Zdroje tepla

Norma ČSN 73 0540-2 doporučuje využití tepelných zdrojů minimalizujících spotřebu primární energie, zvláště pak obnovitelných zdrojů tepla jako jsou: solární tepelné soustavy, zařízení na spalování biomasy a tepelná čerpadla.

„Samotné využití elektrické energie jako zdroje tepla pro vytápění a přípravu teplé vody se s ohledem na nepříznivou bilanci primární energie nedoporučuje. Dále je nezbytné vyhnout se předimenzovaným zdrojům na spalování paliv s omezenou regulací výkonu, které v provozu vykazují zvýšenou spotřebu paliva a produkci emisí. Pokud není zajištěna účinná regulace tepelného výkonu, je doporučeno zdroj vybavit akumulací tepla nebo jeho výkon rozložit do menších jednotek řízených v kaskádě.“ [1]



2.4 Požadavky na energetickou náročnost budov

Požadavky na energetickou náročnost budov upravuje vyhláška č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov. Pro účely této bakalářské práce je důležité zmínit § 3 odst. 1 a § 6 odst. 1, které definují ukazatele energetické náročnosti budov a požadavky na energetickou náročnost novostaveb.

„§3, Ukazatele energetické náročnosti budov

(1) Ukazatele energetické náročnosti budov jsou

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

§ 6, Požadavky na energetickou náročnost stanovené na nákladově optimální úrovni

(1) Požadavky na energetickou náročnost nové budovy a budovy s téměř nulovou spotřebou energie stanovené výpočtem na nákladově optimální úrovni jsou splněny, pokud hodnoty ukazatelů energetické náročnosti hodnocené budovy uvedené v § 3 odst. 1 písm. b), c) a e) nejsou vyšší než referenční hodnoty energetické náročnosti pro referenční budovu.“

[5]



3 UDRŽITELNÝ ROZVOJ A JEHO EKONOMICKÉ ASPEKTY

Výstavba a provozování budov patří mezi hlavní spotřebitele materiálových a energetických zdrojů, které současně přispívají ke znečišťování životního prostředí. Udržitelná výstavba reaguje na obecné požadavky udržitelného rozvoje a představuje nový přístup k navrhování, realizaci a provozování budov, tak, aby splňovaly široké spektrum funkčních, ekonomických, environmentálních, sociálních a kulturních požadavků. [6]

Stavební činnost a provoz všech jejích produktů (jako jsou budovy, mosty, silnice, přehrady aj.) představují nejenom hlavního spotřebitele materiálových a energetických zdrojů a významného znečišťovatele životního prostředí, ale také rozhodujícího uživatele půdy zastavěné stavebními objekty. *„Často je poukazováno na skutečnost, že stavebnictví a jeho produkty jsou zodpovědné za 40 % spotřeby veškeré vyrobené energie a přibližně za stejné procento produkce emisí skleníkových plynů (především CO₂) a pevných odpadů. Stavebnictví tak rozhodujícím způsobem ovlivňuje socio-ekonomický vývoj v každé průmyslově rozvinuté zemi. Současně tak má i větší potenciál k pozitivnímu ovlivnění udržitelného rozvoje společnosti.“* [6] Požadovaného pozitivního efektu lze dosáhnout pouze v případě spolupráce různých optimalizačních přístupů týkajících se nejenom energetické náročnosti budov, ale i spotřeby neobnovitelných materiálů. Nutností je také upřednostňování konstrukčních řešení vedoucích ke zkvalitňování výstavby budov, a to nejenom z hlediska technického, ale i ekonomického, environmentálního a socio-kulturního. [6]

Tři základní pilíře trvale udržitelného rozvoje, ze kterých dále vyplývají základní kritéria pro udržitelnou výstavbu, jsou:

1. Kvalita životního prostředí

Zlepšování kvality životního prostředí bude dosaženo především zvyšováním energetické účinnosti budov, efektivním využíváním materiálů, snižováním množství emisí, odpadů a spotřeby kvalitní vody a v neposlední řadě efektivním využíváním půdy. [6]

2. Ekonomická efektivita a omezení

Cílem je optimalizovat náklady na realizaci budovy a provozní náklady se zajištěním maximální funkčnosti, kvality, minimálních environmentálních dopadů a dlouhodobé životnosti. Nutností je také podpora místní ekonomiky a zaměstnanosti a vytváření pracovních příležitostí pro obyvatele v místě bydliště. Hodnocením ekonomické efektivity projektu se zabývá analýza životního cyklu stavby. [6]



3. Sociální a kulturní souvislosti

Socio-kulturní aspekty zahrnují především zvyšování kvality, funkčnosti a bezpečnosti vnějšího i vnitřního prostředí, ochranu historických památek a pozitivní vliv na místní společenské klima a zaměstnanost. [6]

3.1 Životní cyklus stavby

Každá stavba prochází v průběhu svého životního cyklu různými fázemi, tedy samostatnými časovými úseky, které jsou od sebe jasně odděleny. V každém časovém úseku probíhají odlišné činnosti, doba trvání a očekávané užitky jsou různé a náklady vynaložené v průběhu se výrazně liší. [7]

Čtyři základními fázemi životního cyklu jsou:

1. Předinvestiční fáze

Tato fáze představuje první fázi životního cyklu. Začíná vznikem myšlenky něco nového postavit nebo vybudovat a končí rozhodnutím o realizaci stavby. Podkladem k rozhodování může být například studie příležitostí, studie proveditelnosti, urbanistická nebo architektonická studie a analýza nákladů a přínosů. Vhodné je do této fáze začlenit i předběžné zpracování analýzy nákladů životního cyklu (LCC), analýzu dopadu na životní prostředí (LCA) a analýzu rizika. [7]

2. Investiční fáze

Obsahem druhé fáze životního cyklu je příprava a realizace investičního záměru. Vzhledem k počtu provedených úkonů a vypracovaných a úřady schválených dokumentů se jedná o fázi velice rozsáhlou. Proto je možné dělit jí do dvou kratších etap – projektování a realizace. [7]

V rámci **projektování a plánování** probíhají obvykle tyto činnosti:

- průzkumy (inženýrsko-geologický průzkum, hydrogeologický průzkum, stavebně-technický průzkum)
- zajištění pozemku
- výběr inženýringové společnosti
- výběr projektanta
- zpracování dokumentace pro územní řízení a její projednání a získání územního rozhodnutí
- zpracování dokumentace pro stavební řízení a její projednání a získání stavebního povolení

[7]



Vhodné je v této fázi i zpracování analýzy nákladů životního cyklu na základě dokumentace pro územní řízení a její pozdější aktualizace při zpracování podrobnější projektové dokumentace pro stavební povolení, dále opět analýzu dopadů na životní prostředí a analýzu rizika. [7]

V rámci **přípravy realizace** probíhají obvykle tyto činnosti:

- zpracování zadávací (tendrové) dokumentace
- výběr zhotovitele (výběrové řízení nebo přímé oslovení investorem, u veřejných sektorů se postupuje podle zákona)
- zpracování dokumentace pro provedení stavby

[7]

V rámci **vlastní realizace** následují činnosti:

- předání a převzetí staveniště
- realizace stavebních objektů
- předání a převzetí stavby
- zpracování dokumentace skutečného provedení
- zkušební provoz (pokud je vyžadován s ohledem na typ stavby)
- kolaudační souhlas nebo oznámení stavebnímu úřadu

[7]

3. Provozní fáze

Třetí a časově nejdelší fází životního cyklu je provozní fáze. Začíná zahájením užívání stavby a končí rozhodnutím o likvidaci. Nejdůležitější činností této fáze je zabezpečování provozní spolehlivosti prováděním údržby a obnovy za účelem zajištění optimálního fungování v průběhu celé životnosti. Plán údržby je třeba revidovat podle intenzity užívání a sledovat nové potřeby uživatelů. [7]

Náklady této fáze jsou ovlivněny především návrhem stavby a vlastní realizací ve fázi předchozí. Nízká kvalita provedení stavebních konstrukcí, horší parametry zabudovaných výrobků a neprofesionální montáž technického vybavení se mohou projevit ve vyšších provozních nákladech, ale i v nákladech na obnovu a údržbu. [7]

V této fázi je opět vhodné aktualizovat kalkulaci nákladů životního cyklu, neboť přesná spotřeba energie na vytápění, chlazení a přípravu teplé vody, stejně jako spotřeba vody jsou ověřeny až v této fázi. Navíc známe i skutečné sazby za jednotlivá média, aktuální náklady na úklid a údržbu zeleně, přesnou výši pojistného apod. [7]

4. Fáze ukončení životního cyklu

Poslední fází z celého životního cyklu je její likvidace, na kterou musí mít vlastník zpracovanou dokumentaci a vydané povolení. Stavební hmoty musí být uloženy na skládku nebo recyklovány a území musí být rekultivováno nebo upraveno pro novou stavbu. Tím je ukončena nejen poslední fáze, ale celý životní cyklus. [7]



3.1.1 STRUKTURA NÁKLADŮ ŽIVOTNÍHO CYKLU

Náklady životního cyklu jsou náklady, které vynakládáme ve všech čtyřech fázích životního cyklu – v předinvestiční, investiční, provozní a likvidační. Vyčíslení těchto nákladů je možné provést v libovolném okamžiku životního cyklu, nejpřínosnější je to však ve fázi předinvestiční, kdy je nejvyšší potenciál ovlivnění výše nákladů. [7]

