

MORAVSKÁ VYSOKÁ ŠKOLA OLMOUC

Ústav managementu a marketingu

Petr Kalábek

Stanovení energetické náročnosti budovy a její optimalizace

Determining of the Energy Performance of the Building and its
Optimization

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Ladislav Chmela, Ph.D.

Olomouc 2015

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jen uvedené informační zdroje. Prohlašuji, že odevzdaná tištěná verze bakalářské práce se shoduje s elektronickou verzí vloženou do IS/STAG.

Olomouc.....

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu práce panu Ing. Ladislavovi Chmelovi, Ph.D. za jeho užitečné rady, pomoc při sestavování této práce a schovívavost s mým stylem psaní. Velice si vážím jeho vstřícnosti a nasazení, které po celou dobu naší spolupráce projevoval. Je mi ctí mu pográtulovat k jeho nedávnému získání doktorského titulu - ať se mu i nadále daří.

Obsah

| | |
|--|-----------|
| ÚVOD | 6 |
| 1 SROVNÁNÍ NÍZKOENERGETICKÉ A PASIVNÍ BUDOVY | 7 |
| 1.1 ZÁKLADNÍ ASPEKTY BUDOV | 7 |
| 1.2 POROVNÁNÍ NÍZKOENERGETICKÉHO S PASIVNÍM DOMEM | 8 |
| 2 LEGISLATIVNÍ DOKUMENTY A NORMY SOUVISEJÍCÍ S VÝSTAVBOU BUDOV | 10 |
| 3 ENERGETICKÁ NÁROČNOST BUDOVY A JEJÍ STANOVENÍ..... | 12 |
| 3.1 STANOVENÍ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY | 12 |
| 4 HODNOCENÍ EFEKTIVNOSTI INVESTIC | 15 |
| 4.1 FINANCOVÁNÍ | 15 |
| 4.2 CASH FLOW | 16 |
| 4.3 ČISTÁ SOUČASNÁ HODNOTA | 17 |
| 4.4 VNITŘNÍ VÝNOSOVÉ PROCENTO | 17 |
| 5 ANALÝZA PASIVNÍHO DOMU | 18 |
| 5.1 ZÁKLADNÍ INFORMACE O PASIVNÍM DOMU | 18 |
| 5.2 TECHNIKA STAVBY | 19 |
| 5.3 VÝPOČET MĚRNÉHO TEPELNÉHO TOKU PRO PODLAHU | 19 |
| 5.4 VÝPOČET MĚRNÉHO TEPELNÉHO TOKU PRO OBVODOVOU STĚNU | 20 |
| 5.5 VÝPOČET MĚRNÉHO TEPELNÉHO TOKU PRO NEKLIMATIZOVANÉ PROSTORY | 21 |
| 6 HODNOCENÍ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI ČTYŘ VARIANT INVESTICE | 23 |
| 6.1 VÝSLEDKY PRO PASIVNÍ REÁLNOU BUDOVU | 23 |
| 6.2 VÝSLEDKY PRO NÍZKOENERGETICKOU VARIANTU 1 | 24 |
| 6.3 VÝSLEDKY PRO NÍZKOENERGETICKOU VARIANTU 2 | 25 |
| 6.4 VÝSLEDKY PRO VARIANTU SPLŇUJÍCÍ NORMU | 25 |
| 7 NÁVRATNOST VYŠŠÍ INVESTICE DO PASIVNÍHO DOMU A SROVNÁNÍ VARIANT | 27 |
| 7.1 ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ | 29 |
| ZÁVĚR | 31 |

| | |
|----------------------------------|-----------|
| ANOTACE | 32 |
| LITERATURA A PRAMENY..... | 33 |
| PŘÍLOHY | 34 |
| PŘÍLOHA PRO TABULKU A | 34 |
| PŘÍLOHA PRO TABULKU B | 36 |
| PŘÍLOHA PRO TABULKU C | 38 |

Úvod

Cílem bakalářské práce je stanovit energetickou náročnost pasivního domu. Tu pak následně porovnat z hlediska ekonomického přínosu energetických úspor s náročností budovy s nízkoenergetickým standardem dle aktuální normy.

Toto srovnání může sloužit jako podklad pro rozhodování investora zvažujícího investovat do rodinného domu. Stanovení energetické náročnosti budovy v tomto případě rodinného domu jsem si vybral pro jeho aktuálnost a také celosvětovým trendem snižování spotřeby energií. Což jde ruku v ruce i při řešení problému globálního oteplování a znečišťování životního prostředí.

V první části uvedu rozdíly mezi porovnávanými domy dle normy, zaměřím se na ekonomickou podstatu dané problematiky, vysvětlení základních kritérií posuzovaných při výstavě domů, legislativy, apod. Obsahem práce v druhé části bude vytvoření kalkulací na obě zmíněné varianty, čímž zjistím prostupnost tepla, výhodnost použitých technologií a materiálů. Dále zjistím náklady na výstavbu těchto domů a vypočítám, kolik domy za uspořenou energii ušetří. Na závěr tyto hodnoty porovnáám, abych dosáhl zjištění, která z těchto variant je lepší z hlediska finanční návratnosti.

1 Srovnání nízkoenergetické a pasivní budovy

Cílem kapitoly je nastínit rozdíly mezi nízkoenergetickou a pasivní stavbou. Nejprve uvedu základní aspekty, na které je brán ohled při navrhování budovy. V další části pak porovnam zmíněné standardy dle příslušných norem, které později využiji při výpočtech a porovnávání vlastních budov v praktické části.

1.1 Základní aspekty budov

Abychom mohli budovu zařadit alespoň do nízkoenergetického standardu, musí splňovat určitá kritéria. Tyto kritéria nalezneme například v normě ČSN 73 0540¹, která mimo jiné upravuje hodnoty součinitele prostupu tepla. Pro dosažení nízkoenergetické stavby je nutno aby budova dosahovala alespoň doporučených hodnot normy. Níže shrnuji nejpodstatnější k základním aspektům budov dle J. Smoly:²

Správné situování stavby na pozemku má také určitý vliv na její energetickou náročnost. Zde se jedná o umístění budovy tak, aby bylo dosaženo co největších solárních zisků, což náročnost sníží. Dále by se měla volba správného místa opírat o další elementy, jako je vítr, vlhkost a teplota ovzduší či intenzita srážek dané oblasti.

Budova by měla mít co nejjednodušší tvar v návaznosti na poměr jejího povrchu k celkovému objemu. Geometrický tvar, který je nejideálnější má koule, ale ta se nedá realizovat. Je tedy jasné, že cílem by mělo být uspořádat velký objem stavby do co nejmenšího povrchu stěn. Samozřejmě i zde platí, že správná volba tvaru by se měla opírat o již zmíněné elementy působící v dané lokalitě. S tím také souvisí správný sklon a volba střechy.

Správné rozložení vnitřních prostor ke světovým stranám má také za následek lepší využití získaného tepla ze slunce. A také je vhodné místnosti, které nejsou trvale obývány, odizolovat od obývaných, jelikož dochází k výměně tepla a tím ke ztrátám.

Dům musí být dostatečně tepelně odizolován od okolí. Šířka tepelná izolace by měla být adekvátní k částem domu, jelikož teplý vzduch stoupá vzhůru. Musí být tedy izolace na střeše nejširší, na podlaze v suterénu bude nejtenčí a na stěnách bude tloušťka někde mezi zmíněnými. Izolace dále zajišťuje eliminování tepelných mostů. Ty se nejčastěji vyskytují v přechodech například mezi zdí a oknem či dveřmi.

¹ ČSN 73 0540. *Tepelná ochrana budov.*

² Srov: SMOLA, J., *Stavba a užívání nízkoenergetických a pasivních domů*, s. 98, 99, 111.

Velké ztráty také představují okna. Jejich velikost a umístění v návaznosti na světové strany je velmi důležité. Zde bilancujeme na ztrátách tepla způsobených únikem tepla okny a jejich solárním přínosem. Dalším faktorem, který nám sem vstupuje, je fakt, že menší okna zvyšují spotřebu energie na svícení.

Vzduchotěsnost je dalším kritériem, které má několik stran. Jednou z nich je fakt, že čím izolovanější dům je, tím nižších tepelných ztrát dosahuje. Sem nám ale vstupuje fakt, že je potřeba z hygienických důvodů vzduch vyměňovat. Řešením je využití moderních technologií, jako je například větrání s rekuperací či zemní výměník vzduchu.

V poslední řadě je také zapotřebí kontrola. Měří se únik tepla, vzduchotěsnost a kvalita zpracování.

1.2 Porovnání nízkoenergetického s pasivním domem

Základním rozdílem mezi pasivním a nízkoenergetickým domem je v izolaci, která je v případě pasivního domu účinnější a musí eliminovat všechny tepelné mosty. Pasivní dům těž splňuje všechny výše zmíněná kritéria, ale je konstruován tak, aby dosahoval ještě menší energetické náročnosti, z čehož plyne i vyšší náročnost na konstrukční detaily.³ Pro srovnání je izolace stěn u nízkoenergetického domu široká přibližně 20–25 cm a v pasivním domě 30–40 cm v závislosti na technologii. V pasivním domě se používají jen spotřebiče s nízkou spotřebou energie, tedy skupiny A a lepší. Dále se počítá i s vnitřními tepelnými zisky, které vytváří spotřebiče.⁴ Pro další srovnání maximálních hodnot dle normy jsem vytvořil tabulku:

| Typ domu: | Nízkoenergetický | Pasivní |
|---|--|---|
| Součinitel prosupu tepla: | | |
| Obvodové konstrukce: | 0,25 W.m-2.K-1 | 0,15 W.m ⁻² .K ⁻¹ |
| Střecha: | 0,16 W.m-2.K-1 | 0,12 W.m ⁻² .K ⁻¹ |
| Okna: | 1,1 W.m ⁻² .K ⁻¹ | 0,8 W.m ⁻² .K ⁻¹ |
| Roční plošná spotřeba tepla na vytápění: | 50 kWh/(m ² .a) | 15 kWh/(m ² .a) |
| Celková vzduchotěsnost: | n ₅₀ <1,0 h ⁻¹ | n ₅₀ <0,6 h ⁻¹ |

Tab. 1 Hodnoty izolace a spotřeby pasivního a nízkoenergetického domu⁵

³ Srov. SMOLA, J., *Stavba a užívání nízkoenergetických a pasivních domů*, s. 100.

⁴ Srov. Tamtéž, s. 98, 99, 158, 181.

⁵ Srov. ČSN 73 0540-2, s. 36.

Obvodová konstrukce u pasivního domu by měla být dle normy téměř vzduchotěsná s tím, že větrání je zde zajišťováno nuceně. Tento způsob větrání by měl mít minimální účinnost zpětného získávání tepla 75% a samozřejmě nízkou náročnost na energii pro provoz. Rozvod teplé vody by měl být opatřen izolací pro co nejvyšší eliminaci tepelných ztrát.⁶

⁶ Srov. ČSN 73 0540-2, s. 36.

