



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## ÚSTAV SOUDNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF FORENSIC ENGINEERING

## ODBOR ZNALECTVÍ VE STAVEBNICTVÍ A OCEŇOVÁNÍ NEMOVITOSTÍ

DEPARTMENT OF EXPERTISE IN CIVIL ENGINEERING AND REAL ESTATE APPRAISAL

## EKONOMICKÉ POSOUZENÍ VÝSTAVBY PASIVNÍCH A AKTIVNÍCH DOMŮ

ECONOMIC ASSESSMENT OF THE CONSTRUCTION OF PASSIVE AND ACTIVE HOUSES

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Filip Ondra, BSC.

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Tomáš Hrdlička

BRNO 2019



# Zadání diplomové práce

Student:	<b>Filip Ondra, BSC.</b>
Studijní program:	Soudní inženýrství
Studijní obor:	Realitní inženýrství
Vedoucí práce:	<b>Ing. Tomáš Hrdlička</b>
Akademický rok:	2018/19
Ústav:	Odbor znalectví ve stavebnictví a oceňování nemovitostí

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

## **Ekonomické posouzení výstavby pasivních a aktivních domů**

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Na vybraném typu rodinného domu bude provedeno porovnání využití jednotlivých technologií v závislosti na různých energetických standardech stavby.

Důraz bude kladen na výběr technických systémů staveb a alternativní výrobu energie (tepelné čerpadlo, fotovoltaické panely, solární panely, zpětné získávání tepla ze vzduchu a odpadních vod).

V závislosti na volbě různých energetických standardů bude kalkulováno také s vícenáklady na jejich dosažení formou podrobných položkových rozpočtů. Současně bude provedeno porovnání pořizovacích a provozních nákladů na vybraném rodinném domě s ohledem na životnost jednotlivých zařízení.

### **Cíle diplomové práce:**

Cílem práce je komplexní ekonomické zhodnocení investice do energeticky pasivních a aktivních domů s vhodným zohledněním životnosti jednotlivých opatření.

### **Seznam doporučené literatury:**

BRADÁČ, A. Teorie a praxe oceňování nemovitých věcí. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, 2016. ISBN 978-80-7204-930-1.

ČSN 73 0540:2. Tepelná ochrana budov- Část 2:požadavky. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. 56 s. Třídící znak 89 012

TYWONIAK, J. Nízkoenergetické domy 3: nulové, pasivní a další. Praha: Grada, 2012. Stavitel. ISBN 978-80-247-3832-1

MATUŠKA, T. Solární zařízení v příkladech. Praha: Grada, 2013. Stavitel. ISBN 978-80-247-3525-2

SMOLA, J. Stavba a užívání nízkoenergetických a pasivních domů. Praha: Grada, 2011. Stavitel. ISBN 978-80-247-2995-4

VALACH, J. Investiční rozhodování a dlouhodobé financování. 3., přeprac. a rozš. vyd. Praha: Ekopress, 2010. ISBN 978-80-86929-71-2

The appraisal of real estate. 14th ed. Chicago: Appraisal Institute, 2013, xii, 847 s. : il. ISBN 978--935328-38-4

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

---

Ing. Milada Komosná, Ph.D.  
vedoucí odboru

---

doc. Ing. Aleš Vémola, Ph.D.  
ředitel

### ***Abstrakt***

Tato diplomová práce se věnuje ekonomickému posouzení užití technologií spojených s nízkoenergetickou, pasivní a aktivní výstavbou, která je v současnosti často diskutovaným tématem. Cílem práce je zhodnotit ekonomickou efektivnost dodatečných investic do stavebních prvků přinášejících snížení tepelné náročnosti posuzovaného rodinného domu a dále také posoudit efektivnost investic do použití pokročilých technologií větrání, zdrojů tepla a fotovoltaické elektrárny. Výsledkem je komplexní zhodnocení různých variant posuzovaného rodinného domu, čímž tato práce pomáhá zodpovědět otázku, zdali se investice navíc stavebníkovi vyplatí.