Podstatnou část celkových nákladů životního cyklu stavebního objektu tvoří jen několik položek – náklady na vlastní realizaci, náklady na opravu a údržbu a provozní náklady. Z tohoto důvodu by jim měl být věnována zvýšená pozornost již při návrhu stavebního objektu. Například materiálové provedení velice ovlivňuje výši provozních nákladů, zejména nákladů na energie. Rozhodneme-li se pro levnější variantu obvodového zdiva s horšími tepelně-izolačními vlastnosti, ušetříme v okamžiku výstavby, ale náklady na vytápění budovy budou v průběhu životního cyklu mnohonásobně vyšší než ona ušetřená částka za nákup levnějšího zdiva. [7]

Investiční náklady

Investiční náklady jsou veškeré náklady vznikající investorovi v průběhu pořizování stavby:

- náklady na projektové práce, inženýrské činnosti a průzkumné práce
- náklady na stavební objekty (včetně veškeré práce a materiálu a nákladů spojených s předepsanými zkouškami konstrukcí a kontrolními měřeními)
- vedlejší náklady spojené s umístěním stavby (zařízení staveniště, územní vlivy, ztížené pracovní podmínky)
- ostatní investice (přeložky inženýrských sítí, konzervační, udržovací a dekonzervační práce při zastavení stavby)
- náklady na provozní soubory (stroje, technologická zařízení a jejich montáž)
- náklady na stroje, zařízení a inventář (náklady na jejich pořízení, dopravu a umístění)
- ostatní náklady (náhrady za patenty a licence na výstavbu, vybudování vytyčovací sítě, vysázení trvalých porostů, odvody za trvalé odnětí zemědělské půdy)
- provozní náklady na přípravu a realizaci (příprava a zabezpečení stavby, kompletační činnost)
- rezerva a rizika

[7]



Náklady na provoz stavby

U většiny staveb tvoří největší podíl na celkových nákladech životního cyklu. To je způsobeno převážně tím, že jsou spojeny s fází užívání, tedy s nejdelší fází celého cyklu, která mnohonásobně překračuje dobu trvání ostatních fází:

- dodávky energií
- vodné a stočné
- likvidace odpadu (odvoz, odstranění a recyklace)
- servisní poplatky
- pojištění
- ostraha a bezpečnost
- úklid
- údržba zeleně
- administrativní poplatky spojené s vlastnictvím objektu

[7]

Náklady na údržbu a obnovu stavby

Tyto náklady je třeba vynaložit za účelem zajištění provozuschopnosti objektu a předcházení vzniku vad a poruch, které se v průběhu užívání mohou objevit. Každý konstrukční prvek a vybavení má předpokládanou délku životnosti, po jejímž dosažení ztrácí svoji technickou funkci, spolehlivost a kvalitu. [7]

Pravidelná údržba je velice důležitá a neměla by být opomíjena. Náklady spojené s odstraňováním různých havárií způsobených zanedbanou údržbou bývají obvykle podstatně vyšší než náklady na pravidelnou údržbu. [7]

Náklady na ekologickou likvidaci stavby

Náklady na ekologickou likvidaci mohou v závislosti na druhu odstraňované stavby tvořit významnou část celkových nákladů životního cyklu. Představují především náklady na demolici, náklady na odvoz sutí a náklady na recyklaci nebo poplatky za uložení na skládce. Území musí být po likvidaci rekultivováno nebo upraveno pro novou stavbu. [7]



3.2 Analýza nákladů životního cyklu

Kalkulace nákladů životního cyklu je ekonomická metoda hodnocení, která bere v úvahu všechny relevantní náklady vynakládané v nadefinovaném čase a může být provedena ve všech fázích životního cyklu s ohledem na požadavky klienta. [7]

Analýza nákladů životního cyklu pracuje s náklady vynaloženými v současnosti i s náklady, které budou vynakládány v budoucnosti. Kvůli srovnatelnosti těchto hodnot je třeba ve výpočtech uvažovat s časovou hodnotou peněz. Nejpoužívanější metodou vyčíslení celkových nákladů životního cyklu je čistá současná hodnota (NPV) nebo roční ekvivalent nákladů (EAC). [7]

3.2.2 Modelování nákladů životního cyklu

3.2.2.1 Časová hodnota peněz

Každý model nákladů životního cyklu zahrnuje náklady v různých časových úrovních. Hodnocení posuzovaných variant je objektivní pouze tehdy, je-li vzata v úvahu časová hodnota peněz. Základním předpokladem je fakt, že 1 Kč dnes má větší hodnotu než 1 Kč v budoucnosti. Faktorem času pro transformaci budoucí hodnoty na současnou je diskontní faktor (odúročitel). Časovou hodnotu peněz [Kč] lze vyjádřit jako: [7]

$$PV = \frac{FV}{(1 + r)^T}$$

Rovnice 4: Současná hodnota [7]

kde PV je současná hodnota peněžní částky (present value),
 FV je budoucí hodnota peněžní částky (future value),
 r je diskontní sazby,
 T je délka analyzovaného období

3.2.2.2 Finanční indikátory pro volbu optimální varianty

Čistá současná hodnota (NPV)

Obvyklým přístupem k rozhodování o volbě varianty z hlediska nákladů životního cyklu je výběr varianty s nejnižší čistou současnou hodnotou. Tato hodnota vyjadřuje současnou hodnotu budoucích nákladů vynakládaných během životního cyklu projektu. Vzhledem k tomu, že se kalkule nákladů nezabývá příjmy, je praktičtější uvažovat náklady jako kladné hodnoty. [7]



$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

Rovnice 5: Čistá současná hodnota [7]

kde NPV je současná hodnota nákladů životního cyklu,
 C_t je součet všech relevantních nákladů po odpočtu výnosů vzniklých v dané období,
 r je diskontní sazba,
 t je analyzované období,
 T je délka životní cyklu

Ekvivalent ročních nákladů (EAC)

Ekvivalent ročních nákladů slouží k převedení celkových nákladů životního cyklu do nákladů vynakládaných za období jednoho roku. Jedná se o čistou současnou hodnotu vydělenou faktorem současné hodnoty konstantních splátek. Díky tomuto ekvivalentu je umožněno porovnávat mezi sebou varianty s různou životností. Je to ale průměrná hodnota a nelze ji ztotožňovat se skutečnými náklady daného roku. Optimální varianta je ta s minimální hodnotou EAC. [7]

$$EAC = \frac{NPV}{f_{ta}}$$

Rovnice 6: Roční ekvivalent nákladů [7]

kde EAC je roční ekvivalent nákladů životního cyklu,
 NPV je čistá současná hodnota dané varianty,
 f_{ta} je faktor pro přepočítání ročních částek, daný vztahem,

$$f_{ta} = \frac{(1+r)^T - 1}{r(1+r)^T}$$

Rovnice 7: Faktor pro přepočítání ročních částek [7]

kde r je diskontní sazba
 T je délka období

Diskontovaná doba návratnosti (DPP)

Diskontovaná doba návratnosti je délka období, kdy se suma diskontovaných cash flow investic vyrovná nákladům. Optimální varianta má nejkratší diskontovanou dobu návratnosti. Nevýhodou metody je ignorování peněžních toků mimo dobu návratnosti. [7]



Vnitřní míra výnosnosti (IRR)

Vnitřní míra výnosnosti je definována jako úroková sazba, pro kterou je NPV nulová. Nevýhodou použití této metody je předpoklad, že investice generuje výnos, což není v případě staveb pravidlem. [7]

$$IRR = r \cdot NPV = 0$$

Rovnice 8: Vnitřní míra výnosnosti [7]

kde IRR je vnitřní míra výnosnosti,
 r je úroková sazba,
 NPV je čistá současná hodnota dané varianty,

Čisté úspory (NS)

Čisté úspory jsou kalkulovány jako rozdíl mezi současnou hodnotou příjmu generovaného investicí a výší investice. Optimální varianta je v tomto případě ta s nejvyšší hodnotou čistých úspor. Nedostatkem je opět předpoklad, že investice generuje výnos. [7]

Ukazatel úspor k investicím (SIR)

Tento ukazatel je kalkulován jako poměr současné hodnoty příjmu generovaného investicí k investičním nákladům. Optimální variantou je ta s nejvyšší hodnotou tohoto ukazatele. Nedostatkem je rovněž předpoklad výnosů. [7]

3.2.3 Riziko a nejistota

Kalkulace nákladů životního cyklu spočívá v předvídání mnoha faktorů neznámé budoucnosti. Vzhledem k nedostatku potřebných dat musíme své nejisté předpovědi ošetřit jistou mírou rizika. Hodnota rizika je součin pravděpodobnosti, že riziko nastane, a hodnoty předpokládané škody (ztráty): [7]

$$HR = p_R \cdot ZR$$

Rovnice 9: Míra rizika [7]

kde HR je finančně vyjádřená míra rizika R ,
 p_R je pravděpodobnost, že riziko nastane,
 ZR je finančně vyjádřená hodnota předpokládané škody (ztráty), kterou riziko dané způsobí

Řízení rizik zahrnuje dva základní procesy: jejich analýzu a sledování. Analýza rizik se skládá především z identifikace daného rizika, z jeho ohodnocení a odezvy na něj. Ohodnocování spočívá v určení pravděpodobnosti rizika a velikosti očekávaných škod. Možnou odezvou na dané riziko může být: akceptování rizika, přenesení na jiný subjekt (pojištění), zmírnění rizika návrhem opatření snižující pravděpodobnost nebo ztrátu, vyloučení rizika a vytvoření rezervy nebo záložního plánu. Náklady navrženého opatření



by neměly překročit výši možné ztráty. Doporučenými metodami pro analýzu rizik jsou například: analýza citlivosti, metoda plánování scénářů nebo SWOT analýza. V rámci procesu sledování rizik je zjišťováno, zda se změnila hodnota rizika, zda riziko úplně nepominulo nebo naopak nevzniklo nějaké nové. [7]