2 Legislativní dokumenty a normy související s výstavbou budov

V této kapitole shrnuji normy, které jsou potřeba při výpočtu energetické náročnosti budov a podle kterých se postupuje. Dále pak vybrané vyhlášky pojednávajících o energetickém štítku a výpočtu energetické náročnosti budov:

ČSN 73 0540-1 – „Tato norma vymezuje termíny užívané v oboru stavební tepelné techniky, definice veličin, jejich značky a jednotky popisující šíření tepla, vlhkosti a vzduchu stavebními materiály a konstrukcemi a popisující stav vnitřního a venkovního prostředí používané v ČSN 73 0540 -2,3 a 4.“⁷

ČSN 73 0540-2 – „Tato norma stanovuje tepelně technické požadavky pro navrhování a ověřování budov s požadovaným stavem vnitřního prostředí při jejich užívání, které podle stavebního zákona zajišťují hospodárné splnění základního požadavku na úsporu energie

a tepelnou ochranu budov. Platí pro nové budovy a pro stavební úpravy, udržovací práce, změny v užívání budov a jiné změny dokončených budov.“⁸

ČSN 73 0540-3 – „Tato norma stanoví normové, charakteristické a návrhové hodnoty fyzikálních veličin stavebních materiálů, výrobků, výplní otvorů, zdících prvků a zdiva, návrhové hodnoty veličin venkovního prostředí, vnitřního prostředí a vzduchu pro navrhování a ověřování stavebních konstrukcí z hlediska šíření vlhkosti a budov z hlediska jejich tepelné ochrany podle ČSN 73 0540-4 a norem souvisejících.“⁹

ČSN 73 0540-4 – „Tato norma stanovuje a upřesňuje výpočtové metody pro navrhování a ověřování konstrukcí a budov podle požadavků na tepelnou ochranu budov a úsporu energie na jejich vytápění, daných v ČSN 73 0540-2 a ve zvláštních předpisech. Platí pro stanovení vlastností konstrukcí a budov, užívané ve výpočtech tepelných soustav v budovách a dalších výpočtech pro stanovení energetické náročnosti budov.“¹⁰

ČSN EN ISO 6946 – Tato norma zahrnuje výpočet odporu a součinitele prostupu tepla stavebními konstrukcemi.¹¹

⁷ ČSN 73 0540, s. 10.

⁸ ČSN 73 0540-2, s. 5.

⁹ ČSN 73 0540-3, s. 7.

¹⁰ ČSN 73 0540-4, s. 6.

¹¹ Srov. ČSN EN ISO 6946, s. 1.

ČSN EN ISO 13790 – Informuje o výpočtových algoritmech spotřeby energie na vytápění a chlazení.¹²

ČSN EN ISO 13370 – Tato norma řeší přenos tepla zeminou včetně výpočtových postupů, součinitelů prostupu tepla a tepelných vlastností zeminy a stavebních hmot.¹³

ČSN EN ISO 13789 – Norma pojednává o výpočtových postupech při stanovování měrných tepelných toků prostupem tepla a větráním.¹⁴

Vyhláška č. 148/2007 – „Tato vyhláška zapracovává příslušný předpis Evropských společenství, byla oznámena v souladu se směrnicí Evropského parlamentu a Rady 98/34/ES ze dne 22. června 1998 o postupu poskytování informací v oblasti technických norem

a předpisů a pravidel pro služby informační společnosti, ve znění směrnice 98/48/ES, a stanoví:

- a) požadavky na energetickou náročnost budov, porovnávací ukazatele a výpočtovou metodu stanovení energetické náročnosti budov,
- b) obsah průkazu energetické náročnosti budov a způsob jeho zpracování včetně využití již zpracovaných energetických auditů,
- c) rozsah přezkušování osob z podrobností vypracování energetického průkazu budov.¹⁵

Vyhláška č. 268/2009 – Tato vyhláška stanovuje technické požadavky na stavby, na bezpečnost a vlastnosti staveb, požadavky na stavební konstrukce staveb a technická zařízení staveb.¹⁶

¹² Srov. ČSN EN ISO 13790, s. 1, 2.

¹³ Srov. ČSN EN ISO 13370, s. 1, 4.

¹⁴ Srov. ČSN EN ISO 13789, s.1.

¹⁵ Vyhláška č. 148/2007, s. 1855.

¹⁶ Srov. Vyhláška č. 268/2009.

3 Energetická náročnost budovy a její stanovení

Stanovení energetické náročnosti budovy je důležitým krokem při zjišťování návratnosti investic. Jejím výpočtem nejen že zjistíme, do které kategorie budova patří, ale i roční spotřebu energií, potažmo náklady na její provoz.

Dle vyhlášky¹⁷ energetickou náročnost budovy zjistíme pomocí výpočtu, do kterého zahrneme veškerou energii dodanou a přijatou do objektu. Dodanou energii používáme na vytápění, klimatizaci, chlazení, větrání, osvětlení a ohřev vody. energii počítáme celkovou za rok pomocí bilančního hodnocení. Toto hodnocení se běžně provádí měsíčně, ale není to podmínkou. Ve výsledku tedy sečteme všechny naměřené hodnoty za rok pro všechny místnosti, kde dochází k chlazení, větrání apod.

Při stanovování energetické náročnosti můžeme narazit na problém tepelných mostů. Dle normy ČSN 73 0540-4 nemusíme jejich vliv zahrnovat do výpočtu, pokud jejich celkové působení nepřesáhne 5% součinitele prostupu tepla.

3.1 Stanovení energetické náročnosti budovy

Pro stanovení nás bude v první řadě zajímat, jaké faktory na danou budovu působí a jejich správné určení. V případě rodinného domu nám energetickou náročnost budou ovlivňovat tyto druhy potřeb:¹⁸

- vytápění,
- větrání,
- klimatizace a chlazení vzduchu v budově,
- ohřev vody,
- osvětlení a provoz spotřebičů.

Do výpočtu také zahrneme zisky z provozu spotřebičů v podobě tepelné energie a také zisky ze slunečního záření. Teoretický výpočet nebude ovšem stoprocentní, jelikož v něm nebude z důvodu vysoké obtížnosti provedení zahrnutý výskyt osob. Je obecně známo že lidské tělo produkuje teplo a jako takové mění svou intenzitu podle činností, které osoba vykonává (málo tepla při spánku a klidu a naopak vyšší při tělesné námaze). Pro zjištění energetické náročnosti budovy musíme také počítat se součinitelem prostupu tepla obálkou budovy, jelikož nám ovlivňuje jak vytápění, tak ochlazování budovy. Pro tento výpočet použijeme následující vztah platný pro výpočet

¹⁷ Srov. Vyhláška č. 148/2007, s. 1857.

¹⁸ Srov. POČINKOVÁ, M., Úsporný dům, s. 4, 5.

střechy

a obvodové stěny:¹⁹

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

Pro výpočet součinitele prostupu tepla podlahou použijeme vztah:²⁰

$$U = \frac{\lambda}{0,475B' + d_t}$$

$$B' = \frac{A}{0,5P}$$

$$d_t = w + \lambda * (R_{si} + \sum R + R_{se})$$

Vztah pro tepelný odpor:²¹

$$R_t = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i}$$

U – součinitel prostupu tepla [$W/(m^2 \cdot K)$]

R_{si} – odpor při prostupu tepla přes vnitřní stranu konstrukce [$m^2 \cdot K/W$]

R_{se} – odpor při prostupu tepla přes vnější stranu konstrukce [$m^2 \cdot K/W$]

R_t – tepelný odpor konstrukce [$m^2 \cdot K/W$]

B' – charakteristický rozměr podlahy [m]

z – hloubka podlahy suterénu pod úrovní terénu [m]

d_t – celková ekvivalentní tloušťka [m]

w – celková tloušťka obvodových stěn [m]

d – šířka vrstvy i [m]

λ – součinitel tepelné vodivosti materiálu ve vrstvě [$W/(m \cdot K)$]

Hodnoty R_{si} a R_{se} získám z tabulky v normě²².

Pro výpočet měrného tepelného toku tepla zeminou budeme potřebovat tento vzorec:²³

¹⁹ CHYBÍK, J., Energeticky úsporná výstavba, s. 38.

²⁰ ČSN EN ISO 13370, s. 14, 15.

²¹ CHYBÍK, J., Energeticky úsporná výstavba, s. 38.

²² ČSN EN ISO 6946, s. 8.

$$H_g = AU + P\psi_g$$

A – plocha podlahy [m²]

P – exponovaný obvod podlahy [m]

□g – lineární součinitel prostupu tepla [W/(m*K)]

Pro výpočet měrného tepelného toku tepla stěnou budeme potřebovat tento vzorec:²⁴

$$H_D = \sum_i A_i U_i$$

Průměrný tepelný vliv vazeb byl stanoven expertním odhadem na 0,02 W/(m²*K)²⁵

Tato hodnota se vynásobí plochou.

Měrný tepelný tok přes neklimatizované prostory (půda) zjistíme ze vztahu:²⁶

$$H_u = H_{iu} b$$

$$b = \frac{H_{ue}}{H_{iu} + H_{ue}}$$

b – redukční činitel

H_{iu} – měrný tepelný tok mezi neklimatizovaným a klimatizovaným prostorem

H_{ue} – měrný tepelný tok mezi neklimatizovaným prostorem a vnějším prostředím

Přenos tepla do přiléhajících budov vypočítáme z těchto vzorců:

$$H_A = b H_{ia}$$

$$b = \frac{\theta_i - \theta_a}{\theta_i - \theta_e}$$

H_{ia} – měrný tepelný tok mezi klimatizovaným prostorem a přiléhající budovou

□_i – teplota uvnitř klimatizované budovy

□_a – teplota uvnitř přiléhající budovy

□_e – teplota venkovního prostředí

²³ ČSN EN ISO 13370, s. 8.

²⁴ ČSN EN ISO 13789, s. 10.

²⁵ Srov. ČSN 73 0540-4, s. 58.

²⁶ ČSN EN ISO 13789, s. 11.

4 Hodnocení efektivnosti investic

Ve své práci budu počítat návratnost investic pro různé varianty domu, abych je mezi sebou mohl porovnat, čímž zjistím, jak jsou výhodné. Investice budu posuzovat z dlouhodobého hlediska. „Investice představuje jednorázový úbytek za účelem pozdějšího zisku nebo snížení výdajů. U investic nás zajímá budoucí užitek, riziko projektu a doba, za kterou se nám investice vrátí. V realitě jsou investice s vysokou likviditou a nízkým rizikem málo výnosné a naopak.“²⁷ Při hodnocení investice postupujeme následovně:

1. Nejdříve určíme výdaje potřebné na investici
2. Poté odhadneme čisté budoucí příjmy plynoucí z investice nebo-li cash flow. Odhad použijeme i na riziko s projektem spojené.
3. Určíme tzv. náklady na kapitál. Jedná se o snížení výnosů z investice (o diskont).
4. Na závěr vypočítáme současnou hodnotu očekávaných výnosů a ty pak porovnáme s výdaji vynaloženými na investici.

V případě projektu výstavby domu by nemuselo být obtížné určit výdaje viz. Bod 1. Předběžnou cenu nám stanoví stavební firma. Nesmíme ovšem zapomínat že tento odhad se může lišit od skutečné ceny. V případě domu musíme počítat s dobou, kdy se bude dům stavět, pokud nekupujeme už postavený. Pak nám odpadá i odhad ceny investice jelikož cena je už stanovená. Další faktor, který bychom neměli přehlédnout je inflace.

4.1 Financování

Jak lze investice financovat a která forma je kdy výhodná lze zjistit dle M. Synka:²⁸

Financovat investice lze tedy dvěma způsoby:

- Vlastním kapitálem
- Cizím kapitálem

Vlastními zdroji v podniku jsou vklady, nerozdělený zisk, odpisy a výnosy (z prodeje či likvidace majetku nebo zásob). Při financování pomocí vlastního kapitálu můžeme využít tzv. samofinancování. Jedná se o využití nerozděleného zisku v podniku k financování investice. Cizími zdroji rozumíme úvěry, obligace, leasing, dlouhodobé

²⁷ SYNEK, M., Manažerská ekonomika, s. 282.

²⁸ Srov. SYNEK, M., Manažerská ekonomika, s. 279-280.

rezervy, dotace apod. Úvěry a podobné produkty získáváme převážně z banky. Pokud chceme získat finance z banky, musíme připravit rozpočet spolu s podnikatelským záměrem. Banky vyžadují, aby podnik uvedl: schopnost splácet úroky, jaké jsou záruky, k čemu je půjčka určena a stupeň zadlužení. Při využívání cizího kapitálu musíme počítat s úroky, což nám zvyšuje celkové náklady na investici. Na druhou stranu je cizí kapitál považován za levnější, jelikož jsou náklady na vlastní kapitál vyšší než na cizí kapitál. Je to způsobeno finanční pákou a daňovým štítem.