### ***Abstract***

This diploma thesis examines the economics of use of technologies linked with low-energy, passive, and active house construction which is presently very often a topic of interest. The goal of the thesis is to evaluate economic effectivity of additional investment into construction materials leading to reduction of heating requirements of the evaluated family house. Furthermore, economics of the use of advanced technologies of ventilation, different heat sources and photovoltaic power plant are assessed. The result is a complex evaluation of different alternatives of the house which makes this thesis helpful in answering the question whether these additional investment will pay off.

### ***Klíčová slova (vzor)***

Nízkoenergetický dům, pasivní dům, investice, efektivita

### ***Keywords (example)***

Low-energy house, passive house, investment, efficiency



### ***Bibliografická citace***

ONDRA, Filip. *Ekonomické posouzení výstavby pasivních a aktivních domů* [online]. Brno, 2019. 101 s. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/112327>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, Odbor znalectví ve stavebnictví a oceňování nemovitostí. Vedoucí práce Ing. Tomáš Hrdlička.



### **Prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Ekonomické posouzení výstavby pasivních a aktivních domů“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne 23. 5. 2019

.....

Podpis autora



### ***Poděkování***

Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucímu práce Ing. Tomášovi Hrdličkovi za konzultace a cenné rady při tvorbě této práce.



# OBSAH

OBSAH.....	13
1 ÚVOD .....	16
2 REŠERŠE.....	17
2.1 Energeticky úsporné budovy .....	17
2.1.1 Nízkoenergetické budovy.....	21
2.1.2 Pasivní budovy.....	21
2.1.3 Nulové domy.....	23
2.1.4 Aktivní budovy.....	23
2.2 Technologie pro nízkoenergetickou výstavbu .....	24
2.2.1 Stavební prvky.....	24
2.2.2 Technologie větrání.....	27
2.2.3 Zdroje tepla.....	28
2.2.4 Solární zdroje.....	30
2.3 Podpora Nová zelená úsporám.....	31
2.3.1 Dotace pro novostavby RD.....	31
2.3.2 Podíl nízkoenergetických RD na novostavbách v ČR.....	33
2.4 Způsoby posouzení ekonomické efektivity .....	34
2.4.1 Statické metody hodnocení efektivity .....	34
2.4.2 Dynamické metody hodnocení efektivity.....	35
2.5 Nákladové oceňování .....	37
2.6 Předchozí výzkum – závěry ostatních.....	38
3 FORMULACE PROBLÉMŮ A STANOVENÍ CÍLŮ ŘEŠENÍ - POSUZOVANÝ OBJEKT.....	40
3.1 Posuzovaný objekt .....	40
3.2 Posuzované varianty domů a rozdíly mezi nimi .....	45
3.2.1 Referenční dům.....	48
3.3 Použité technologie .....	48
3.3.1 Řízené větrání s rekuperací odpadního tepla .....	48
3.3.2 Plynový kondenzační kotel .....	49
3.3.3 Tepelné čerpadlo vzduch/voda.....	50
3.3.4 Fotovoltaická elektrárna.....	51
4 POPIS VÝPOČTŮ .....	53
4.1 Popis výpočtů.....	53
4.2 Předpoklady pro provedené výpočty .....	56