Všeobecná rizika životního cyklu lze členit do čtyř základních skupin:

- politická rizika (změna legislativy, nestabilita)
- ekonomická rizika (špatný odhad trhu, úrokové sazby a míry inflace)
- environmentální rizika (pravděpodobnost většího dopadu stavby na životní prostředí než podle povolení v rámci projektování)
- sociální rizika (změny z požadavcích zákazníků, morální opotřebení stavby)

[7]

Riziky s dopadem na náklady životního cyklu mohou být:

- nejistota v čase a nákladech při rozpočtování
- smluvní procedury v předinvestiční fázi
- nedostatečné zdroje, čas, dodavatelé a subdodavatelé ve fázi realizace
- nejistota v délce životnosti konstrukcí a vybavení, možnost vzniku poruch a neočekávané náklady na údržbu v provozní fázi
- nízká kvalita režimu údržby nebo nezkušená pracovní síla
- vyšší spotřeba energie
- ekologické náklady na likvidaci stavby a úpravu pozemku

[7]

3.2.4 Přístupy ke kalkulaci nákladů životního cyklu

3.2.4.1 Deterministický přístup

Postup spočívá v sestavení nákladového profilu hodnocených variant, na jehož základě je spočtena současná hodnota nebo její roční ekvivalent. Na základě výsledků jsou varianty seřazeny do pořadí a nejlepší z nich je doporučena k realizaci. [7]

Deterministický přístup je založen na předpokladu, že každá vstupní hodnota kalkulace je fixní. Při výpočtu jsou používány hodnoty, které nejpravděpodobněji nastanou (např. na základě historické evidence nebo odborného posouzení). Tento přístup je výpočetně nenáročný, ovšem zahrnuje neurčitost s odhadem současných hodnot. [7]



$$LCC = C_p + \sum_{t=0}^{LC} \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

Rovnice 10: Deterministický přístup k LCC [7]

- kde LCC jsou celkové náklady životního cyklu v současné hodnotě
 C_p jsou náklady na pořízení
 r je diskontní sazba (časová hodnota peněz)
 C_t je součet všech relevantních nákladů po dobu životnosti po odečtení pozitivních peněžních toků
 LC je délka životního cyklu stavby

3.2.4.1 Stochastický přístup

Ve stochastickém přístupu nejsou vstupní veličiny fixní, ale náhodné proměnné s přiřazenými funkcemi hustoty pravděpodobnosti. Tento přístup vychází z náhodného rozdělení položek nákladů životního cyklu, diskontní sazby i časového období podle jejich distribučních funkcí. [7]

$$f(LCC) = f(C_p) + \sum_{t=0}^{LC} \frac{f(C_t)}{(1+f(r))^t}$$

Rovnice 11: Stochastický přístup k LCC [7]

- kde $f(LCC)$ je distribuční funkce pravděpodobnosti celkových nákladů životního cyklu v současné hodnotě
 $f(C_p)$ je distribuční funkce pravděpodobnosti nákladů na pořízení
 $f(r)$ je distribuční funkce pravděpodobnosti diskontní sazby
 $f(C_t)$ je distribuční funkce pravděpodobnosti každé z položek relevantních nákladů po dobu životnosti po odečtení pozitivních peněžních toků
 LC je délka životního cyklu stavby

Získání pravděpodobnostních dat pro modelování proměnných může být náročné. Výběr varianty je uskutečněn na základě míry preference rizika. [7]

3.2.5 Úrovně analýzy

Pro úroveň aplikace analýzy životního cyklu je určující podrobnost informací, které jsou k dispozici. S rostoucí podrobností projektové dokumentace a s větším množstvím dostupných informací je analýza životního cyklu zpřesňována. [7]



Předběžná analýza pro strategická rozhodnutí o investici

Cílem je hodnocení všech relevantních nákladů za celý životní cyklus za účelem strategického rozhodnutí realizovatelnosti projektu nebo pro porovnání variant projektu v předinvestiční fázi. [7]

Detailní analýza pro stavbu jako celek

Cílem je detailní hodnocení nákladů životního cyklu za účelem plánování nákladů nebo investičního rozhodování ve fázi investiční nebo provozní. [7]

Detailní analýza pro hodnocení variant systému/vybavení/materiálu

Cílem je detailní hodnocení nákladů životního cyklu pro jednu nebo více variant systému, vybavení nebo materiálu – jako podpora rozhodovacích procesů ve fázi investiční provozní nebo likvidační. [7]

3.2.6 Postup aplikace analýzy

Pro aplikaci analýzy nákladů životního cyklu je navržen obecný postup skládající se ze sedmi dílčích kroků:

1. Stanovení cíle

Prvním krokem je stanovení cíle, jehož má být analýzou dosaženo. Cílem může být zpracování podkladu využitelného při strategickém rozhodování o investici, vytvoření plánu budoucích investic, sestavení budoucího provozního rozpočtu, hodnocení dlouhodobé dostupnosti navrhované stavby nebo porovnání strategických variant investice. [7]

2. Stanovení rozsahu analýzy LCC

Dále je třeba vymezit rozsah analýzy, tzn. stanovit časový plán včetně případných mezníků a vyjasnit si specifické požadavky. Analýza nákladů životního cyklu může být pouze jedno z hodnotících kritérií a souviset tak s dalšími, jako jsou například estetika, technické parametry, udržitelnost nebo jednoduchost řešení. [7]

3. Definování klíčových parametrů

Klíčovými parametry jsou:

- náklady: je třeba přesně vymezit jejich rozsah, strukturu, způsob vyčíslení a indexování z hlediska časového období, lokality apod.
- čas: vymezení období, pro které je analýza zpracovávána
- použitá metoda ekonomického vyhodnocení: definování způsobu vyhodnocení (výpočet NPV, použitá diskontní sazba, zahrnutí míra inflace)

(7)



4. Stanovení variant

V závislosti na fázi životního cyklu, ve které je analýza zpracovávána, mohou být variantami například:

- způsoby dosažení cílů nebo naplnění potřeb investora
- způsoby využití stávající stavby
- různé rozsahy projektu
- rekonstrukce vs. novostavba
- návrhy stavby – tvar a dispozice, materiálové řešení, vnitřní vybavení

[7]

5. Shromáždění dat

Pro provedení analýzy je nutné mít k dispozici široké spektrum dat, například:

- přesné parametry variant: popis, dispozice, členění, počet podlaží, výška podlaží, obestavěný prostor, plocha obvodového pláště
- projektová dokumentace, technická zpráva, specifikace, harmonogram, výkaz výměr, dokumentace od výrobců
- informace o zamýšleném provozu: provozní doba, špička
- požadavky na údržbu: standard údržby, omezení času provádění, rezerva na náklady spojené s údržbou
- dodatečná rekonstrukce: požadavky klienta, způsob zajištění, rezerva na náklady
- náklady spojené s ukončením životnosti: požadavky na odstranění, rezerva na předčasné ukončení životnosti
- požadavky na úklid: popis standardu, podmínky pro čištění externích ploch
- spotřeba energie a vody: spotřeba za rok, rezerva na změnu
- administrativní náklady: likvidace odpadu, pojištění, poplatky

[7]

Ideální je používat vlastní historická data nebo data ze srovnatelných staveb, služby konzultantů, publikovaná data a výzkumy. U cizích dat se doporučuje prověřit jejich původ, vypovídací schopnost, použitelnost, provést přepočítání na současnou cenovou úroveň a zohlednit lokalitu. [7]

6. Ekonomické hodnocení

Zjištěné náklady mohou být prezentovány jako:

- celkové náklady životního cyklu v Kč (v současných cenách nebo NPV)
- náklady životního cyklu na 1 funkční jednotku (m², bytová jednotka, student)
- roční ekvivalent celkových nákladů v Kč/rok
- procentní vyjádření jednotlivých položek
- podíl jednotlivých položek nákladů v nadefinovaných skupinách (provoz, pořízení)
- náklady na funkční díl, komponent, systém



7. Závěrečná zpráva

Závěrečná zpráva zpravidla obsahuje:

- popis stavby, projektu a procesu kalkulace nákladů životního cyklu jako podpůrného. nástroje rozhodnutí o investici
- tabelární a grafické informace:
 - sumarizace nákladů, harmonogramu, ročních výdajů
 - rekapitulace klíčových parametrů – analyzované období, originální a modelovaná data, faktor lokality, míra inflace, diskontní sazba
 - náklady v reálných číslech a diskontované náklady na současnou hodnotu
 - roční cash flow, NPV ročních a kumulovaných nákladů
 - detailní model nákladů životního cyklu pro analyzované varianty
- zpráva k hodnocení rizika a analýza citlivosti pro klíčové proměnné

[7]



4 PRAKTICKÁ ČÁST

Praktická část této bakalářské práce je věnována optimálnímu návrhu obálky bytových domů včetně tepelného zdroje prostřednictvím analýzy životního cyklu (LCC) na základě architektonické studie, kterou mi poskytl investor projektu. Z této studie jsem využila rozměrové charakteristiky řešených objektů.

Obálka budovy je dle ČSN 73 0540-2 – Část 2: Požadavky definována jako: „*soubor všech teplosměnných konstrukcí na systémové hranici celé budovy nebo zóny, které jsou vystaveny přilehlému prostředí, jež tvoří venkovní vzduch, přilehlá zemina a vnitřní vzduch v přilehlém nevytápěném prostoru, sousední nevytápěné budově nebo sousední zóně budovy vytápěné na nižší vnitřní návrhovou teplotu.*“ [1]

Předmětem návrhu a posouzení byly tedy pouze střešní konstrukce, obvodové stěny, výplně otvorů, podlaha k nevytápěnému prostoru a tepelný zdroj. Tyto konstrukce včetně zdroje tepla jsou navrženy ve více variantách, které lze vzájemně kombinovat. Obálka nevytápěné zóny, tedy obvodové stěny suterénu a podlaha na zemině, není předmětem návrhu ani porovnání.