4.2 Cash flow

M. Synek²⁹ definuje cash flow jako očekávané příjmy plynoucí z investice. Počítá ročně s tím, že je zapotřebí ve výpočtu zohlednit časový faktor. Je to z důvodu, že hodnota peněz je v budoucnu nižší než aktuální. Vzorec pro výpočet:³⁰

$$SHCF = \frac{CF_1}{(1+k)^1} + \frac{CF_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{CF_n}{(1+k)^n} = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+k)^t}$$

- SHCF - současná hodnota cash flow
- CF_t - očekávaná hodnota cash flow
- k - míra kap. nákladů na investici (podniková diskontní míra)
- t - období 1 až n (v letech)
- n - očekávaná životnost investice (roky)

Při výpočtu cash flow potřebujeme ještě vypočítat podnikovou diskontní míru, jež představuje náklady na kapitál. V případě vlastního kapitálu je to očekávaný výnos z kapitálu a u cizího kapitálu je to úrok. Jelikož podnik většinou využívá oba způsoby, vypočítáme průměrné náklady na kapitál, pro který platí následující vztah:³¹

$$k_0 = W_i k_i (1 - t) + W_p k_p + W_e k_e$$

- k_0 - průměrná míra kap. Nákladů podniku (diskontní míra)
- k_i - úroková míra pro nové úvěry před zdaněním
- t - míra zdanění zisku vyjádřená desetinným číslem
- k_p - míra nákladů na prioritní akcie
- k_e - míra nákladů na nerozdělený zisk a základ. kapitál

²⁹ SYNEK, M., Manažerská ekonomika, s. 287, 290.

³⁰ Tamtéž, s. 290.

³¹ SYNEK, M., Manažerská ekonomika, s. 288.

W_i, W_p, W_e - váhy jednotlivých kap. Složek určené procentem z celkových zdrojů

4.3 Čistá současná hodnota

Jak se zjistí čistá současná hodnota, popisuje M. Synek takto:³²

Čistou současnou hodnotu vypočítáme jako rozdíl mezi cash flow a náklady na investici:³³

$$NPV = PVCF - IN = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+k)^t} - IN$$

PVCF - současná hodnota CF

CF - očekávaná hodnota CF v období t

I - náklady na investici

k - kapitálová náklady na investici

t - období 1-n

n - doba životnosti investice

Z tohoto výpočtu lze získat celkem 3 výsledky. Pokud vyjde kladná hodnota, znamená to, že lze investici přijmout, jelikož je výnosnější, než je požadováno. V případě že výsledkem bude nula, investice přinese požadovaný výnos. Pakliže vyjde záporná hodnota je investice nepřijatelná, protože neuspokojí požadavky investorů či vlastníků.

4.4 Vnitřní výnosové procento

Vnitřní výnosové procento se vypočte z následujícího vztahu:³⁴

$$\sum_{t=1}^{Tsd} CF_t \cdot (1 + IRR)^{-t} - IN = 0$$

Pro výpočet reálné doby návratnosti vyměníme IRR za r tedy diskont.

³² Srov. SYNEK, M., Manažerská ekonomika, s. 295.

³³ SYNEK, M., Manažerská ekonomika, s. 295.

³⁴ Předpis č. 480/2012 Sb.

5 Analýza pasivního domu

V této kapitole budu zjišťovat informace o pasivním domu, u kterého budu provádět výpočty. Uvedu zde základní informace jako například obytnou plochu na jednotlivých podlažích, typy izolací spolu s jejich tloušťkou a metody vytápění. Získané hodnoty pak dosadím do vzorců pro výpočet energetické náročnosti budovy.

5.1 Základní informace o pasivním domu

Dům je konstruován pro 4–8 osob pro trvalé bydlení a jeho součástí je garáž s dílnou. Je to osamocená stavba bez podsklepení, má dvě podlaží a sedlovou střechu. Do objektu vedou dva vchody a to ze severní strany a do druhého podlaží. Kolem domu byla provedena úprava terénu kvůli svažitému pozemku a to na 50 mm pod úroveň 1. Podlaží.

| | |
|---------------------------------|-----------------------------|
| Užitková plocha 1. NP | 105,64 m² |
| z toho obytná plocha: | 71,60 m ² |
| z toho provozní plocha: | 33,56 m ² |
| Užitková plocha 2.NP: | 71,51 m² |
| z toho obytná plocha: | 71,51 m ² |
| Celková užitková plocha: | 177,15 m² |
| z toho celková obytná plocha: | 143,11 m ² |
| z toho celková provozní plocha: | 33,56 m ² |
| Obestavěný prostor: | 715 m² |
| Zastavěná plocha: | 137,74 m² |

Tab. 2 Hodnoty ploch pasivního domu³⁵

Téměř všechny obytné místnosti jsou orientovány na jih kromě ložnice v 1.NP a pokoje v 2.NP, ty jsou orientovány na západ. Okna z obývacího pokoje v 2.NP jsou orientována na západ a na východ. Okno na schodiště a hlavní vstup jsou orientovány na sever.

Svislé nosné konstrukce jsou z nosných betonových tvárnic nebo vápenopískových cihel.

³⁵ Vlastní zpracování dat z technických podkladů domu.

Obvodový plášť je opatřen 360 mm bloky polystyrénu (EPS), izolaci střechy zajišťuje 500mm foukaného rozvolněného EPS a parotěsná fólie oddělující malý prostor krovů. Podlaha je opatřena izolační vrstvou XPS o tloušťce 320 mm. Okna jsou dřevohliníková nebo plastová, se dvěma selektivními vrstvami z trojskla, která jsou předsazená před nosnou zeď.

Hydroizolace je řešena hydroizolační fólií PVC 1,5 mm s oboustrannou geotextilií 300 g/m² pod základovou deskou. Stěny a strop mají parotěsnou izolaci mezi nosnou částí

a tepelnou izolací. Pod krytinou je difuzní fólie a nosnou část tvoří dřevo s impregnací. V podlaze je nainstalováno teplovodní podlahové topení.

Každá místnost je opatřena vzduchotechnickou instalací s centrální rekuperační jednotkou. Vytápění je zajištěno teplým vzduchem ohříváním v kombinovaném tepelném čerpadle vzduch-vzduch a vzduch-voda. Těž slouží pro ohřev teplé užitkové vody a teplovodního ústředního topení. Koupelny jsou opatřeny přídatnými radiátory a pro přitop krbová kamna na dřevo. Všechny rozvody vody a kanalizace jsou řešeny v plastových trubkách.

5.2 Technika stavby

Součástí rekuperační jednotky je tepelné čerpadlo vzduch-vzduch s výkonem max. 2,1 kW s integrovaným zásobníkem tepla 180 l vody. V režimu vzduch-voda má též 2,1 kW pro teplovodní vytápění a dohřev pomocí elektrickým topným tělesem 1,5 kW. Požíván je i pro ohřev teplé vody. Krbová kamna (rezervní zdroj) mající výkon přibližně 4 kW se používají pro rychlou změnu teploty nebo jako dodatečný zdroj při velmi nízkých teplotách ve venkovním prostředí.

Na střeše jsou situovány fotovoltaické panely s výkonem 1,8–3 kW sloužící k pokrytí energetické potřeby budovy. Přebytky budou prodávány do distribuční sítě.

5.3 Výpočet měrného tepelného toku pro podlahu

Pro výpočet budeme potřebovat výsledky tepelně technického posouzení stavební konstrukce. Konstrukce pro podlahu se skládá z následujících prvků:

| Název: | Tloušťka (m): | Tepelná vodivost λ (W/mK): |
|---------------------|---------------|------------------------------------|
| 1. koberec | 0,01 | 0,065 |
| 2. anhydritová směs | 0,05 | 1,2 |

| | | |
|--------------------|--------|-------|
| 3. EPS polystyren | 0,02 | 0,037 |
| 4. betonový potěr | 0,06 | 1,3 |
| 5. filigránový no. | 0,19 | 1,2 |
| 6. fatrafol | 0,0012 | 0,35 |
| 7. extrudovaný po. | 0,16 | 0,038 |
| 8. extrudovaný po. | 0,16 | 0,038 |

Nejdříve vypočítám odpor pro danou konstrukci. Zde využiji vzorec $R = \frac{d}{\lambda}$:

$$R_1 = 0,01 / 0,065 \quad R_2 = 0,05 / 1,2 \quad R_3 = 0,02 / 0,037$$

$$R_4 = 0,06 / 1,3 \quad R_5 = 0,19 / 1,2 \quad R_6 = 0,0012 / 0,35$$

$$R_7 = 0,16 / 0,038 \quad R_8 = 0,16 / 0,038$$

Hodnoty nutné pro výpočet získané z normy a podkladů:

$$R_{si} = 0,17 \quad R_{se} = 0,00 \quad w = 0,55$$

$$\lambda = 1,5 \quad A = 96,46 \quad P = 39,4$$

$$\square g = -0,025$$

$$R_t = R_{si} + \sum R + R_{se} = 9,535 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$d_t = w + \lambda * R = 14,853 \text{ m}$$

$$B' = \frac{A}{0,5P} = 4,947 \text{ m}$$

$$U = \frac{\lambda}{0,457 * B' + d_t} = 0,088 \text{ W/(m}^2\text{*K)}$$

$$H_g = AU + P \square g = 7,48 \text{ W/K}$$

$$\text{Průměrný tepelný vliv vazbami: } 0,02 * 96,46 = 1,929 \text{ W/K.}$$

5.4 Výpočet měrného tepelného toku pro obvodovou stěnu

Obvodová stěna se skládá z těchto prvků:

| Název: | Tloušťka (m): | Tepelná vodivost λ (W/mK): |
|---------------------|---------------|------------------------------------|
| 1. Vnitřní omítka: | 0,15 | 0,99 |
| 2. Vápenopískové: | 0,175 | 0,7 |
| 3. Lepící stěrka: | 0,002 | 0,8 |
| 4. EPS polystyren: | 0,36 | 0,039 |
| 5. Lepící stěrka | 0,002 | 0,8 |
| 6. Silikonová omí.: | 0,003 | 0,7 |

$R = \frac{d}{\lambda}$ pro každý z prvků:

$$R_1 = 0,15 / 0,99 \quad R_2 = 0,175 / 0,7 \quad R_3 = 0,002 / 0,8$$

$$R_4 = 0,36 / 0,039 \quad R_5 = 0,002 / 0,8 \quad R_6 = 0,003 / 0,7$$

Pro hodnotu R_{se} byla zjištěna průměrná rychlost větru v lokalitě Zlín pro rok 2012 - 3,6552 m/s:

$$R_{si} = 0,13 \quad R_{se} = 0,04^{36}$$

$$R_t = R_{si} + \sum R + R_{se} = 9,812 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$U = 1/R = 0,102 \text{ W}/(\text{m}^2\text{*K})$$

Pro výpočet budu dále potřebovat celkovou plochu stěn, dveří a oken spolu s jejich součinitelem prostupu tepla:

| Název: | Plocha A (m ²): | Součinitel prostupu tepla U (W/(m ² *K)): |
|----------------------|-----------------------------|---|
| Plocha stěny celkem: | 198,76 m ² | 0,102 |
| Plocha dveří celkem: | 4,31 m ² | 0,9 |
| Plocha oken celkem: | 31,64 m ² | 0,75 |

$$H_D = \sum_i A_i U_i = 47,883 \text{ W/K}$$

$$\text{Průměrný tepelný vliv vazbami: } 0,02 * 234,71 = 4,694 \text{ W/K.}$$

5.5 Výpočet měrného tepelného toku pro neklimatizované prostory

Půda se skládá z těchto konstrukčních prvků:

| Název: | Tloušťka(m): | Tepelná vodivost λ (W/mK): |
|---------------------|--------------|------------------------------------|
| 1. Vnitřní omítka | 0,015 | 0,99 |
| 2. Filigránový nos. | 0,16 | 1,2 |
| 3. Betonový potěr | 0,04 | 1,3 |
| 4. Foukaný rozvol. | 0,5 | 0,039 |

³⁶ ČSN EN ISO 6946, s. 16.