5	DOSAŽENÉ VÝSLEDKY.....	58
5.1	Ekonomické posouzení použití technologií v nízkoenergetickém domě .....	58
5.1.1	<i>Posouzení přidání rekuperace .....</i>	<i>58</i>
5.1.2	<i>Posouzení použití tepelného čerpadla vzduch/voda namísto kondenzačního kotle bez použití rekuperace.....</i>	<i>59</i>
5.1.3	<i>Posouzení přidání rekuperace a použití tepelného čerpadla vzduch/voda namísto kondenzačního kotle .....</i>	<i>60</i>
5.1.4	<i>Shrnutí použití technologií v NED .....</i>	<i>60</i>
5.2	Ekonomické posouzení stavebních změn na dům pasivního standardu a použití technologií v něm.....	61
5.2.1	<i>Posouzení stavebních změn z NED na PD.....</i>	<i>61</i>
5.2.2	<i>Posouzení stavebních změn a přidání rekuperace.....</i>	<i>62</i>
5.2.3	<i>Posouzení stavebních změn a přidání rekuperace při využití dotací.....</i>	<i>63</i>
5.2.4	<i>Posouzení stavebních změn, přidání rekuperace a použití tepelného čerpadla vzduch/voda namísto kondenzačního kotle.....</i>	<i>64</i>
5.2.5	<i>Posouzení stavebních změn, přidání rekuperace a použití tepelného čerpadla vzduch/voda namísto kondenzačního kotle při využití dotací.....</i>	<i>65</i>
5.2.6	<i>Posouzení stavebních změn, přidání rekuperace, použití tepelného čerpadla vzduch/voda namísto kondenzačního kotle a použití fotovoltaické elektrárny.....</i>	<i>67</i>
5.2.7	<i>Posouzení stavebních změn, přidání rekuperace, použití tepelného čerpadla vzduch/voda namísto kondenzačního kotle a použití fotovoltaické elektrárny při využití dotací .....</i>	<i>68</i>
5.2.8	<i>Srovnání.....</i>	<i>69</i>
5.3	Ekonomické posouzení stavebních změn na dům aktivního standardu a použití technologií v něm.....	69
5.3.1	<i>Posouzení stavebních změn z NED na posuzovaný AD.....</i>	<i>70</i>
5.3.2	<i>Posouzení stavebních změn z PD na posuzovaný AD.....</i>	<i>71</i>
5.3.3	<i>Posouzení stavebních změn a přidání rekuperace.....</i>	<i>72</i>
5.3.4	<i>Posouzení stavebních změn a přidání rekuperace při využití dotací.....</i>	<i>73</i>
5.3.5	<i>Posouzení stavebních změn, přidání rekuperace a použití tepelného čerpadla vzduch/voda namísto kondenzačního kotle.....</i>	<i>74</i>
5.3.6	<i>Posouzení stavebních změn, přidání rekuperace a použití tepelného čerpadla vzduch/voda namísto kondenzačního kotle při využití dotací.....</i>	<i>74</i>
5.3.7	<i>Posouzení stavebních změn, přidání rekuperace, použití tepelného čerpadla vzduch/voda namísto kondenzačního kotle a použití fotovoltaické elektrárny.....</i>	<i>75</i>
5.3.8	<i>Posouzení stavebních změn, přidání rekuperace, použití tepelného čerpadla vzduch/voda namísto kondenzačního kotle a použití fotovoltaické elektrárny při využití dotací .....</i>	<i>76</i>
5.3.9	<i>Srovnání.....</i>	<i>77</i>

6	DISKUZE - EKONOMICKÉ POSOUZENÍ STAVEBNÍCH ZMĚN V JEDNOTLIVÝCH VARIANTÁCH DOMU A POUŽITÍ TECHNOLOGIÍ V NĚM.....	78
6.1	Posouzení stavebních změn a technologií v NED .....	79
6.2	Posouzení stavebních změn a technologií v PD .....	81
6.3	Posouzení stavebních změn a technologií v AD.....	84
6.4	Celkové posouzení .....	86
7	ZÁVĚR.....	90
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	92
	SEZNAM TABULEK .....	97
	SEZNAM GRAFŮ .....	99
	SEZNAM OBRÁZKŮ .....	99
	SEZNAM VZORCŮ .....	100
	SEZNAM ZKRATEK.....	100
	SEZNAM PŘÍLOH.....	101

# 1 ÚVOD

Pasivní, aktivní a obecně nízkoenergetická výstavba jsou pojmy, s kterými se ve veřejném prostoru pozorný člověk setkává čím dál častěji. Povědomí o nich roste, ale pro běžnou populaci jsou stále tématem, o kterém se toho příliš neví.