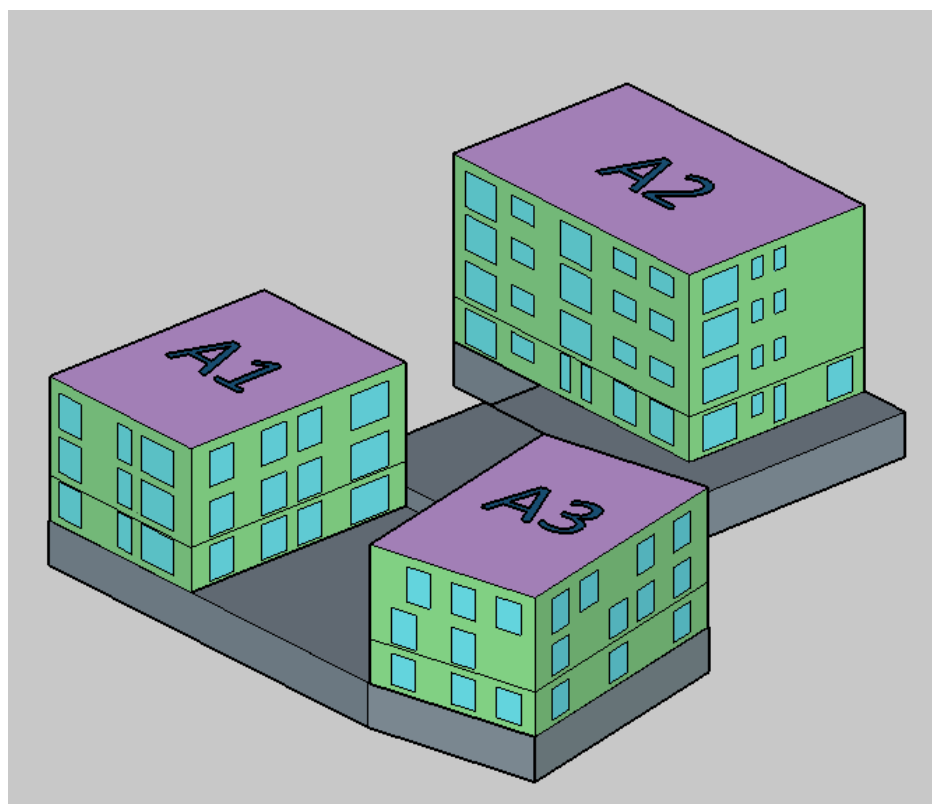
Jako neoptimálnější kombinace byla zvolena ta s nejnižší hodnotou kumulovaných diskontovaných nákladů na konci hodnoceného období (NPV).

4.1 Informace o řešeném objektu

Řešené bytové domy jsou součástí zamýšleného bytového areálu s názvem Modřanský cukrovar v ulici Komořanská v pražských Modřanech. Investorem je Skanska Reality, a.s. Výstavba areálu je rozdělena celkem do sedmi etap (A-G) a po jejich kompletním dokončení zde bude k dispozici 770 nových bytů v dispozicích od 1+kk do 5+kk. Jako podklad pro zpracování této práce jsem si vybrala pouze část poskytnuté architektonické studie, a to první a zároveň nejkratší etapu A s 26 bytovými jednotkami o velikosti od 36,3 m² do 85,4 m².

Jedná se o komplex tří bytových domů (A1-A3), které jsou vzájemně propojeny společným nevytápěným suterénem. Objekty A1 a A3 mají tři nadzemní podlaží, objekt A2 je ještě o jedno nadzemní podlaží vyšší.

Pro názornost a jednoduchost tvorby výkazů výměr jsem v programu SketchUp vytvořila jednoduchý 3D model řešeného objektu (Obrázek 2). Jednotlivé konstrukce obálky, které byly předmětem řešení, jsou od sebe v modelu barevně odlišeny. Nevytápěný suterén, který předmětem řešení nebyl, má v modelu tmavě šedou barvu.



Obrázek 2: Vizualizace objektu

4.2 Skladby konstrukcí

Řešené konstrukce byly navrženy tak, aby splňovaly požadavek na doporučenou hodnotu součinitele prostupu tepla, na teplotní faktor vnitřního povrchu a na šíření vodní páry v konstrukci dle ČSN 73 0540-2 (viz. kapitola 1. Tepelně technické požadavky pro navrhování budov). Ke každé takové konstrukci byla navržena i její pasivní alternativa splňující navíc požadavek na doporučenou hodnotu součinitele prostupu tepla pro pasivní domy.

Tepelně technické posouzení probíhalo ve webové aplikaci pro stavební fyziku DEKSOFT: Tepelná technika 1D. Protokol s výsledky včetně přesných skladeb navržených konstrukcí je součástí Přílohy 1. Veškeré technické listy použitých materiálů jsou k dispozici na webových stránkách výrobců.

Po ověření splnění požadavků norem jsem v programu Kros 4 pro každou z konstrukcí vytvořila položkový rozpočet odpovídající dané skladbě – viz. Příloha 2.

Konstrukce byly navrženy v těchto variantách:

- **střešní konstrukce:**
 - jednoplášťová plochá střešní konstrukce s klasickým pořadím vrstev
 - vegetační plochá střešní konstrukce s klasickým pořadím vrstev
 - dřevěná střešní konstrukce ze sbíjených příhradových vazníků



- **obvodové stěny:**
 - železobetonová obvodová stěna
 - keramická obvodová stěna z broušených cihelných bloků Porotherm 24
 - dřevěná obvodová stěna z certifikovaných konstrukčních panelů od firmy PREFAST

- **výplně otvorů:**
 - výplně otvorů s izolačním dvojsklem
 - výplně otvorů s izolačním trojsklem

- **podlaha k nevytápěnému suterénu**
 - železobetonová stropní konstrukce zateplená v podhledu nevytápěného suterénu izolací z minerální vlny

4.3 Tepelné zdroje

Zdroj tepla pro vytápění a přípravu teplé vody jsem navrhla ve dvou variantách: soustava plynových kondenzačních kotlů nebo soustava tepelných čerpadel. V úvahu jsem brala i možnost napojení k centrálnímu zásobování teplem, ale vybudování přípojky k teplotárenské soustavě by bylo vzhledem k potřebné vzdálenosti příliš nákladné.

Technické listy navržených zdrojů a cenové nabídky dodavatelů energií jsou součástí Přílohy 3 a Přílohy 4.

Plynové kondenzační kotle

První možnou variantou je kaskádové zapojení tří plynových kondenzačních kotlů Geminox THRs 35C s maximálním tepelným výkonem 3 x 35 kW a s účinností 106 %. Pořizovací cena zdroje vč. vybudování spalinové cesty je dle internetového srovnání asi 220 000 Kč, náklady na energii činí v 0,97 Kč/kWh.

Při vytápění plynem nebo pevnými palivy má společenství vlastníků zákonnou povinnost zajistit jednou za tři roky provozní revizi, při které odborný technik kontroluje těsnost rozvodů plynu a připojených zařízení. Výrobci kotlů dále doporučují provádět každoroční servisní prohlídku, která spočívá zejména v seřízení a vyčištění kotle. Kromě samotných kotlů je nutné každý rok kontrolovat a čistit spalinové cesty. [12] Roční náklady na tuto údržbu jsou dle internetového ceníku provádění servisních činností firmy Wolf asi 7 500 Kč. Tato cena nezahrnuje náklady na případnou výměnu některých dílů a na dopravu.

Předpokládaná životnost plynových kotlů je delší než životnost tepelných čerpadel, ovšem podle plánu obnovy by měl být vyměněn bez ohledu na svůj stav za 15 let. „Jednoduchá analýza životního cyklu může ukázat, že zlepšená efektivnost hořáku a



jeho lepší parametry z hlediska dopadů na životní prostředí převáží náklady na výměnu již v rámci této periody.“ [7]

Tepelná čerpadla

Druhou variantou je obdobná kaskáda sestavená ze tří tepelných čerpadel Carrier 30RQ-033CH s maximálním tepelným výkonem 3 x 33 kW a se sezónním teplotním faktorem SCOP 3,13. Pořizovací cena zdroje je dle konzultace s odborníkem na tepelná čerpadla asi 600 000 Kč, náklady na energie činí díky snížené sazbě elektřiny pro vytápění tepelným čerpadlem C56d 3,13 Kč/kWh.

V případě tepelných čerpadel se zákonná povinnost kontrolních prohlídek vztahuje pouze k chladicímu okruhu. „*Limitem pro vznik povinnosti každoroční kontroly je množství 5 tun ekvivalentu CO₂ u zařízení s fluorovaným chladivem a 10 tun ekvivalentu CO₂ u hermeticky uzavřených zařízení.*“ [13] Jedno tepelné čerpadlo Carrier 30RQ-033CH obsahuje 8,8 kg fluorovaného chladiva R410A s GWP (potenciál globálního oteplování) 2088, neboli 18,4 tuny ekvivalentu CO₂. V tomto případě tedy zákonná povinnost každoročních prohlídek těsnosti chladicího okruhu jednoznačně vzniká. Nicméně každoroční servisní prohlídka je i u tepelných čerpadel opět doporučena výrobcem. Roční náklady na servis a údržbu tepelných čerpadel jsou dle internetového ceníku servisních činností firmy Wolf asi 5 400 Kč. Tato cena nezahrnuje náklady na případnou výměnu některých dílů a na dopravu.