$R = \frac{d}{\lambda}$ pro každý z prvků:

$$R_1 = 0,015 / 0,99$$

$$R_2 = 0,16 / 1,2$$

$$R_3 = 0,04 / 1,3$$

$$R_4 = 0,5 / 0,039$$

$$R_{si} = 0,1$$

$$R_{se} = 0,04$$

$$R_t = R_{si} + \sum R + R_{se} = 13,14 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$U = 1/R_t = 0,076 \text{ W}/(\text{m}^2\text{*K})$$

Pro další výpočty budu potřebovat plochu a součinitel prostupu tepla podlahou půdy, obvodové stěny a střešní krytiny:

| Název: | Plocha (m ²): | U(w/m ² K): |
|----------------|---------------------------|------------------------|
| Podlaha půdy | 96.46 | 0,076 |
| Obvodová stěna | 16.38 | 0,102 |
| Střecha taška | 106.78 | 5 |

$$H_{iu} = 96,46 * 0,076 = 7,331 \text{ W/K}$$

$$H_{ue} = 16,38 * 0,102 + 106,78 * 5 = 535,571 \text{ W/K}$$

$$b = \frac{H_{re}}{H_{iu} + H_{re}} = 0,986$$

$$H_s = H_{iu} * b = 7,232 \text{ W/K}$$

6 Hodnocení energetické náročnosti čtyř variant investice

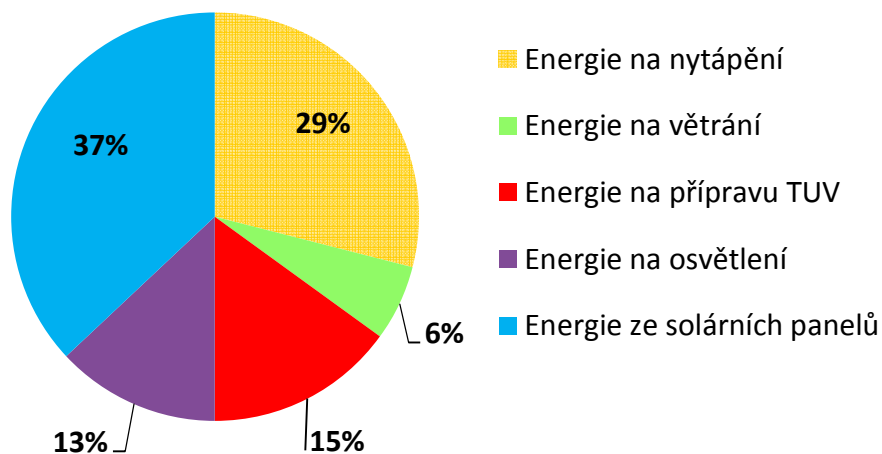
Zbytek výpočtů byl proveden v národním kalkulačním nástroji.³⁷ V rámci srovnávání byly vytvořeny čtyři varianty, z toho první je reálná budova, dvě byly upraveny, aby splňovaly status nízkoenergetická budova a poslední varianta je dle normy klasifikována jako B – velmi úsporná.

6.1 Výsledky pro pasivní reálnou budovu

Budova reálně stojící, ze které se vychází v dalších kapitolách.

| Typ dodané energie | Spotřeba za rok v kWh/rok | Spotřeba za rok v kWh/ (m ² .rok) |
|------------------------|---------------------------|--|
| Na vytápění | 2 447,3 | 14,8 |
| Na větrání | 479,4 | 2,9 |
| Příprava teplé vody | 1 308,5 | 7,9 |
| Na osvětlení | 1 110,0 | 6,7 |
| Solární panely | -2 852,0 | -19,0 |
| Celková dodaná energie | 2 493,2 | 13,3 |

Tab. 3 Vypočítané hodnoty spotřeby dle účelu využití u pasivního domu³⁸



Graf 1 Procentuální vyjádření spotřeby energie dle účelu užívání v pasivním domě³⁹

³⁷ Zdroj: <http://nkn.fsv.cvut.cz/>.

³⁸ Zdroj: vlastní zpracování pomocí Národního kalkulačního nástroje.

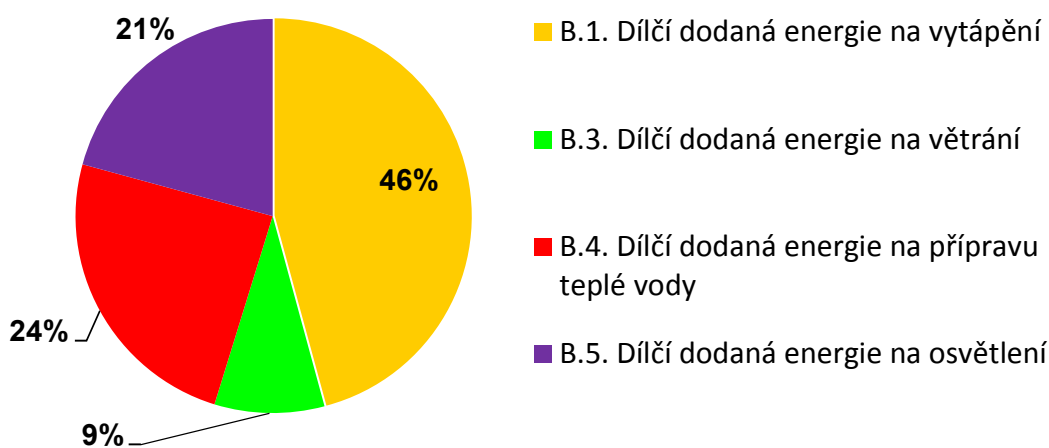
³⁹ Tamtéž.

6.2 Výsledky pro Nízkoenergetickou variantu 1

V první variantě nízkoenergetického standardu jsem ponechal budovu nezměněnou, pouze jsem odstranil solární panely. Zde jsou výsledky NKN:

| Typ dodané energie | Spotřeba za rok v kWh/rok | Spotřeba za rok v kWh/ (m ² .rok) |
|------------------------|---------------------------|--|
| Na vytápění | 2 447,3 | 14,8 |
| Na větrání | 479,4 | 2,9 |
| Příprava teplé vody | 1 308,5 | 7,9 |
| Na osvětlení | 1 110,0 | 6,7 |
| Celková dodaná energie | 5 345,2 | 32,3 |

Tab. 4 Vypočítané hodnoty spotřeby dle účelu využití u nízkoenergetické varianty 1⁴⁰



Graf 2 Procentuální vyjádření spotřeby energie dle účelu v nízkoenergetické variantě 1⁴¹

⁴⁰ Zdroj: vlastní zpracování pomocí Národního kalkulačního nástroje.

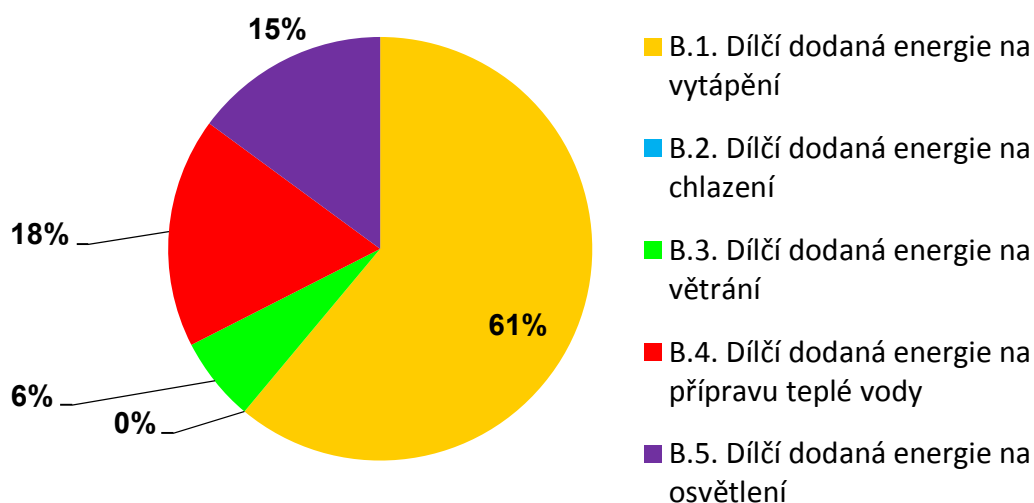
⁴¹ Tamtéž.

6.3 Výsledky pro nízkoenergetickou variantu 2

V této variantě jsou odstraněny solární panely a byla snížena šířka izolace pod podlahou, na venkovních stěnách a pod střechou. Budova je na hranici označení nízkoenergetického standardu. Výsledky hodnocení dle NKN:

| Typ dodané energie | Spotřeba za rok v kWh/rok | Spotřeba za rok v kWh/ (m ² .rok) |
|------------------------|---------------------------|--|
| Na vytápění | 4541,1 | 27,4 |
| Na větrání | 479,4 | 2,9 |
| Příprava teplé vody | 1308,5 | 7,9 |
| Na osvětlení | 1110,0 | 6,7 |
| Celková dodaná energie | 7439,0 | 44,9 |

Tab. 5 Vypočítané hodnoty spotřeby dle účelu využití u nízkoenergetické varianty 2⁴²



Graf 3 Procentuální vyjádření spotřeby energie dle účelu v nízkoenergetické variantě 2⁴³

6.4 Výsledky pro variantu splňující normu

Budova, jejíž energetická náročnost dosahuje poloviny budov, které se stavěli před cca 30-40 lety. V budově byla odstraněna rekuperační jednotka, čímž se odstranili náklady na větrání, ale stouply náklady na topení. Ve výpočtech se počítalo s větráním v návaznosti na počet osob. Dále byly odstraněny solární panely, úsporné osvětlení bylo nahrazeno méně úsporným a žárovkovým, izolace zůstala na úrovni nízkoenergetické

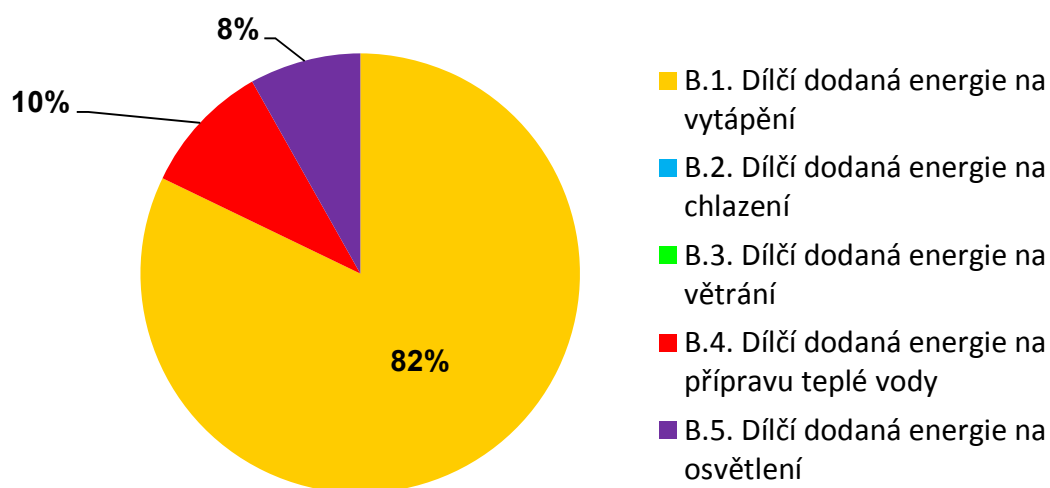
⁴² Zdroj: vlastní zpracování pomocí Národního kalkulačního nástroje.

⁴³ Tamtéž.

varianty 2 s tím, že je zahrnut větší výskyt tepelných mostů. Vytápění a příprava teplé vody je zajišťována oddělenými zařízeními. Elektrokotel pro vytápění a nástěnný zásobníkový ohřívač na přípravu teplé vody. Tuto budovu lze považovat za příklad domu, který investor staví, aby splnil normu, a nejde mu o energetické úspory. Výsledky dle NKN:

| Typ dodané energie | Spotřeba za rok v kWh/rok | Spotřeba za rok v kWh/(m ² .rok) |
|------------------------|---------------------------|---|
| Na vytápění | 13 582,7 | 82,1 |
| Na větrání | 0 | 0 |
| Příprava teplé vody | 1 603,2 | 9,7 |
| Na osvětlení | 1 348,5 | 8,1 |
| Celková dodaná energie | 16 534,3 | 99,9 |

Tab. 6 Vypočítané hodnoty spotřeby dle účelu využití u varianty splňující normu⁴⁴



Graf 4 Procentuální vyjádření spotřeby energie dle účelu u domu splňujícího normu⁴⁵

⁴⁴ Zdroj: vlastní zpracování pomocí Národního kalkulačního nástroje.