Stavby spotřebují více než 40 % lidstvem vyrobené energie, s jejíž výrobou je i nevyhnutelně spojena produkce CO<sub>2</sub>, a celkový dopad budov na globální stav životního prostředí je tedy velmi vysoký.

Z tohoto důvodu potenciální snížení energetické náročnosti budov s sebou nese obrovský pozitivní vliv na globální životní prostředí a to samo o sobě je dostatečným důvodem, proč by se tímto tématem lidstvo mělo zabývat. Toto si uvědomuje i celé evropské společenství a na úrovni Evropské unie se této problematice již mnoho let věnuje.

Neméně důležitý, a pro tuto práci zásadní, je i fakt, že ceny energií, které pro teplo těchto staveb potřebujeme, pomalu ale jistě stoupají, a je proto na místě klást si otázku, zdali provádění staveb v nízkoenergetických anebo lépe i vyšších standardech dává i smysl ekonomický, protože pouze tak je možné racionálně uvažující stavebníky přimět, aby dobrovolně navýšili svou počáteční investici do výstavby s očekáváním, že tato investice se jim za dobu užívání stavby vrátí a ideálně přinese i dodatečné úspory a tedy hmatatelný ekonomický přínos jim samotným.

Mou osobní motivací pro výběr právě tohoto tématu je jeho specifický průnik více oblastmi mého zájmu, kterými jsou moderní technologie a postupy v jejich jakékoliv podobě. V případě této práce jde tedy primárně o můj zájem o stavebnictví a technologie spjaté s moderním bydlením a neméně pak také finance a investice. Téma této práce je tedy právě kombinací výše zmíněného – ekonomické posouzení využití moderních technologií ve stavebnictví.

## 2 REŠERŠE

Stavby globálně spotřebují více než 40 % lidstvem vyrobené energie [1] a očekávání je, že se tato spotřeba může do roku 2050 zvýšit až o polovinu [2]. V původní 15 zemích EU je z této energetické náročnosti zhruba 78 % využito na vytápění budov [3].

Pokud se výše zmíněné informace spojí dohromady, je zřejmé, že snaha o snížení jakéhokoliv z těchto podílů je cesta správným směrem s potenciálem obrovských úlev pro životní prostředí, přímých finančních úspor spojených s provozováním budov a přenesených úspor vzniklých z omezení nákladů, kterým potenciálně lidstvo bude muset čelit ve spojení se zhoršujícím se životním prostředím a sanací tohoto stavu.

Jak uvažuje Smola – „slušností je energiemi šetřit“ [4].

### 2.1 ENERGETICKY ÚSPORNÉ BUDOVY

S rostoucí cenou energií a tedy i nákladů na provoz budov v kombinaci se snahou EU o snižování produkce skleníkových plynů, snižování spotřeby energie a zvyšování podílu energie získané z obnovitelných zdrojů, začali během posledních dvou dekad i čeští stavebníci řešit otázku energetické náročnosti budov (ENB). Evropská unie toto legislativně řeší už od roku 2002, kdy vydala směrnici 2002/91/EC, na základě které u nás poté vyhláškou 148/2007 Sb. byly zavedeny průkazy energetické náročnosti budov. EU směrnici aktualizovala v roce 2010 a poté znovu v roce 2018, vždy za zpřísnění těchto cílů, které by měly vést k udržitelnému, konkurenceschopnému, bezpečnému a dekarbonizovanému energetickému systému v Evropě do roku 2050 [5], což v souladu s evropskou legislativou bylo reflektováno do legislativy české.

Směrnice EU zmíněná výše poté znamená pro praktická pravidla výstavby nových budov, že počínaje rokem 2021 budou veškeré nové budovy muset splňovat standard budov s „téměř nulovou spotřebou energie“. Společné cíle EU, které tato směrnice vytyčuje, jsou snížení emisí skleníkových plynů alespoň o 20 %, zvýšení energetické účinnosti o 20 % a zvýšení podílu energie z energeticky obnovitelných zdrojů na 20 % [4].