Přestože výrobcem udaná záruka na kompresor tepelného čerpadla činí 10 let, s jeho výměnou je počítáno až po uplynutí předpokládané životnosti, tedy po 15 letech. Náklady na výměnu kompresoru činí až 70 % původní pořizovací ceny.



Obrázek 3: Geminox THRs 35C [Příloha 3]



Obrázek 4: Carrier 30RQ-033CH [Příloha 3]



4.4 Výpočetní modul

Po kompletním návrhu materiálových variant konstrukcí obálky budovy a tepelných zdrojů jsem v programu MS Excel vytvořila jednoduchý výpočtový modul, který umožňuje tyto varianty různě kombinovat a porovnávat prostřednictvím kalkulace nákladů životního cyklu sestavené na 30 let. Rozhodující byla hodnota kumulovaných diskontovaných nákladů v posledním roce hodnoceného období.

4.4.1 Vstupní hodnoty

1. VSTUPNÍ HODNOTY

nutno vyplnit

Údaje o projektu	
Název projektu:	Modřanský cukrovar, etapa A
Lokalita:	ul. Komořanská, Praha 12 - Modřany
Čistá podlahová plocha:	1 741,50 m ²

Vytápění	
Vnitřní návrhová teplota:	bytový dům: 20 °C nevyt. suterén: 5 °C
Venkovní výpočtová teplota:	
Návrhová teplota za konstrukcí:	obvodové kce: 5 °C vnitřní dělicí kce: 5 °C
Průměrná venkovní teplota:	4,0 °C
Počet dnů otopného období:	216 dnů
Počet hodin vytápění:	24 hodin
Činitel teplotní redukce b pro obvodové kce:	1,00
Činitel teplotní redukce b pro vnitřní dělicí kce:	0,45

Příprava teplé vody	
Potřeba teplé vody na m ² :	1,13 l
Teplota vstupní vody:	10,0 °C
Teplota výstupní vody:	60,0 °C
Potřeba teplé vody na provozní den:	1 973,12 l
Návrh objemu zásobníku (+10 %):	2 200,00 l
Hmotnost vody:	2 193,40 kg
Měrná tepelná kapacita vody:	4 186 J/kgK

Vnitřní návrhová teplota T (°C)
dle tab. ČSN EN 15251

Obrázek 5: Okrajové podmínky výpočetního modulu

Na prvním listu výpočtového modulu jsou definované okrajové podmínky, které vstupují do dalších výpočtů a ovlivňují tak výši provozních nákladů. Buňky, které jsou vyplněny dvěma odstíny šedé barvy, jsou editovatelné. Hodnoty v tmavě šedých buňkách jsou závislé na velikosti a lokalitě zadávané stavby, proto je důležité jim v případě použití tohoto modulu pro jiný projekt věnovat pozornost. Světle šedé buňky obsahují hodnoty, které jsou obecně doporučené technickou normou, a záleží pouze na zadavateli, zdali je chce měnit a přizpůsobit je tak jiným požadavkům uživatele. Po



označení jakékoliv šedé buňky se zobrazí ve žlutém rámečku drobná nápověda, ve které je uveden zdroj, kde je možné danou hodnotu vyhledat.

4.4.2 Návrh kombinace

Druhý list je určen k vlastnímu návrhu konkrétní kombinace konstrukcí obálky budovy a tepelného zdroje. Pomocí rolovacích seznamů je možné si v šedých editovatelných buňkách vybrat materiálovou variantu obvodové stěny, střešní konstrukce a výplně otvorů – volba však není zcela libovolná. Zamezila jsem kombinování dřeva s jinými nepřírodními materiály. V případě vytvoření nepřipustné materiálové kombinace některé buňky zčervenají.

Obvodová stěna 1.NP se generuje automaticky na základě výběru obvodové stěny ostatních nadzemních podlaží - v případě volby keramické stěny je stěna prvního nadzemního podlaží železobetonová, u dřevěné stěny je vzhledem k omezení popsanému výše stěna prvního nadzemního podlaží rovněž dřevěná.

2. NÁVRH OBÁLKY BYTOVÉHO DOMU

NÁVRH OBÁLKY BUDOVY - DOPORUČENÉ HODNOTY		Celková plocha (m ²)	U (W/m ² K)	b (-)	Cena (Kč/m ²)	Celková cena (Kč)
1. Obvodová stěna 1.NP	Dřevěná stěna_doporučené hodnoty_1.NP	0,00	0,19	1,00	3 965 Kč	0 Kč
2. Obvodová stěna ostatních NP	Dřevěná stěna_doporučené hodnoty	1415,83	0,19	1,00	3 965 Kč	5 613 766 Kč
3. Střešní konstrukce	Z příhradových vazníků_doporučené hodnoty	749,37	0,16	1,00	2 534 Kč	1 898 904 Kč
4. Výplně otvorů	Izolační dvojsklo	494,97	1,20	1,00	6 000 Kč	2 969 820 Kč
5. Podlaha k nevytápěnému prostoru	Podlaha k suterénu_doporučené hodnoty	749,37	0,36	0,45	3 950 Kč	2 960 012 Kč

Obrázek 6: Návrh kombinace konstrukcí obálky bytových domů

Na základě volby konstrukce ve třetím sloupci tabulky (Obrázek 6) se v dalších sloupcích automaticky aktualizuje:

1. celková plocha v m² odečtená ze 3D modelu utvořeného v programu SketchUp
2. hodnota součinitele prostupu tepla vypočítaná ve webové aplikaci pro stavební fyziku DEKSOFT: Tepelná technika 1D
3. jednotková cena za pořízení získaná z položkového rozpočtu utvořeného v programu Kros 4 (tato cena vznikla na základě poskytnuté architektonické studie a obsahuje pouze cenu za montáž a materiál jednotlivých vrstev navržených skladeb, nezahrnuje tedy například zámečnické, klempířské a další prvky, které by byly specifikovány v dokumentaci s vyšší podrobností)

Hodnota činitele teplotní redukce b byla na základě okrajových podmínek spočtena již na prvním listu. Celková cena vznikla jako součin celkové plochy a jednotkové ceny popsané výše.



Obdobným způsobem funguje tabulka určená pro výběr tepelného zdroje (Obrázek 7). Hodnoty ve jednotlivých sloupcích se opět generují automaticky na základě technických parametrů a cen popsanych v kapitole 4.3 Tepelné zdroje.

NÁVRH TEPELNÉHO ZDROJE	Účinnost (%)	PC (Kč)	Kč/kWh	Údržba (Kč)	
1. Tepelný zdroj	Tepelné čerpadlo vzduch-voda	313	600 000 Kč	3,13	5 400 Kč

Obrázek 7: Návrh tepelného zdroje

Dle volby kombinace konstrukcí a tepelného zdroje udá výpočetní modul hodnotu průměrného součinitele prostupu tepla, tepelnou ztrátu objektu a roční spotřebu energie na vytápění a přípravu teplé vody (Obrázek 8).

Průměrný součinitel prostupu tepla:	0,34 W/m ² K
Tepelná ztráta objektu:	36,5 kW
Roční potřeba tepla na vytápění:	91 843,1 kWh
Roční potřeba tepla na přípravu teplé vody:	46 545,5 kWh
Roční spotřeba energie na vytápění:	29 342,8 kWh
Roční spotřeba energie na přípravu teplé vody:	14 870,8 kWh
Náklady na pořízení konstrukcí obálky a tepelného zdroje:	14 042 501 Kč
Roční palivové náklady na vytápění:	91 843 Kč
Roční palivové náklady na přípravu teplé vody:	46 545 Kč
NPV	18 946 141 Kč

Obrázek 8: Hodnoty vypočítané na základě volby kombinace jednotlivých konstrukcí a tepelného zdroje

Průměrný součinitel prostupu tepla (W/m²K)

Průměrný součinitel obálky budovy U_{em} byl vypočítán podle následujícího vztahu:

$$U_{em} = \frac{H_T}{A}$$

Rovnice 12: Průměrný součinitel prostupu tepla [8]

kde A je teplosměnná plocha všech konstrukcí ohraničujících objem budovy nebo její zóny v m² vypočítaná na systémové hranici budovy
 H_T je měrná ztráta prostupem tepla stanovená dle vztahu:

$$H_T = \sum A_j \cdot U_j \cdot b_j + A \cdot \Delta U_{tbn}$$

Rovnice 13: Měrná ztráta prostupem [8]

kde A_j je plocha j-té ochlazované konstrukce v m²
 U_j je součinitel prostupu tepla j-té konstrukce ve W/m²K
 b_j je činitel teplotní redukce j-té konstrukce
 ΔU_{tbn} průměrný vliv tepelných vazeb mezi ochlazovanými konstrukcemi na systémové hranici budovy ve W/m²K



Hodnota průměrného vlivu tepelných vazeb mezi konstrukcemi ΔU_{tbm} je uvažována u všech přípustných kombinací jako stejná nebo se zanedbatelnou odchylkou, a proto nemusela být předmětem porovnání a nebyla do výpočtu zahrnuta.

Tepelná ztráta objektu (kW)

Celková tepelná ztráta objektu se obecně určí jako součet tepelné ztráty prostupem, tepelné ztráty větráním a tepelné ztráty tepelnými mosty. Tepelné ztráty způsobené větráním a tepelnými mosty nejsou přímo závislé na tepelně technických vlastnostech materiálů, proto byly opět tyto hodnoty uvažovány u všech kombinací jako stejné nebo s drobnou odchylkou a nebyly zahrnuty do výpočtu.