⁴⁵ Tamtéž.

7 Návrstnost vyšší investice do pasivního domu a srovnání variant

V této kapitole budu počítat návratnost investic do jednotlivých zpracování variant a porovnávat, která investice je finančně výhodná. Pro lepší porovnání, jsem varianty domu počítal při různých cenách za silovou elektrickou energii. Pro hodnocení, která varianta je vhodná a u kterých je lepší investici doporučit, budu posuzovat zejména z diskontované doby návratnosti investice a také z rozdílu celkové ceny za energii za rok. Různé varianty budu vždy porovnávat s pasivním reálným domem.

V tabulce A počítám jednotlivé varianty při ceně silové elektrické energie 2,50 Kč.

| Varianta | Pasivní | Nízkoenergetický 1 | Nízkoenergetický 2 | Splňující normu |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|
| Klasifikace | A – Mimořádně úsporná | A – Mimořádně úsporná | A – Mimořádně úsporná | B – Velmi úsporná |
| Měrná hodnota (kWh/(m².rok)) | 13,3 | 32,3 | 44,9 | 99,9 |
| Investice do výstavby (Kč) | 3 897 420 | 3 747 420 | 3 616 416 | 3 458 366 |
| Úspora investice oproti pasivu (Kč) | - | 150 000 | 281 004 | 439 054 |
| Roční spotřeba energie (kWh/rok) | 2 201 | 5 345,2 | 7 439 | 1 6534,3 |
| Navýšení oproti pasivu (kWh/rok) | - | 3 144,2 | 5 238 | 14 333,3 |
| Cena elektřiny (Kč/kWh) | 2,50 | 2,50 | 2,50 | 2,50 |
| Roční výdaje na energii (Kč/rok) | 5 502,5 | 13 363 | 18 597,5 | 41 335,75 |
| Navýšení oproti pasivu (Kč/rok) | - | 7 860,5 | 13095 | 35 833,25 |
| Prostá návratnost pasivu (roky) | - | 19,1 | 21,5 | 12,3 |
| Diskontovaná doba návratnosti | - | 29 | 35 | 16 |
| Vnitřní výnosové procento IIR (%) | - | 3,2% | 2,3% | 7,1% |

Tab. 7 Výsledky pro všechny varianty domu při 2,50 Kč/kWh⁴⁶

Z tabulky je patrné že návratnost investice do pasivního domu při porovnání s nízkoenergetickými variantami dosahuje vysokých hodnot, naopak při variantě splňující normu, kde je návratnosti dosaženo poměrně v krátkém časovém úseku.

⁴⁶ Zdroj: výpočet dle vzorců – kapitola 4, viz příloha 1.

V tabulce B je počítáno s 3,50 Kč za silovou elektrickou energii.

| Varianta | Pasivní | Nízkoenergetický 1 | Nízkoenergetický 2 | Splňující normu |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|
| Klasifikace | A - Mimořádně úsporná | A - Mimořádně úsporná | A - Mimořádně úsporná | B - Velmi úsporná |
| Měrná hodnota (kWh/(m ² .rok)) | 13,3 | 32,3 | 44,9 | 99,9 |
| Investice do výstavby (Kč) | 3 897 420 | 3 747 420 | 3 616 416 | 3 458 366 |
| Úspora investice oproti pasivu (Kč) | - | 150 000 | 281 004 | 4 39 054 |
| Roční spotřeba energie (kWh/rok) | 2 201 | 5 345,2 | 7 439 | 16 534,3 |
| Navýšení oproti pasivu (kWh/rok) | - | 3 144,2 | 5 238 | 14 333,3 |
| Cena elektřiny (Kč/kWh) | 3,50 | 3,50 | 3,50 | 3,50 |
| Roční výdaje na energii (Kč/rok) | 7 703,5 | 18 708,2 | 26 036,5 | 57 870,05 |
| Navýšení oproti pasivu (Kč/rok) | - | 11 004,7 | 18 333 | 50 166,55 |
| Prostá návratnost pasivu (roky) | - | 13,6 | 15,3 | 8,8 |
| Diskontovaná doba návratnosti | - | 18 | 21 | 11 |
| Vnitřní výnosové procento IIR (%) | - | 6,1% | 5,0% | 10,9% |

Tab. 8 Výsledky pro všechny varianty domu při 3,50 Kč/kWh⁴⁷

Z tabulky je patrné, že se návratnost investice při srovnání s nízkoenergetickými standardy pohybuje stále ve vysokých hodnotách. V případě domu splňujícím normu je to necelých 9 let.

Třetí tabulka C byla spočítána při ceně silové elektrické energie 4,50 Kč.

| Varianta | Pasivní | Nízkoenergetický 1 | Nízkoenergetický 2 | Splňující normu |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|
| Klasifikace | A - Mimořádně úsporná | A - Mimořádně úsporná | A - Mimořádně úsporná | B - Velmi úsporná |
| Měrná hodnota (kWh/(m ² .rok)) | 13,3 | 32,3 | 44,9 | 99,9 |
| Investice do výstavby (Kč) | 3 897 420 | 3 747 420 | 3 616 416 | 3 458 366 |
| Úspora investice oproti | - | 150 000 | 281 004 | 439 054 |

⁴⁷ Zdroj: výpočet dle vzorců – kapitola 4, viz příloha 2.

| | | | | |
|--|---------|----------|----------|-----------|
| pasivu (Kč) | | | | |
| Roční spotřeba energie (kWh/rok) | 2201 | 5 345,2 | 7 439 | 16 534,3 |
| Navýšení oproti pasivu (kWh/rok) | - | 3 144,2 | 5 238 | 14 333,3 |
| Cena elektřiny (Kč/kWh) | 4,50 | 4,50 | 4,50 | 4,50 |
| Roční výdaje na energii (Kč/rok) | 9 904,5 | 24 053,4 | 33 475,5 | 74 404,35 |
| Navýšení oproti pasivu (Kč/rok) | - | 14 148,9 | 23 571 | 64 499,85 |
| Prostá návratnost pasivu (roky) | - | 10,6 | 11,9 | 6,8 |
| Diskontovaná doba návratnosti | - | 13 | 15 | 8 |
| Vnitřní výnosové procento IIR (%) | - | 8,6% | 7,4% | 14,4% |

Tab. 9 Výsledky pro všechny varianty domu při 4,50 Kč/kWh⁴⁸

Výsledky tabulky devět, co se týče doby návratnosti, dosahují u všech variant krátkou dobu návratnosti. Zde jednoznačně doporučím do zateplení a solárních panelů investovat.

7.1 Zhodnocení výsledků

Z tabulek vychází, že se při stoupající ceně elektrické energie snižuje doba návratnosti investic do úsporných opatření, což je očekávaná závislost. Příkladem zjištění, jak výše ceny ovlivňuje dobu návratnosti lze nejlépe pozorovat na tomto příkladě: při ceně 2,50 Kč/kWh byla návratnost investice do úsporných opatření pasivního domu oproti nízkoenergetické variantě 2 35 let. Naproti tomu při cenové hladině 4,50 Kč za kWh silové elektrické energie byla snížena návratnost investice do pasivního domu na 15 let.

Při srovnání pasivního domu s domem v kategorii B jsem došel k závěru z pohledu návratnosti investice při všech cenových hladinách, že by se vyplatila investice ve výši 439 054 Kč do zateplení. Návratnost v tomhle případě činila 16, 11 a 8 let v závislosti na ceně elektrické energie. Rozhodujícím faktorem je i rozdíl mezi cenou za energii za rok. Rozdíl mezi Pasivním a domem splňujícím normu se pohybuje v rozmezí od 35 833,25 Kč/rok do 64 499,85 Kč/rok napříč všemi počítanými cenovými kategoriemi – pět doporučuji investici uskutečnit.

⁴⁸ Zdroj: výpočet dle vzorců – kapitola 4, viz příloha 3.

Oproti tomu se při návratnosti investice do obou nízkoenergetických domů, která činí při cenové hladině 2,50 Kč/kWh 29 a 35 let nepřikláním k uskutečnění investice. Při cenové hladině 3,50 Kč dosáhneme návratnosti 18 a 21 let. V tomto případě se přikláním k uskutečnění investice. Ovšem záleží na případném investorovi. Pokud vezmeme v úvahu i celkové cenové zatížení za rok, tak se při navýšení o 11 004,7 v případě nízkoenergetické varianty 1 přikláním spíše k neuskutečnění investice. U nízkoenergetické varianty 2 zaplatíme o 18 333 Kč za rok více, přesto že je návratnost 21 let, zde se k investici přikláním.

Při ceně 4,50 Kč/kWh za energie dosáhneme návratnosti 13 a 15 let a v obou případech doporučuji investici uskutečnit. Navýšení finanční náročnosti za energii u obou nízkoenergetických variant 14 148,9 Kč/rok a 23 571Kč/rok potvrzuje mé doporučení do zateplení a solárních panelů investovat.

Závěr

Cílem práce bylo stanovit energetickou náročnost pasivního domu a vytvořit návrhovou nízkoenergetickou variantu, se kterou by se pasivní dům porovnal. Výsledkem práce bylo vytvoření 2 různých variant nízkoenergetického standardu a budovy, která spadá do kategorie B – velmi úsporná dle průkazu energetické náročnosti budov. Varianty domu byly ještě vypočítány s různou úrovní ceny za energii používanou v domech. Výsledkem bylo zjištění, jak výše ceny ovlivňuje dobu návratnosti - při 2,50 Kč/kWh byla návratnost investice do úsporných opatření pasivního domu oproti jednomu z nízkoenergetických standardů 35 let. Naproti tomu při cenové hladině 4,50 Kč za kWh silové elektrické energie byla snížena návratnost investice do pasivního domu na 15 let.

Při srovnání pasivního domu s domem v kategorii B jsem došel k závěru z pohledu návratnosti investice při všech cenových hladinách, že by se vyplatila investice ve výši 439 054 Kč do zateplení. Návratnost v tomhle případě činila 16, 11 a 8 let v závislosti na ceně elektrické energie.

Oproti tomu se při návratnosti investice do obou nízkoenergetických domů, která činí při cenové hladině 2,50 Kč/kWh 29 a 35 let nepřikláním k uskutečnění investice. Při cenové hladině 3,50 Kč dosáhneme návratnosti 18 a 21 let. V tomto případě se přikláním k uskutečnění investice. Pokud vezmeme v úvahu případnou roční cenu za energie tak se k investici s návratností 18 let nepřikláním ale k druhé ano – roční úspora činí 18 333 Kč. Ovšem záleží na případném investorovi. Při ceně 4,50 Kč/kWh za energie dosáhneme návratnosti 13 a 15 let a v obou případech doporučuji investici uskutečnit.

ANOTACE

| | |
|--|---|
| Příjmení a jméno autora: | Petr Kalábek |
| Instituce: | Moravská vysoká škola Olomouc |
| Název práce v českém jazyce: | Stanovení energetické náročnosti budovy a její optimalizace |
| Název práce v anglickém jazyce: | Determining of the Energy Performance of the Building and its Optimization |
| Vedoucí práce: | Ing. Ladislav Chmela, Ph.D. |
| Počet stran: | 40 |
| Počet příloh: | 3 |
| Rok obhajoby: | 2015 |
| Klíčová slova v českém jazyce: | Nízkoenergetický budova, pasivní budova, energetická náročnost, účinnost, úspora tepelné ztráty, návratnost investice |
| Klíčová slova v anglickém jazyce: | Low-energy building, passive building, energy performance, efficiency, saving, thermal losses, return on investment |

Práce obsahuje teoretický podklad pro výpočet energetické náročnosti budovy, normy, podle kterých se postupuje a teoretické srovnání nízkoenergetické budovy s pasivní. Dále pak způsob, jakým se počítá návratnost investic. V praktické části se počítá energetická náročnost pasivní budovy, která se porovná s nízkoenergetickou. Výsledkem práce je zhodnocení zjištěných výsledků a doporučení investice.