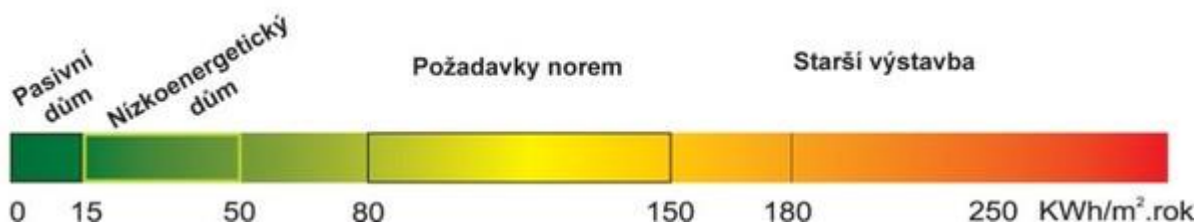
Pro české prostředí definice jednotlivých typů budov dle jejich energetické náročnosti poskytuje norma ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov – Část 2: požadavky, ve které bylo poprvé téma energeticky úsporných budov shrnuto formou doporučených hodnot součinitelů prostupu tepla jednotlivými konstrukčními prvky budov [4].

Měrnou jednotkou pro určení energetické náročnosti budovy je potřeba energie na vytápění 1 m<sup>2</sup> obytné plochy za jeden kalendářní rok. Dle tohoto údaje je poté možné budovy rozčlenit do následujících základních kategorií.

Tab. č. 1 – Základní rozdělení budov podle potřeby tepla na vytápění a potřeby energie na provoz [6]

Kategorie	Potřeba tepla na vytápění
Starší budovy	Často dvojnásobek hodnot pro obvyklé novostavby i více
Obvyklá novostavba podle aktuálních požadavků platných do r. 2007	80 – 140 kWh/(m <sup>2</sup> ·a) v závislosti na faktoru tvaru A/V
Nízkoenergetický dům	≤ 50 kWh/(m <sup>2</sup> ·a)
Pasivní dům	≤ 15 kWh/(m <sup>2</sup> ·a)
Dům s nulovou potřebou tepla na vytápění	≤ 5 kWh/(m <sup>2</sup> ·a)
Energeticky nulový dům	potřeba konečné energie pro provoz domu = 0 kWh/(m <sup>2</sup> ·a)
Dům s energetickým přebytkem, Energie-plus, energy-plus	potřeba konečné energie pro provoz domu < 0 kWh/(m <sup>2</sup> ·a)
Energeticky nezávislý dům	Nelze jednoznačně stanovit; nezávislost na obvyklém energetickém zásobování

Pro grafické znázornění lze typy domů rozřadit následovně:



Obr. č. 1 – Rozdělení domů dle jejich roční potřeby energie [7]

Aktuální evropská směrnice poté stanoví následující:

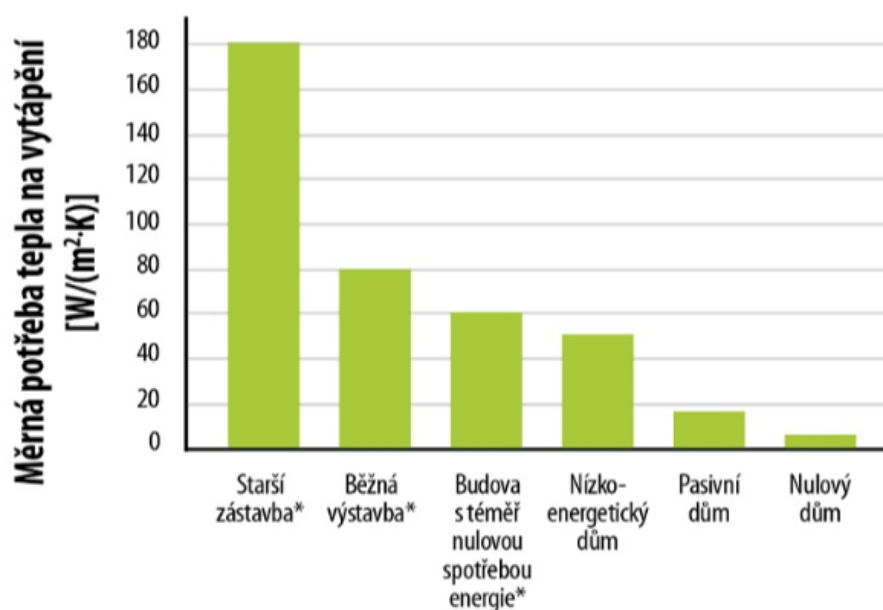
*Energetická náročnost budovy je určena na základě vypočtené či skutečné spotřeby energie a odráží typickou spotřebu energie pro vytápění prostor, chlazení prostor, přípravu teplé vody, větrání, zabudované osvětlení a jiné technické systémy budov.*

a také metodu vyjádření této náročnosti:

*Energetická náročnost budovy musí být vyjádřena číselným ukazatelem spotřeby primární energie v kWh/(m<sup>2</sup>·r) pro účely certifikace energetické náročnosti a souladu s minimálními požadavky na energetickou náročnost. Metodika používaná pro stanovení energetické náročnosti budovy musí být transparentní a otevřená inovacím [8].*

V současnosti dochází k zavádění standardu „budovy s téměř nulovou spotřebou energie“, kdy počínaje rokem 2020 nebude možné stavby realizovat v nižším, než tomto standardu. Tyto budovy ovšem nebudou dosahovat ani parametrů pasivního domu a z pohledu energetické náročnosti se budou pohybovat okolo nízkoenergetického domu tj. cca 40 – 60 kWh/(m<sup>2</sup>·a). U těchto domů je poté kladen větší důraz na využití obnovitelných zdrojů energie než pouze na jejich roční potřebu tepla na vytápění [9].

### Srovnání běžně používaných energetických standardů v ČR



\*jedná se o střední hodnoty, které jsou závislé na geometrii budovy

Graf č. 1 – Srovnání běžně používaných energetických standardů v ČR [9]

Mezi základní faktory ovlivňující energetickou náročnost budov a tedy i pro jejich klasifikovatelnost jako nízkoenergetický dům (NED) patří nejen použité stavební konstrukce a technologie jako jsou:

- tepelné izolace a jejich tloušťka,
- zamezení tepelných mostů,
- typ a velikost oken,
- použitá vzduchotechnika,

kterými se zabývá samostatná kapitola této práce, ale také nadměrná pozornost věnována před a v průběhu výstavby následujícímu:

- jednotlivé konstrukce NED musí splňovat alespoň doporučené hodnoty normy ČSN 73 0540 - 2
- správná volba pozemku, umístění a orientace budovy na něm a to tak, aby docházelo k maximalizaci solárních zisků a zároveň minimalizaci zbytečných ztrát (např. nadměrnou expozicí větru)
- tvarově jednoduchý dům - ležatý kvádr - orientovaný delší stranou na jih, střecha ideálně plochá
- místnosti jsou v domě rozmístěny dle světových stran tak, aby obytné místnosti byly na osluněné straně a ostatní poté na straně odvrácené. „Mokrý“ provozy jsou soustředěny nad sebou, ideálně v jedné stupačce, aby docházelo k minimalizaci tepelných ztrát. Veškeré doplňkové prostory jako garáž, zimní zahrada, sklep atd. jsou od domu odděleny tepelnou izolací a tvoří samostatnou zónu
- podíl ploch oken vůči obálce domu, která musí být v optimálním poměru vzhledem k solárním ziskům budovy a snížení ztrát tepla skrz výplně otvorů
- NED je za ideálních okolností vzduchotěsný, kdy i obvyklé otvory pro odvětrávání spíže, digestoře, garáže či krbu představují nezanedbatelné tepelné ztráty
- zpracování knihy konstrukčních detailů, zapojení specialisty na tepelnou techniku již ve fázi studie domu spolu s důsledným autorským dozorem projektanta a technickým dozorem investora v průběhu výstavby, kdy ukončením výstavby v souladu s projektem je úspěšné splnění tzv. blower-door testu [4]