Tepelná ztráta prostupem je dána vztahem:

$$Q_p = \sum (A_j \cdot U_j \cdot b_j) \cdot (q_{ai} - q_{ae})$$

Rovnice 14: Tepelná ztráta prostupem [9]

- kde A_j je plocha j-té ochlazované konstrukce v m²
 U_j je součinitel prostupu tepla j-té konstrukce ve W/m²K
 b_j je činitel teplotní redukce j-té konstrukce
 q_{ai} je vnitřní návrhová teplota interiéru (°C)
 q_{ae} je venkovní výpočtová teplota (°C)

Roční potřeba tepla na vytápění (kWh)

Na základě výše vypočítané hodnoty tepelné ztráty prostupem byla získána roční potřeba energie:

$$E_{vp} = \frac{Q_p \cdot (q_{ai} - q_{aes}) \cdot T \cdot d}{(q_{ai} - q_{ae})}$$

Rovnice 15: Roční potřeba energie pro vytápění [9]

- kde Q_p je tepelná ztráta prostupem (kW)
 T je počet hodin vytápění během dne
 d je počet dnů otopného období v dané lokalitě
 q_{ai} je vnitřní návrhová teplota interiéru
 q_{ae} je venkovní výpočtová teplota
 q_{aes} je průměrná roční teplota v dané lokalitě



Spotřeba energie na vytápění závisí na technických parametrech zvoleného tepelného zdroje a vypočte se jako podíl roční potřeby tepla a účinnosti vybraného zdroje.

Roční náklady na dodávku energie jsou součinem hodnoty spotřeby energie v kWh a jednotkové ceny za dodávku.

Roční potřeba tepla na přípravu teplé vody (kWh)

$$Q_{TV} = \frac{\rho \cdot c \cdot V \cdot (t_2 - t_1) \cdot 365}{3600}$$

Rovnice 16: Roční potřeba tepla pro přípravu teplé vody

- kde ρ je měrná hmotnost vody (kg/m^3)
 c je měrná tepelná kapacita vody (J/kgK)
 V je objem navržených zásobníků (m^3)
 t_1 je teplota vstupní vody ($^{\circ}\text{C}$)
 t_2 je teplota výstupní vody ($^{\circ}\text{C}$)

Spotřeba energie na přípravu teplé vody a roční náklady na dodávku energií byly spočteny stejným způsobem jako v případě výpočtu u vytápění.

Celková cena za pořízení je složena z pořizovacích cen jednotlivých konstrukcí a z pořizovací ceny tepelné zdroje. Nejedná se tedy o celkovou cenu stavby – nezahrnuje vybudování suterénu a všech vnitřních konstrukcí a prvků, projektové a průzkumné práce, náklady na umístění stavby ani další náklady spojené s přípravou a realizací.

Pasivní alternativa

Ve spodní části druhého listu jsou provedeny výpočty i pro pasivní alternativu, která se generovala automaticky na základě volby varianty zateplené na doporučené hodnoty.

PASIVNÍ ALTERNATIVA NAVRŽENÉ KOMBINACE

NÁVRH OBÁLKY BUDOVY - PASIVNÍ ALTERNATIVA		Celková plocha (m^2)	U ($\text{W/m}^2\text{K}$)	b (-)	Cena (Kč/m^2)	Celková cena (Kč)
1. Obvodová stěna 1.NP	Dřevěná stěna_pasivní_1.NP	0,0	0,18	1,00	3 965 Kč	0 Kč
2. Obvodová stěna ostatních NP	Dřevěná stěna_pasivní	1415,8	0,18	1,00	4 081 Kč	5 778 002 Kč
3. Střešní konstrukce	Z příhradových vazníků_pasivní	749,4	0,14	1,00	2 599 Kč	1 947 613 Kč
4. Výplně otvorů	Izolační trojsklo	495,0	0,80	1,00	7 000 Kč	3 464 790 Kč
5. Podlaha k nevytápěnému prostoru	Podlaha k suterénu_pasivní	749,4	0,27	0,45	4 049 Kč	3 034 199 Kč

NÁVRH TEPELNÉHO ZDROJE		Účinnost (%)	PC (Kč)	Kč/kWh	Údržba (Kč)
1. Tepelný zdroj	Tepelné čerpadlo vzduch-voda	313	600 000 Kč	3,13	5 400 Kč

Průměrný součinitel prostupu tepla:	0,27 $\text{W/m}^2\text{K}$
Tepelná ztráta objektu:	27,9 kW
Roční potřeba tepla na vytápění:	70 109,9 kWh
Roční potřeba tepla na přípravu teplé vody:	46 545,5 kWh
Roční spotřeba energie na vytápění:	22 399,3 kWh
Roční spotřeba energie na přípravu teplé vody:	14 870,8 kWh

Náklady na pořízení obálky:	14 824 604 Kč
Palivové náklady na vytápění:	70 110 Kč
Palivové náklady na přípravu teplé vody:	46 545 Kč
NPV	19 012 292 Kč

Obrázek 9: Pasivní alternativa zvolené kombinace



4.4.3 LCC

Na dalším, třetím, listu jsem vytvořila simulaci průběhu nákladů životního cyklu po dobu 30 let. Předmětem této simulace jsou opět pouze náklady, které má smysl porovnávat, protože jejich hodnoty se liší na základě volby kombinace obálky budovy. Náklady, jako jsou například vodné a stočné, likvidace odpadu, úklid a údržba okolní zeleně, nejsou předmětem porovnání. S likvidací objektu se po uplynutí 30 let rovněž neuvažuje.

VARIANTA - DOPORUČENÉ HODNOTY	Meziroční růst	0	1	2	3
Provozní náklady					
Vytápění	3%		91 843 Kč	94 598 Kč	97 436 Kč
Příprava teplé vody	2,50%		46 545 Kč	47 709 Kč	48 902 Kč
Revize, opravy, údržba	2%		5 400 Kč	5 508 Kč	5 618 Kč
Investice		14 042 501 Kč			
CELKEM		14 042 501 Kč	143 789 Kč	147 815 Kč	151 956 Kč
KUMULOVANÉ NÁKLADY		14 042 501 Kč	14 186 290 Kč	14 334 105 Kč	14 486 061 Kč
DISKONTOVANÉ NÁKLADY	2,20%	14 042 501 Kč	140 693 Kč	141 520 Kč	142 353 Kč
KUM. DISKONTOVANÉ NÁKLADY		14 042 501 Kč	14 183 194 Kč	14 324 714 Kč	14 467 067 Kč
NPV					18 946 141 Kč

Obrázek 10: Ukázka simulace nákladů životního cyklu

Kalkulace nákladů životního cyklu (Obrázek 10) se skládá z počáteční investice, z nákladů na vytápění a přípravu teplé vody a z nákladů na revize, opravy a údržbu, které byly vypočítány na předchozím listu (Obrázek 11). V případě volby ploché střechy s vegetačním souvrstvím jsou k nákladům na servisní prohlídky tepelného zdroje připočítány i náklady na údržbu zelené střechy, které zahrnují především sekání a hnojení travnatého koberce. Odhad těchto ročních nákladů je asi 20 000 Kč.

Náklady na pořízení obálky:	14 042 501 Kč
Roční palivové náklady na vytápění:	91 843 Kč
Roční palivové náklady na přípravu teplé vody:	46 545 Kč
NPV	18 946 141 Kč

Obrázek 11: Hodnoty vstupující do kalkulace nákladů životního cyklu

Při sestavování kalkulace jsem vycházela ze zjednodušeného deterministického přístupu (viz. kapitola 3.2.4.1), který je založen na předpokladu, že každá vstupní hodnota je fixní. Díky tomu ovšem zahrnuje jistou nejistotu v odhadech současných hodnot.

Vstupními hodnotami byly výše porovnávaných nákladů, míry meziročních růstů cen, které vznikly jako hrubé odhady na základě trendů posledních let, a průměrná roční míra inflace, která se dle statistik ČNB v minulém roce 2018 pohybovala kolem 2,2 %.



Výše nákladů v jednotlivých letech byla stanovena dle vztahu:

$$N_t = N_{t-1} \cdot (1 + r)$$

Rovnice 17: Výše nákladů jednotlivých let

kde N_t jsou náklady daného roku
 N_{t-1} jsou náklady předchozího roku
 r je míra meziročního růstu cen

Diskontované roční náklady byly stanoveny dle vztahu:

$$N_{disk,t} = \frac{N_t}{(1 + i)^T}$$

Rovnice 18: Výše diskontovaných nákladů jednotlivých let

kde N_t jsou náklady daného roku bez vlivu míry inflace
 i je míra inflace
 T je délka období (roky)

Kumulované náklady, ať už s vlivem inflace nebo bez, byly stanoveny jako:

$$N_{kum,t} = N_t + N_{t-1}$$

Rovnice 19: Kumulované náklady

kde $N_{kum,t}$ je hodnota kumulovaných nákladů v dané roce
 N_t jsou náklady daného roku
 N_{t-1} jsou náklady předchozího roku

Kumulované diskontované náklady v posledním roce hodnoceného období odpovídají čisté současné hodnotě (NPV). V tomto případě se jedná o součet všech záporných peněžních toků souvisejících s projektem, která je rozhodující při porovnávání jednotlivých přípustných kombinací.