The goal of my thesis is to show which type of building; low energy, or passive energy will give you the most return on your investment. This thesis will show both actual energy performance, and theoretical comparisons of low energy buildings based off of building standards. The thesis will also include, how to calculate the return on investment. The outcome of the thesis is both evaluation of results, and a recommendation for investment.

Literatura a Prameny

CHYBÍK, J. *Energeticky úsporná výstavba*. 1. Vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2012. 149 s. ISBN 978-80-7204-813-7.

NÁRODNÍ KALKULAČNÍ NÁSTROJ – NKN II [online]. 2014 [cit. 2014-10-19]. Dostupné z: <http://nkn.fsv.cvut.cz/>

POČINKOVÁ, M. *Úsporný dům*. 1. vyd. Brno: CPress, 2012, 184 s. ISBN 978-80-264-0014-1.

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

ČSN EN ISO 6946. *Stavební prvky a stavební konstrukce*. Praha: Český normalizační institut, 2008.

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

ČSN 73 0540. *Tepelná ochrana budov*. Praha: Český normalizační institut, 2005, 2012.

ČSN EN ISO 13370. *Tepelné chování budov - Přenos tepla zeminou*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.

ČSN EN ISO 13789. *Tepelné chování budov*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, 2009.

Vyhláška o energetické náročnosti budov. In: 148/2007. 2007.

Vyhláška o energetickém auditu a energetickém posudku. In: 480/201 sb. 2012.

Vyhláška o technických požadavcích stavby. In: 268/2009. 2009.

Přílohy

Příloha pro tabulku A

Nízkoenergetická varianta 1.

| t - rok | CF | NCF | ΣNCF | NPV | NCF | ΣNCF | NPV |
|---------|-------|-------|---------|------------|-------|---------|----------|
| 1 | 7 861 | 7 632 | 7 632 | -142 368 | 7 616 | 7 616 | -142 384 |
| 2 | 7 861 | 7 409 | 15 041 | -134 959 | 7 379 | 14 996 | -135 004 |
| 3 | 7 861 | 7 193 | 22 234 | -127 766 | 7 150 | 22 146 | -127 854 |
| 4 | 7 861 | 6 984 | 29 218 | -120 782 | 6 928 | 29 073 | -120 927 |
| 5 | 7 861 | 6 781 | 35 999 | -114 001 | 6 712 | 35 786 | -114 214 |
| 6 | 7 861 | 6 583 | 42 582 | -107 418 | 6 504 | 42 289 | -107 711 |
| 7 | 7 861 | 6 391 | 48 973 | -101 027 | 6 302 | 48 591 | -101 409 |
| 8 | 7 861 | 6 205 | 55 178 | -94 822 | 6 106 | 54 696 | -95 304 |
| 9 | 7 861 | 6 024 | 61 203 | -88 797 | 5 916 | 60 612 | -89 388 |
| 10 | 7 861 | 5 849 | 67 052 | -82 948 | 5 732 | 66 344 | -83 656 |
| 11 | 7 861 | 5 679 | 72 730 | -77 270 | 5 554 | 71 898 | -78 102 |
| 12 | 7 861 | 5 513 | 78 243 | -71 757 | 5 381 | 77 279 | -72 721 |
| 13 | 7 861 | 5 353 | 83 596 | -66 404 | 5 214 | 82 493 | -67 507 |
| 14 | 7 861 | 5 197 | 88 793 | -61 207 | 5 052 | 87 544 | -62 456 |
| 15 | 7 861 | 5 045 | 93 838 | -56 162 | 4 895 | 92 439 | -57 561 |
| 16 | 7 861 | 4 898 | 98 737 | -51 263 | 4 743 | 97 182 | -52 818 |
| 17 | 7 861 | 4 756 | 103 492 | -46 508 | 4 595 | 101 777 | -48 223 |
| 18 | 7 861 | 4 617 | 108 109 | -41 891 | 4 452 | 106 229 | -43 771 |
| 19 | 7 861 | 4 483 | 112 592 | -37 408 | 4 314 | 110 543 | -39 457 |
| 20 | 7 861 | 4 352 | 116 944 | -33 056 | 4 180 | 114 722 | -35 278 |
| 21 | 7 861 | 4 225 | 121 170 | -28 830 | 4 050 | 118 772 | -31 228 |
| 22 | 7 861 | 4 102 | 125 272 | -24 728 | 3 924 | 122 696 | -27 304 |
| 23 | 7 861 | 3 983 | 129 255 | -20 745 | 3 802 | 126 498 | -23 502 |
| 24 | 7 861 | 3 867 | 133 122 | -16 878 | 3 684 | 130 182 | -19 818 |
| 25 | 7 861 | 3 754 | 136 876 | -13 124 | 3 569 | 133 751 | -16 249 |
| 26 | 7 861 | 3 645 | 140 521 | -9 479 | 3 458 | 137 209 | -12 791 |
| 27 | 7 861 | 3 539 | 144 060 | -5 940 | 3 351 | 140 560 | -9 440 |
| 28 | 7 861 | 3 436 | 147 495 | -2 505 | 3 247 | 143 806 | -6 194 |
| 29 | 7 861 | 3 336 | 150 831 | 831 | 3 146 | 146 952 | -3 048 |
| 30 | 7 861 | 3 238 | 154 069 | 4 069 | 3 048 | 150 000 | 0 |

Nízkoenergetická varianta 2.

| t | CF | NCF | ΣNCF | NPV | NCF | ΣNCF | NPV |
|---|--------|--------|--------|----------|--------|--------|----------|
| 1 | 13 095 | 12 714 | 12 714 | -268 290 | 12 799 | 12 799 | -268 205 |
| 2 | 13 095 | 12 343 | 25 057 | -255 947 | 12 509 | 25 308 | -255 696 |
| 3 | 13 095 | 11 984 | 37 041 | -243 963 | 12 226 | 37 535 | -243 469 |
| 4 | 13 095 | 11 635 | 48 675 | -232 329 | 11 950 | 49 485 | -231 519 |
| 5 | 13 095 | 11 296 | 59 971 | -221 033 | 11 680 | 61 164 | -219 840 |
| 6 | 13 095 | 10 967 | 70 938 | -210 066 | 11 415 | 72 580 | -208 424 |
| 7 | 13 095 | 10 647 | 81 586 | -199 418 | 11 157 | 83 737 | -197 267 |

| | | | | | | | |
|----|--------|--------|---------|----------|--------|---------|----------|
| 8 | 13 095 | 10 337 | 91 923 | -189 081 | 10 905 | 94 642 | -186 362 |
| 9 | 13 095 | 10 036 | 101 959 | -179 045 | 10 658 | 105 300 | -175 704 |
| 10 | 13 095 | 9 744 | 111 703 | -169 301 | 10 417 | 115 718 | -165 286 |
| 11 | 13 095 | 9 460 | 121 163 | -159 841 | 10 182 | 125 899 | -155 105 |
| 12 | 13 095 | 9 185 | 130 348 | -150 656 | 9 951 | 135 851 | -145 153 |
| 13 | 13 095 | 8 917 | 139 265 | -141 739 | 9 726 | 145 577 | -135 427 |
| 14 | 13 095 | 8 657 | 147 922 | -133 082 | 9 506 | 155 083 | -125 921 |
| 15 | 13 095 | 8 405 | 156 327 | -124 677 | 9 291 | 164 375 | -116 629 |
| 16 | 13 095 | 8 160 | 164 488 | -116 516 | 9 081 | 173 456 | -107 548 |
| 17 | 13 095 | 7 923 | 172 410 | -108 594 | 8 876 | 182 332 | -98 672 |
| 18 | 13 095 | 7 692 | 180 102 | -100 902 | 8 675 | 191 007 | -89 997 |
| 19 | 13 095 | 7 468 | 187 570 | -93 434 | 8 479 | 199 486 | -81 518 |
| 20 | 13 095 | 7 250 | 194 821 | -86 183 | 8 287 | 207 773 | -73 231 |
| 21 | 13 095 | 7 039 | 201 860 | -79 144 | 8 100 | 215 872 | -65 132 |
| 22 | 13 095 | 6 834 | 208 694 | -72 310 | 7 916 | 223 789 | -57 215 |
| 23 | 13 095 | 6 635 | 215 329 | -65 675 | 7 737 | 231 526 | -49 478 |
| 24 | 13 095 | 6 442 | 221 771 | -59 233 | 7 562 | 239 089 | -41 915 |
| 25 | 13 095 | 6 254 | 228 025 | -52 979 | 7 391 | 246 480 | -34 524 |
| 26 | 13 095 | 6 072 | 234 097 | -46 907 | 7 224 | 253 704 | -27 300 |
| 27 | 13 095 | 5 895 | 239 992 | -41 012 | 7 061 | 260 765 | -20 239 |
| 28 | 13 095 | 5 724 | 245 716 | -35 288 | 6 901 | 267 666 | -13 338 |
| 29 | 13 095 | 5 557 | 251 273 | -29 731 | 6 745 | 274 411 | -6 593 |
| 30 | 13 095 | 5 395 | 256 668 | -24 336 | 6 593 | 281 004 | 0 |

Varianta splňující normu

| t | CF | NCF | ΣNCF | NPV | NCF | ΣNCF | NPV |
|----|--------|--------|---------|---------------|--------|---------|----------|
| 1 | 35 833 | 34 790 | 34 790 | -404 264 | 33 449 | 33 449 | -405 605 |
| 2 | 35 833 | 33 776 | 68 566 | -370 488 | 31 224 | 64 674 | -374 380 |
| 3 | 35 833 | 32 792 | 101 358 | -337 696 | 29 147 | 93 820 | -345 234 |
| 4 | 35 833 | 31 837 | 133 196 | -305 858 | 27 208 | 121 028 | -318 026 |
| 5 | 35 833 | 30 910 | 164 106 | -274 948 | 25 398 | 146 426 | -292 628 |
| 6 | 35 833 | 30 010 | 194 116 | -244 938 | 23 708 | 170 134 | -268 920 |
| 7 | 35 833 | 29 136 | 223 251 | -215 803 | 22 131 | 192 265 | -246 789 |
| 8 | 35 833 | 28 287 | 251 538 | -187 516 | 20 659 | 212 924 | -226 130 |
| 9 | 35 833 | 27 463 | 279 002 | -160 052 | 19 284 | 232 209 | -206 845 |
| 10 | 35 833 | 26 663 | 305 665 | -133 389 | 18 001 | 250 210 | -188 844 |
| 11 | 35 833 | 25 887 | 331 552 | -107 502 | 16 804 | 267 014 | -172 040 |
| 12 | 35 833 | 25 133 | 356 684 | -82 370 | 15 686 | 282 700 | -156 354 |
| 13 | 35 833 | 24 401 | 381 085 | -57 969 | 14 642 | 297 342 | -141 712 |
| 14 | 35 833 | 23 690 | 404 775 | -34 279 | 13 668 | 311 011 | -128 043 |
| 15 | 35 833 | 23 000 | 427 775 | -11 279 | 12 759 | 323 770 | -115 284 |
| 16 | 35 833 | 22 330 | 450 105 | 11 051 | 11 910 | 335 680 | -103 374 |
| 17 | 35 833 | 21 680 | 471 785 | 32 731 | 11 118 | 346 798 | -92 256 |

| | | | | | | | |
|----|--------|--------|---------|---------|--------|---------|----------|
| 18 | 35 833 | 21 048 | 492 833 | 53 779 | 10 378 | 357 176 | -81 878 |
| 19 | 35 833 | 20 435 | 513 268 | 74 214 | 9 688 | 366 864 | -72 190 |
| 20 | 35 833 | 19 840 | 533 108 | 94 054 | 9 043 | 375 908 | -63 146 |
| 21 | 35 833 | 19 262 | 552 370 | 113 316 | 8 442 | 384 349 | -54 705 |
| 22 | 35 833 | 18 701 | 571 072 | 132 018 | 7 880 | 392 229 | -46 825 |
| 23 | 35 833 | 18 156 | 589 228 | 150 174 | 7 356 | 399 585 | -39 469 |
| 24 | 35 833 | 17 628 | 606 856 | 167 802 | 6 867 | 406 452 | -32 602 |
| 25 | 35 833 | 17 114 | 623 970 | 184 916 | 6 410 | 412 862 | -26 192 |
| 26 | 35 833 | 16 616 | 640 585 | 201 531 | 5 983 | 418 845 | -20 209 |
| 27 | 35 833 | 16 132 | 656 717 | 217 663 | 5 585 | 424 430 | -14 624 |
| 28 | 35 833 | 15 662 | 672 379 | 233 325 | 5 214 | 429 644 | -9 410 |
| 29 | 35 833 | 15 206 | 687 585 | 248 531 | 4 867 | 434 511 | -4 543 |
| 30 | 35 833 | 14 763 | 702 348 | 263 294 | 4 543 | 439 054 | 8 |