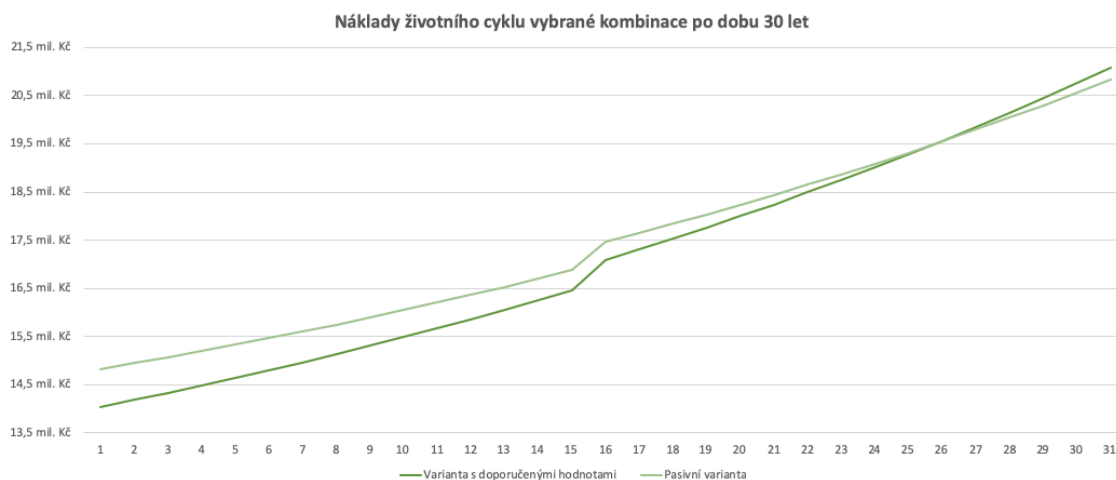
Ve spodní části třetího listu je opět utvořena simulace nákladů životního cyklu i pro pasivní alternativu a vypočítána prostá doba návratnosti investice do obálky budovy, která splňuje doporučené hodnoty prostupu tepla pro pasivní domy. Tato doba u všech kombinací překračuje hranici 30 let, což znamená, že samotná investice do lepšího zateplení není v rozumném období návratná. Vynaložená investice je v porovnání ušetřených ročních nákladů příliš velká.

Prostá doba návratnosti:

$$T_s = \frac{IN}{CF}$$

Rovnice 20: Prostá doba návratnosti

kde IN je výše investice do lepšího zateplení
 CF je hodnota ročních úspor



Obrázek 12: Průběh nákladů životního cyklu

Následující graf (Obrázek 12) zobrazuje průběh kumulovaných nákladů vybrané kombinace a její pasivní alternativy. V časovém průběhu lze vidět dva okamžiky, které stojí za podrobnějším popisem. První nastává v 15. roce, ve kterém je uvažováno s vyšší jednorázovou investicí do výměny tepelného zdroje. Druhý důležitý okamžik je průsečík dvou sledovaných křivek, kde kumulované náklady zvolené kombinace začínají být vyšší než kumulované náklady její pasivní alternativy. Tím začíná docházet k postupnému návratu vynaložené investice do lepšího zateplení.

4.4.4 Výsledné porovnání

Čtvrtý a zároveň poslední list výpočtového modulu je věnován výslednému porovnání všech přípustných variant. Celkem mohlo vzniknout 12 kombinací konstrukcí obálky budovy a tepelného zdroje: šest se soustavou kondenzačních plynových kotlů a šest s obdobnou soustavou tepelných čerpadel. Závěrečné vyhodnocení jsem rozdělila do těchto dvou šestičlenných skupin.

Přehled všech možných kombinací a časových průběhů jejich kumulovaných nákladů v čase je možné vidět na obrázcích níže:

Kombinace se soustavou tepelných čerpadel:

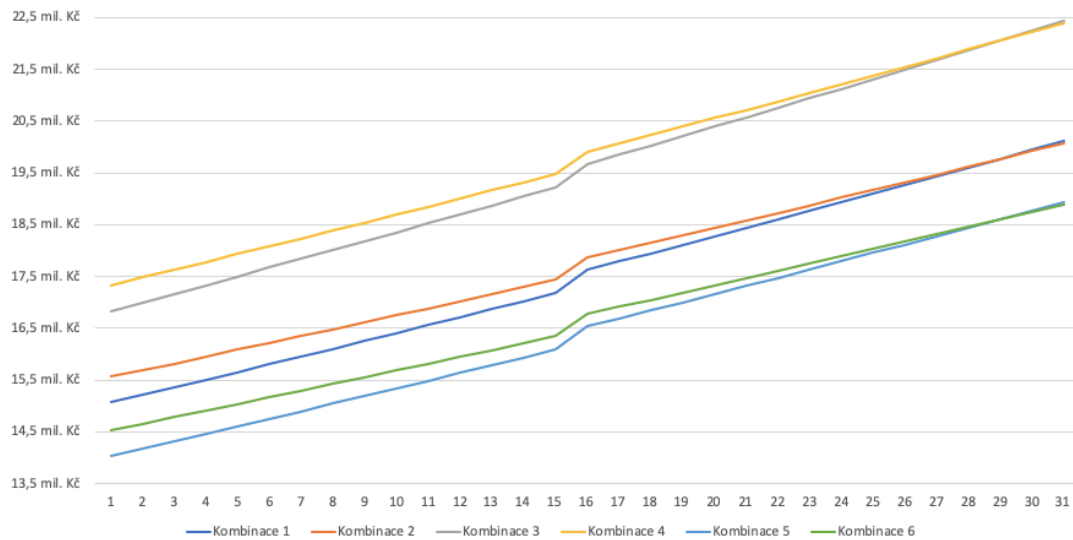
PŘÍPUSTNÉ KOMBINACE SE SOUSTAVOU TEPELNÝCH ČERPADEL

Kombinace	Obvodová stěna 1.NP	Obvodová stěna ostatních NP	Střešní konstrukce	Výplně otvorů	Podlaha k nevyt. prostoru	Tepelný zdroj	NPV
Kombinace 1	Železobetonová stěna	Keramická stěna	Klasická plochá	Izolační dvojsklo	Podlaha k suterénu	Tepelné čerpadlo	20 118 124 Kč
Kombinace 2	Železobetonová stěna	Keramická stěna	Klasická plochá	Izolační trojsklo	Podlaha k suterénu	Tepelné čerpadlo	20 072 110 Kč
Kombinace 3	Železobetonová stěna	Keramická stěna	Vegetační	Izolační dvojsklo	Podlaha k suterénu	Tepelné čerpadlo	22 439 822 Kč
Kombinace 4	Železobetonová stěna	Keramická stěna	Vegetační	Izolační trojsklo	Podlaha k suterénu	Tepelné čerpadlo	22 393 807 Kč
Kombinace 5	Dřevěná stěna	Dřevěná stěna	Z příhradových vazníků	Izolační dvojsklo	Podlaha k suterénu	Tepelné čerpadlo	18 946 141 Kč
Kombinace 6	Dřevěná stěna	Dřevěná stěna	Z příhradových vazníků	Izolační trojsklo	Podlaha k suterénu	Tepelné čerpadlo	18 900 127 Kč

Obrázek 13: Přípustné kombinace se soustavou tepelných čerpadel



Průběh nákladů životního cyklu všech přípustných kombinací se soustavou tepelných čerpadel



Obrázek 14: Průběh nákladů životního cyklu všech přípustných kombinací se soustavou tepelných čerpadel

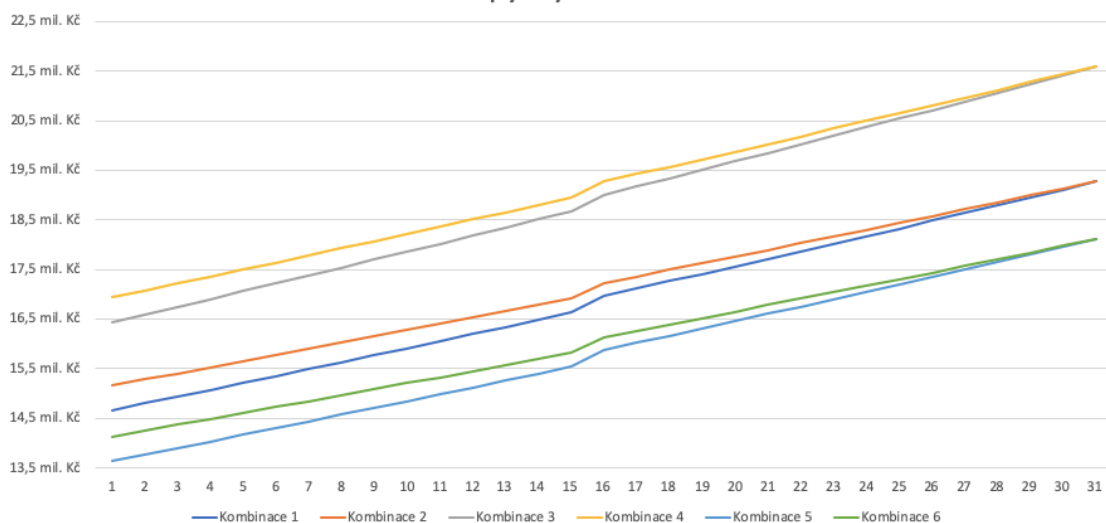
Kombinace se soustavou plynových kotlů:

PŘÍPUSTNÉ KOMBINACE SE SOUSTAVOU KONDENZAČNÍCH PLYNOVÝCH KOTLŮ

Kombinace	Obvodová stěna 1.NP	Obvodová stěna ostatních NP	Střešní konstrukce	Výplně otvorů	Podlaha k nevyt. prostoru	Tepelný zdroj	NPV
Kombinace 1	Železobetonová stěna	Keramická stěna	Klasická plochá	Izolační dvojsklo	Podlaha k suterénu	Kondenzační plynový kotel	19 276 956 Kč
Kombinace 2	Železobetonová stěna	Keramická stěna	Klasická plochá	Izolační trojsklo	Podlaha k suterénu	Kondenzační plynový kotel	19 276 875 Kč
Kombinace 3	Železobetonová stěna	Keramická stěna	Vegetační	Izolační dvojsklo	Podlaha k suterénu	Kondenzační plynový kotel	21 598 653 Kč
Kombinace 4	Železobetonová stěna	Keramická stěna	Vegetační	Izolační trojsklo	Podlaha k suterénu	Kondenzační plynový kotel	21 598 572 Kč
Kombinace 5	Dřevěná stěna	Dřevěná stěna	Z příhradových vazníků	Izolační dvojsklo	Podlaha k suterénu	Kondenzační plynový kotel	18 117 151 Kč
Kombinace 6	Dřevěná stěna	Dřevěná stěna	Z příhradových vazníků	Izolační trojsklo	Podlaha k suterénu	Kondenzační plynový kotel	18 117 069 Kč