Příloha pro tabulku B

Nízkoenergetická varianta 1.

| t | CF | NCF | ΣNCF | NPV | NCF | ΣNCF | NPV |
|----|--------|--------|---------|--------------|--------|---------|----------|
| 1 | 11 005 | 10 684 | 10 684 | -139 316 | 10 373 | 10 373 | -139 627 |
| 2 | 11 005 | 10 373 | 21 057 | -128 943 | 9 777 | 20 150 | -129 850 |
| 3 | 11 005 | 10 071 | 31 128 | -118 872 | 9 216 | 29 366 | -120 634 |
| 4 | 11 005 | 9 778 | 40 906 | -109 094 | 8 687 | 38 052 | -111 948 |
| 5 | 11 005 | 9 493 | 50 398 | -99 602 | 8 188 | 46 240 | -103 760 |
| 6 | 11 005 | 9 216 | 59 615 | -90 385 | 7 718 | 53 958 | -96 042 |
| 7 | 11 005 | 8 948 | 68 562 | -81 438 | 7 274 | 61 232 | -88 768 |
| 8 | 11 005 | 8 687 | 77 250 | -72 750 | 6 857 | 68 089 | -81 911 |
| 9 | 11 005 | 8 434 | 85 684 | -64 316 | 6 463 | 74 552 | -75 448 |
| 10 | 11 005 | 8 189 | 93 872 | -56 128 | 6 092 | 80 644 | -69 356 |
| 11 | 11 005 | 7 950 | 101 822 | -48 178 | 5 742 | 86 386 | -63 614 |
| 12 | 11 005 | 7 718 | 109 541 | -40 459 | 5 412 | 91 799 | -58 201 |
| 13 | 11 005 | 7 494 | 117 034 | -32 966 | 5 102 | 96 900 | -53 100 |
| 14 | 11 005 | 7 275 | 124 310 | -25 690 | 4 809 | 101 709 | -48 291 |
| 15 | 11 005 | 7 063 | 131 373 | -18 627 | 4 533 | 106 242 | -43 758 |
| 16 | 11 005 | 6 858 | 138 231 | -11 769 | 4 272 | 110 514 | -39 486 |
| 17 | 11 005 | 6 658 | 144 889 | -5 111 | 4 027 | 114 541 | -35 459 |
| 18 | 11 005 | 6 464 | 151 353 | 1 353 | 3 796 | 118 337 | -31 663 |
| 19 | 11 005 | 6 276 | 157 629 | 7 629 | 3 578 | 121 914 | -28 086 |
| 20 | 11 005 | 6 093 | 163 722 | 13 722 | 3 372 | 125 287 | -24 713 |
| 21 | 11 005 | 5 916 | 169 638 | 19 638 | 3 179 | 128 466 | -21 534 |
| 22 | 11 005 | 5 743 | 175 381 | 25 381 | 2 996 | 131 462 | -18 538 |
| 23 | 11 005 | 5 576 | 180 957 | 30 957 | 2 824 | 134 286 | -15 714 |
| 24 | 11 005 | 5 414 | 186 371 | 36 371 | 2 662 | 136 948 | -13 052 |
| 25 | 11 005 | 5 256 | 191 626 | 41 626 | 2 509 | 139 457 | -10 543 |
| 26 | 11 005 | 5 103 | 196 729 | 46 729 | 2 365 | 141 822 | -8 178 |

| | | | | | | | |
|----|--------|-------|---------|--------|-------|---------|--------|
| 27 | 11 005 | 4 954 | 201 683 | 51 683 | 2 229 | 144 051 | -5 949 |
| 28 | 11 005 | 4 810 | 206 493 | 56 493 | 2 101 | 146 153 | -3 847 |
| 29 | 11 005 | 4 670 | 211 163 | 61 163 | 1 981 | 148 133 | -1 867 |
| 30 | 11 005 | 4 534 | 215 697 | 65 697 | 1 867 | 150 000 | 0 |

Nízkoenergetická varianta 2.

| t | CF | NCF | ΣNCF | NPV | NCF | ΣNCF | NPV |
|----|--------|--------|---------|----------|--------|---------|----------|
| 1 | 18 333 | 17 799 | 17 799 | -263 205 | 17 456 | 17 456 | -263 548 |
| 2 | 18 333 | 17 281 | 35 080 | -245 924 | 16 620 | 34 076 | -246 928 |
| 3 | 18 333 | 16 777 | 51 857 | -229 147 | 15 825 | 49 901 | -231 103 |
| 4 | 18 333 | 16 289 | 68 146 | -212 858 | 15 068 | 64 969 | -216 035 |
| 5 | 18 333 | 15 814 | 83 960 | -197 044 | 14 347 | 79 316 | -201 688 |
| 6 | 18 333 | 15 354 | 99 313 | -181 691 | 13 660 | 92 977 | -188 027 |
| 7 | 18 333 | 14 906 | 114 220 | -166 784 | 13 007 | 105 983 | -175 021 |
| 8 | 18 333 | 14 472 | 128 692 | -152 312 | 12 384 | 118 368 | -162 636 |
| 9 | 18 333 | 14 051 | 142 743 | -138 261 | 11 792 | 130 160 | -150 844 |
| 10 | 18 333 | 13 641 | 156 384 | -124 620 | 11 228 | 141 387 | -139 617 |
| 11 | 18 333 | 13 244 | 169 628 | -111 376 | 10 690 | 152 077 | -128 927 |
| 12 | 18 333 | 12 858 | 182 487 | -98 517 | 10 179 | 162 256 | -118 748 |
| 13 | 18 333 | 12 484 | 194 971 | -86 033 | 9 692 | 171 948 | -109 056 |
| 14 | 18 333 | 12 120 | 207 091 | -73 913 | 9 228 | 181 176 | -99 828 |
| 15 | 18 333 | 11 767 | 218 858 | -62 146 | 8 786 | 189 962 | -91 042 |
| 16 | 18 333 | 11 425 | 230 283 | -50 721 | 8 366 | 198 328 | -82 676 |
| 17 | 18 333 | 11 092 | 241 374 | -39 630 | 7 966 | 206 294 | -74 710 |
| 18 | 18 333 | 10 769 | 252 143 | -28 861 | 7 584 | 213 878 | -67 126 |
| 19 | 18 333 | 10 455 | 262 598 | -18 406 | 7 222 | 221 099 | -59 905 |
| 20 | 18 333 | 10 151 | 272 749 | -8 255 | 6 876 | 227 975 | -53 029 |
| 21 | 18 333 | 9 855 | 282 604 | 1 600 | 6 547 | 234 522 | -46 482 |
| 22 | 18 333 | 9 568 | 292 171 | 11 167 | 6 234 | 240 756 | -40 248 |
| 23 | 18 333 | 9 289 | 301 461 | 20 457 | 5 935 | 246 691 | -34 313 |
| 24 | 18 333 | 9 019 | 310 479 | 29 475 | 5 651 | 252 343 | -28 661 |
| 25 | 18 333 | 8 756 | 319 235 | 38 231 | 5 381 | 257 724 | -23 280 |
| 26 | 18 333 | 8 501 | 327 736 | 46 732 | 5 123 | 262 847 | -18 157 |
| 27 | 18 333 | 8 253 | 335 989 | 54 985 | 4 878 | 267 726 | -13 278 |
| 28 | 18 333 | 8 013 | 344 002 | 62 998 | 4 645 | 272 370 | -8 634 |
| 29 | 18 333 | 7 780 | 351 782 | 70 778 | 4 423 | 276 793 | -4 211 |
| 30 | 18 333 | 7 553 | 359 335 | 78 331 | 4 211 | 281 004 | 0 |

Varianta splňující normu.

| t | CF | NCF | ΣNCF | NPV | NCF | ΣNCF | NPV |
|---|--------|--------|---------|----------|--------|---------|----------|
| 1 | 50 167 | 48 705 | 48 705 | -390 349 | 45 230 | 45 230 | -393 824 |
| 2 | 50 167 | 47 287 | 95 992 | -343 062 | 40 778 | 86 008 | -353 046 |
| 3 | 50 167 | 45 909 | 141 902 | -297 152 | 36 765 | 122 773 | -316 281 |
| 4 | 50 167 | 44 572 | 186 474 | -252 580 | 33 147 | 155 921 | -283 133 |

| | | | | | | | |
|----|--------|--------|---------|---------------|--------|---------|----------|
| 5 | 50 167 | 43 274 | 229 748 | -209 306 | 29 885 | 185 806 | -253 248 |
| 6 | 50 167 | 42 014 | 271 762 | -167 292 | 26 944 | 212 750 | -226 304 |
| 7 | 50 167 | 40 790 | 312 552 | -126 502 | 24 292 | 237 042 | -202 012 |
| 8 | 50 167 | 39 602 | 352 154 | -86 900 | 21 902 | 258 944 | -180 110 |
| 9 | 50 167 | 38 448 | 390 602 | -48 452 | 19 746 | 278 691 | -160 363 |
| 10 | 50 167 | 37 329 | 427 931 | -11 123 | 17 803 | 296 494 | -142 560 |
| 11 | 50 167 | 36 241 | 464 172 | 25 118 | 16 051 | 312 545 | -126 509 |
| 12 | 50 167 | 35 186 | 499 358 | 60 304 | 14 471 | 327 016 | -112 038 |
| 13 | 50 167 | 34 161 | 533 519 | 94 465 | 13 047 | 340 064 | -98 990 |
| 14 | 50 167 | 33 166 | 566 685 | 127 631 | 11 763 | 351 827 | -87 227 |
| 15 | 50 167 | 32 200 | 598 885 | 159 831 | 10 606 | 362 433 | -76 621 |
| 16 | 50 167 | 31 262 | 630 147 | 191 093 | 9 562 | 371 994 | -67 060 |
| 17 | 50 167 | 30 352 | 660 499 | 221 445 | 8 621 | 380 615 | -58 439 |
| 18 | 50 167 | 29 468 | 689 966 | 250 912 | 7 773 | 388 388 | -50 666 |
| 19 | 50 167 | 28 609 | 718 576 | 279 522 | 7 008 | 395 396 | -43 658 |
| 20 | 50 167 | 27 776 | 746 352 | 307 298 | 6 318 | 401 714 | -37 340 |
| 21 | 50 167 | 26 967 | 773 319 | 334 265 | 5 696 | 407 410 | -31 644 |
| 22 | 50 167 | 26 182 | 799 500 | 360 446 | 5 136 | 412 545 | -26 509 |
| 23 | 50 167 | 25 419 | 824 919 | 385 865 | 4 630 | 417 176 | -21 878 |
| 24 | 50 167 | 24 679 | 849 598 | 410 544 | 4 175 | 421 350 | -17 704 |
| 25 | 50 167 | 23 960 | 873 558 | 434 504 | 3 764 | 425 114 | -13 940 |
| 26 | 50 167 | 23 262 | 896 820 | 457 766 | 3 393 | 428 507 | -10 547 |
| 27 | 50 167 | 22 584 | 919 404 | 480 350 | 3 059 | 431 567 | -7 487 |
| 28 | 50 167 | 21 927 | 941 331 | 502 277 | 2 758 | 434 325 | -4 729 |
| 29 | 50 167 | 21 288 | 962 619 | 523 565 | 2 487 | 436 812 | -2 242 |
| 30 | 50 167 | 20 668 | 983 287 | 544 233 | 2 242 | 439 054 | 9 |