Obrázek 15: Přípustné kombinace se soustavou kondenzačních plynových kotlů

Průběh nákladů životního cyklu všech přípustných kombinací se soustavou kondenzačních plynových kotlů



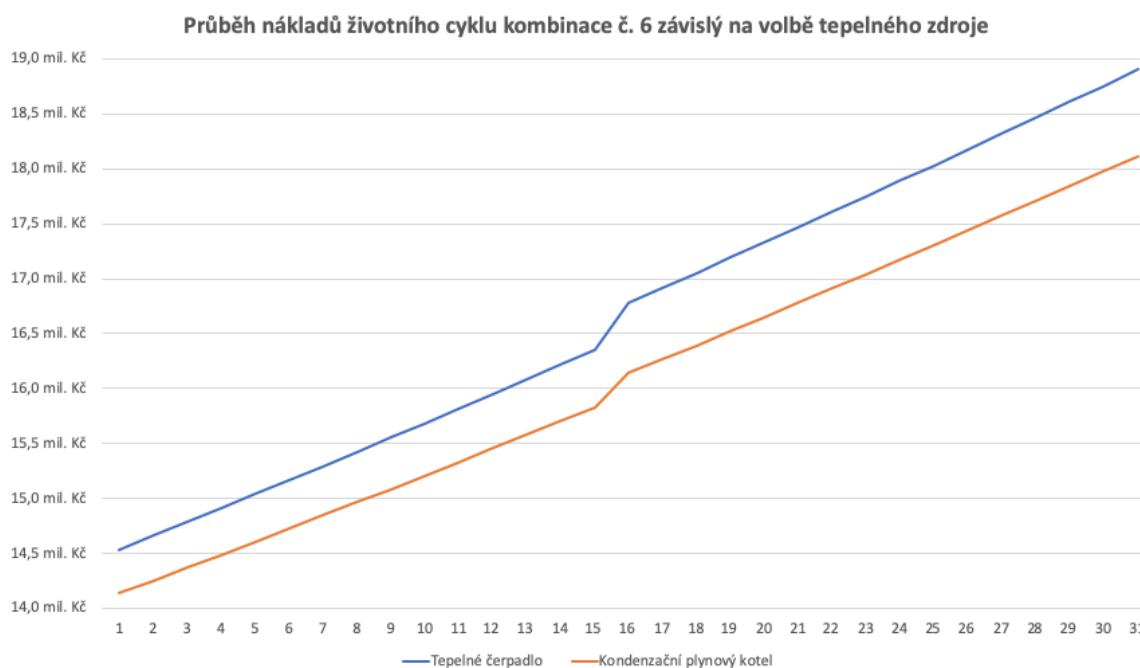
Obrázek 16: Průběh nákladů životního cyklu všech přípustných kombinací se soustavou plynových kondenzačních kotlů



Kritériem k výběru neoptimalnější varianty byla nejnižší hodnota kumulovaných diskontovaných nákladů v poslední roce hodnoceného období (NPV). Těto hodnoty dosáhla kombinace č. 6 se soustavou plynových kondenzačních kotlů, tedy dřevostavba, u které je zasklení výplní otvorů tvořeno izolačním trojsklem.

Nejvyšší hodnotu NPV mají obecně kombinace s vegetační střechou. Její pořizovací náklady a náklady na pravidelnou údržbu, která zahrnuje pravidelné sekání, hnojení a zavlažování, jsou oproti klasickým střechám daleko vyšší. Ne vždy je však dobré dívat se pouze na ekonomickou stránku věci. Zelené střechy totiž nejen zlepšují mikroklima a zkrášlují jinak nevyužitou plochu, ale také chrání hydroizolační vrstvu před teplotními výkyvy a klimatickými vlivy a prodlužují tím její životnost. V létě výrazně přispívají k ochlazení budovy a zadržují dešťovou vodu, čímž odlehčují kanalizačnímu řádu a současně díky odpařování zachycené vody prostřednictvím listů rostlin ochlazují a zvlhčují své okolí.

Z jiného úhlu je vhodné dívat se i na pořízení tepelného čerpadla. Materiálová kombinace obálky budovy č. 6 dosáhla nejnižší hodnoty NPV jak se soustavou tepelných čerpadel, tak i se soustavou plynových kondenzačních kotlů. Ovšem rozdíl těchto hodnot je 783 058 Kč (Obrázek 17), což je poměrně vysoké číslo. Způsobují to velké rozdíly v pořizovacích cenách zdrojů a v cenách za dodávky energií. Provoz tepelného čerpadla je ale šetrnější k životnímu prostředí, snižuje emise skleníkových plynů a spotřebu nerostných surovin jako je plyn nebo uhlí. Proto je tento způsob vytápění podporovaný státem formou různých dotací jako je například Nová zelená úsporám nebo Kotlíkové dotace.



Obrázek 17: Průběh nákladů životního cyklu kombinace č. 6 závislý na volbě tepelného zdroje



5 ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se věnovala především udržitelnosti ve výstavbě a jejím ekonomickým aspektům.

V teoretické části byly shrnuty současné tepelně technické požadavky pro navrhování budov a požadavky na jejich energetickou náročnost. Zároveň zde byly popsány základní principy tvorby kalkulace nákladů životního cyklu. Cílem praktické části byl reálný návrh několika variant konstrukcí obálky budovy a tepelných zdrojů, které lze mezi sebou kombinovat.

Pro vzájemné porovnání vzniklých dvanácti kombinací jsem vytvořila jednoduchý výpočetní modul, který pro každou z nich sestavil průběh kumulovaných nákladů životního cyklu po dobu třiceti let. Jako nejoptimálnější varianta byla zvolena ta s nejnižší čistou současnou hodnotou v posledním roce zkoumaného období. Podrobnější výsledné porovnání a hodnocení je uvedené v předchozí kapitole.

Jedním z nedostatků této práce je výše zmíněné jednokriteriální rozhodování. Ve své pozdější diplomové práci bych se mohla detailněji věnovat například posouzení jednotlivých kombinací z hlediska dopadu na životní prostředí nebo na rychlost provádění výstavby.



Seznam zdrojů a citované literatury

1. ČSN 73 0540-2 *Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
2. Svoboda, Zbyněk. Katedra konstrukcí pozemních staveb. [Online] kps.fsv.cvut.cz/file_download.php?fid=7907.
3. ČSN 73 0540-4 *Tepelná ochrana budov - Část 4: Výpočtové metody*. Praha : Český normalizační institut, 2005.
4. Stavební klub. [Online] 2012. <https://www.stavebniklub.cz/33/difuze-a-kondenzace-vodni-pary-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4Eju20Cq8haXehWBaHAibcSaw9PBWuC7BmQ/>.
5. *Vyhláška č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov*. Praha : Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2013.
6. prof. Ing. Petr Hájek, CSc. Udržitelná výstavba budov a její uplatňování ve střední Evropě. *Časopis stavebnictví*. [Online] 2007. https://www.casopisstavebnictvi.cz/udrzitelna-vystavba-budov-a-jeji-uplatnovani-ve-stredni-evrope__N465.
7. doc. Ing. Renáta Schneiderová Heralová, Ph.D. *Udržitelné pořizování staveb*. Praha : Wolters Kluwer ČR, a.s., 2011.
8. Ing. Sylva Bantová, Ph. D. *Ústav pozemního stavitelství*. [Online] https://www.fce.vutbr.cz/PST/bantova.s/CH003/Uem_vypocet.pdf.
9. Šubrt, Ing. Roman. Co je tepelná ztráta objektu a výpočet potřeby tepla na vytápění. *www.revitalizace.com*. [Online] <https://www.revitalizace.com/teorie-vypocty/co-je-tepelna-ztrata-objektu-a-vypocet-potreby-tepla-na-vytapeni/>.
10. ČSN 73 0540-1 *Tepelná ochrana budov - Část 1: Terminologie*. Praha : Český normalizační institut, 2005.
11. ČSN 73 0540-3 *Tepelná ochrana budov - Část 3: Návrhové hodnoty veličin*. Praha : Český normalizační institut, 2005.
12. Milan Kubíček, Martin Čepička. Vytápíte kotlem? Přinášíme přehled povinných revizí, díky kterému se vyhnete pokutám. *TZB-info*. [Online] 2017. <https://vytapeni.tzb-info.cz/15205-vytapite-kotlem-prinasime-prehled-povinnych-revizi-diky-kteremu-se-vyhnete-pokutam>.
13. Ing. Tomáš Straka, Ph.D., Ing. Josef Hodboď. Tepelná čerpadla a kontroly těsnosti od 1. ledna 2017. *TZB-info*. [Online] <https://vytapeni.tzb-info.cz/14986-tepelna-cerpadla-a-kontroly-tesnosti-od-1-ledna-2017>.



Příloha 1: Tepelně technické posouzení skladeb navržených konstrukcí



Příloha 2: Položkové rozpočty



Příloha 3: Technické listy navržených tepelných zdrojů



Příloha 4: Ceny dodávek energií