Příloha pro tabulku C

Nízkoenergetická varianta 1.

| t | CF | NCF | ΣNCF | NPV | NCF | ΣNCF | NPV |
|----|--------|--------|---------|------------|--------|---------|----------|
| 1 | 14 149 | 13 737 | 13 737 | -136 263 | 13 023 | 13 023 | -136 977 |
| 2 | 14 149 | 13 337 | 27 073 | -122 927 | 11 986 | 25 008 | -124 992 |
| 3 | 14 149 | 12 948 | 40 022 | -109 978 | 11 032 | 36 040 | -113 960 |
| 4 | 14 149 | 12 571 | 52 593 | -97 407 | 10 153 | 46 193 | -103 807 |
| 5 | 14 149 | 12 205 | 64 798 | -85 202 | 9 345 | 55 538 | -94 462 |
| 6 | 14 149 | 11 849 | 76 647 | -73 353 | 8 601 | 64 140 | -85 860 |
| 7 | 14 149 | 11 504 | 88 152 | -61 848 | 7 916 | 72 056 | -77 944 |
| 8 | 14 149 | 11 169 | 99 321 | -50 679 | 7 286 | 79 342 | -70 658 |
| 9 | 14 149 | 10 844 | 110 165 | -39 835 | 6 706 | 86 048 | -63 952 |
| 10 | 14 149 | 10 528 | 120 693 | -29 307 | 6 172 | 92 220 | -57 780 |
| 11 | 14 149 | 10 221 | 130 914 | -19 086 | 5 681 | 97 901 | -52 099 |
| 12 | 14 149 | 9 924 | 140 838 | -9 162 | 5 229 | 103 130 | -46 870 |
| 13 | 14 149 | 9 635 | 150 473 | 473 | 4 812 | 107 942 | -42 058 |
| 14 | 14 149 | 9 354 | 159 827 | 9 827 | 4 429 | 112 372 | -37 628 |

| | | | | | | | |
|----|--------|-------|---------|---------|-------|---------|----------|
| 15 | 14 149 | 9 082 | 168 909 | 18 909 | 4 077 | 116 448 | -33 552 |
| 16 | 14 149 | 8 817 | 177 726 | 27 726 | 3 752 | 120 200 | -29 800 |
| 17 | 14 149 | 8 560 | 186 286 | 36 286 | 3 453 | 123 654 | -26 346 |
| 18 | 14 149 | 8 311 | 194 597 | 44 597 | 3 178 | 126 832 | -23 168 |
| 19 | 14 149 | 8 069 | 202 666 | 52 666 | 2 925 | 129 758 | -20 242 |
| 20 | 14 149 | 7 834 | 210 500 | 60 500 | 2 693 | 132 450 | -17 550 |
| 21 | 14 149 | 7 606 | 218 106 | 68 106 | 2 478 | 134 929 | -15 071 |
| 22 | 14 149 | 7 384 | 225 490 | 75 490 | 2 281 | 137 209 | -12 791 |
| 23 | 14 149 | 7 169 | 232 659 | 82 659 | 2 099 | 139 309 | -10 691 |
| 24 | 14 149 | 6 960 | 239 619 | 89 619 | 1 932 | 141 241 | -8 759 |
| 25 | 14 149 | 6 758 | 246 377 | 96 377 | 1 778 | 143 019 | -6 981 |
| 26 | 14 149 | 6 561 | 252 938 | 102 938 | 1 637 | 144 656 | -5 344 |
| 27 | 14 149 | 6 370 | 259 307 | 109 307 | 1 507 | 146 163 | -3 837 |
| 28 | 14 149 | 6 184 | 265 491 | 115 491 | 1 387 | 147 549 | -2 451 |
| 29 | 14 149 | 6 004 | 271 496 | 121 496 | 1 276 | 148 825 | -1 175 |
| 30 | 14 149 | 5 829 | 277 325 | 127 325 | 1 175 | 150 000 | 0 |

Nízkoenergetická varianta 2.

| t | CF | NCF | ΣNCF | NPV | NCF | ΣNCF | NPV |
|----|--------|--------|---------|------------|--------|---------|----------|
| 1 | 23 571 | 22 884 | 22 884 | -258 120 | 21 946 | 21 946 | -259 058 |
| 2 | 23 571 | 22 218 | 45 102 | -235 902 | 20 433 | 42 379 | -238 625 |
| 3 | 23 571 | 21 571 | 66 673 | -214 331 | 19 025 | 61 404 | -219 600 |
| 4 | 23 571 | 20 943 | 87 616 | -193 388 | 17 713 | 79 117 | -201 887 |
| 5 | 23 571 | 20 333 | 107 948 | -173 056 | 16 492 | 95 609 | -185 395 |
| 6 | 23 571 | 19 740 | 127 689 | -153 315 | 15 355 | 110 964 | -170 040 |
| 7 | 23 571 | 19 165 | 146 854 | -134 150 | 14 297 | 125 261 | -155 743 |
| 8 | 23 571 | 18 607 | 165 461 | -115 543 | 13 311 | 138 572 | -142 432 |
| 9 | 23 571 | 18 065 | 183 526 | -97 478 | 12 393 | 150 966 | -130 038 |
| 10 | 23 571 | 17 539 | 201 065 | -79 939 | 11 539 | 162 505 | -118 499 |
| 11 | 23 571 | 17 028 | 218 094 | -62 910 | 10 744 | 173 248 | -107 756 |
| 12 | 23 571 | 16 532 | 234 626 | -46 378 | 10 003 | 183 251 | -97 753 |
| 13 | 23 571 | 16 051 | 250 677 | -30 327 | 9 313 | 192 565 | -88 439 |
| 14 | 23 571 | 15 583 | 266 260 | -14 744 | 8 671 | 201 236 | -79 768 |
| 15 | 23 571 | 15 129 | 281 389 | 385 | 8 074 | 209 310 | -71 694 |
| 16 | 23 571 | 14 689 | 296 078 | 15 074 | 7 517 | 216 827 | -64 177 |
| 17 | 23 571 | 14 261 | 310 339 | 29 335 | 6 999 | 223 826 | -57 178 |
| 18 | 23 571 | 13 845 | 324 184 | 43 180 | 6 516 | 230 342 | -50 662 |
| 19 | 23 571 | 13 442 | 337 626 | 56 622 | 6 067 | 236 410 | -44 594 |
| 20 | 23 571 | 13 051 | 350 677 | 69 673 | 5 649 | 242 059 | -38 945 |
| 21 | 23 571 | 12 671 | 363 348 | 82 344 | 5 260 | 247 318 | -33 686 |
| 22 | 23 571 | 12 302 | 375 649 | 94 645 | 4 897 | 252 215 | -28 789 |
| 23 | 23 571 | 11 943 | 387 592 | 106 588 | 4 559 | 256 774 | -24 230 |
| 24 | 23 571 | 11 595 | 399 188 | 118 184 | 4 245 | 261 020 | -19 984 |
| 25 | 23 571 | 11 258 | 410 445 | 129 441 | 3 952 | 264 972 | -16 032 |

| | | | | | | | |
|----|--------|--------|---------|---------|-------|---------|---------|
| 26 | 23 571 | 10 930 | 421 375 | 140 371 | 3 680 | 268 652 | -12 352 |
| 27 | 23 571 | 10 611 | 431 986 | 150 982 | 3 426 | 272 078 | -8 926 |
| 28 | 23 571 | 10 302 | 442 289 | 161 285 | 3 190 | 275 268 | -5 736 |
| 29 | 23 571 | 10 002 | 452 291 | 171 287 | 2 970 | 278 239 | -2 765 |
| 30 | 23 571 | 9 711 | 462 002 | 180 998 | 2 765 | 281 004 | 0 |

Varianta splňující normu.

| t | CF | NCF | ΣNCF | NPV | NCF | ΣNCF | NPV |
|----|--------|--------|-----------|----------|--------|---------|----------|
| 1 | 64 500 | 62 621 | 62 621 | -376 433 | 56 365 | 56 365 | -382 689 |
| 2 | 64 500 | 60 797 | 123 419 | -315 635 | 49 255 | 105 620 | -333 434 |
| 3 | 64 500 | 59 026 | 182 445 | -256 609 | 43 043 | 148 663 | -290 391 |
| 4 | 64 500 | 57 307 | 239 752 | -199 302 | 37 614 | 186 277 | -252 777 |
| 5 | 64 500 | 55 638 | 295 390 | -143 664 | 32 870 | 219 146 | -219 908 |
| 6 | 64 500 | 54 018 | 349 408 | -89 646 | 28 724 | 247 870 | -191 184 |
| 7 | 64 500 | 52 444 | 401 852 | -37 202 | 25 101 | 272 971 | -166 083 |
| 8 | 64 500 | 50 917 | 452 769 | 13 715 | 21 935 | 294 906 | -144 148 |
| 9 | 64 500 | 49 434 | 502 203 | 63 149 | 19 168 | 314 075 | -124 979 |
| 10 | 64 500 | 47 994 | 550 197 | 111 143 | 16 751 | 330 826 | -108 228 |
| 11 | 64 500 | 46 596 | 596 793 | 157 739 | 14 638 | 345 464 | -93 590 |
| 12 | 64 500 | 45 239 | 642 032 | 202 978 | 12 792 | 358 255 | -80 799 |
| 13 | 64 500 | 43 921 | 685 953 | 246 899 | 11 178 | 369 434 | -69 620 |
| 14 | 64 500 | 42 642 | 728 595 | 289 541 | 9 768 | 379 202 | -59 852 |
| 15 | 64 500 | 41 400 | 769 995 | 330 941 | 8 536 | 387 738 | -51 316 |
| 16 | 64 500 | 40 194 | 810 189 | 371 135 | 7 460 | 395 198 | -43 856 |
| 17 | 64 500 | 39 023 | 849 213 | 410 159 | 6 519 | 401 717 | -37 337 |
| 18 | 64 500 | 37 887 | 887 100 | 448 046 | 5 697 | 407 413 | -31 641 |
| 19 | 64 500 | 36 783 | 923 883 | 484 829 | 4 978 | 412 391 | -26 663 |
| 20 | 64 500 | 35 712 | 959 595 | 520 541 | 4 350 | 416 741 | -22 313 |
| 21 | 64 500 | 34 672 | 994 267 | 555 213 | 3 802 | 420 543 | -18 511 |
| 22 | 64 500 | 33 662 | 1 027 929 | 588 875 | 3 322 | 423 865 | -15 189 |
| 23 | 64 500 | 32 682 | 1 060 610 | 621 556 | 2 903 | 426 768 | -12 286 |
| 24 | 64 500 | 31 730 | 1 092 340 | 653 286 | 2 537 | 429 305 | -9 749 |
| 25 | 64 500 | 30 805 | 1 123 145 | 684 091 | 2 217 | 431 522 | -7 532 |
| 26 | 64 500 | 29 908 | 1 153 054 | 714 000 | 1 937 | 433 459 | -5 595 |
| 27 | 64 500 | 29 037 | 1 182 091 | 743 037 | 1 693 | 435 152 | -3 902 |
| 28 | 64 500 | 28 191 | 1 210 282 | 771 228 | 1 479 | 436 631 | -2 423 |
| 29 | 64 500 | 27 370 | 1 237 652 | 798 598 | 1 293 | 437 924 | -1 130 |
| 30 | 64 500 | 26 573 | 1 264 226 | 825 172 | 1 130 | 439 054 | 0 |