V případě, že tyto body jsou dodrženy a stran stavebních technologií jsou použity materiály s dostatečnými tepelně-izolačními vlastnostmi, je reálné pro předmětnou stavbu dosáhnout cíleného standardu. Smola předchozí body definuje jako desatero pasivního domu [4].

### **2.1.1 Nízkoenergetické budovy**

Za nízkoenergetickou budovu se považují takové budovy, které mají výrazně nižší nároky na vytápění, než jsou v dané době požadavky národních předpisů [10]. Z této definice tedy vyplývá, že v čase se exaktní požadované hodnoty roční potřeby dodaného tepla mění - zpřísňují - s tím, jak postupuje vývoj stavebních materiálů a postupů, vedoucí k snadnějším a cenově dosažitelnějším realizacím budov s nižšími nároky na dodané teplo.

Jak je patrné z obrázku č. 1, za energeticky úspornou budovu lze považovat takovou budovu, která má energetické požadavky na vytápění na úrovni cca 1/2 až 1/3 požadavků, které jsou normami kladeny na běžnou výstavbu. Toto v současnosti odpovídá méně jak 50 kWh/m<sup>2</sup>·a. Ve středně až dlouhodobém časovém horizontu se poté lze domnívat, že v budoucnu budou běžné standardy výstavby na takové úrovni přísnosti odpovídající současným nejpřísnějším kategoriím, že podobné kategorizace úplně vymizí [10].

### **2.1.2 Pasivní budovy**

Jsou takové budovy, které jsou energeticky efektivní, komfortní na obývání, cenově dostupné a ekologické. V tomto konceptu se počítá s veškerými tepelnými zisky, které se v budově vyskytují – tedy vč. odpadního tepla osob, ostatních spotřebičů a hlavně také solární zisky, které budova získá maximalizací expozice ploch obvodového pláště a prosklených ploch vůči slunci [11].

Pasivní domy (PD) se vyznačují minimální tepelnou potřebou energie pro dosažení cílového stavu prostředí v interiéru za použití minimálního množství primární energie z neobnovitelných zdrojů. Dosaženo tohoto je optimalizací stavebního řešení a pozorností kladenou na body zmíněné v předchozí kapitole [10].

Zmíněná norma ČSN 73 0540-2 obsahuje požadované a doporučené hodnoty a to jak součinitelů prostupu tepla jednotlivých konstrukcí domu, tak roční spotřeby tepla na vytápění.

Tab. č. 2 – Požadavky na pasivní rodinný dům [12]

Průměrný součinitel postupu tepla $U_{em}$	$\leq 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ – požadovaná $\leq 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ – doporučená
Měrná roční potřeba tepla na vytápění	$\leq 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ – požadovaná $\leq 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ – doporučená
Měrná roční potřeba tepla na chlazení	0 kWh/(m <sup>2</sup> ·a)
Celková potřeba primární energie spojená s provozem budovy (pro obytnou budovu)	$\leq 60 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$

Existuje však definice pravidel pro pasivní dům vytvořena německým Passivhouse Institut, který je historicky největším průkopníkem pasivního bydlení [1] a z které čerpá i české Centrum pasivního domu řešící energetickou náročnost z jiného úhlu pohledu, a to kladením následujících požadavků pro splněná označení „pasivní dům“:

- *Měrná roční spotřeba na vytápění je max. 15 kWh/(m<sup>2</sup>·a),*
- *neprůvzdušnost obálky budovy n50 ověřená tlakovou zkouškou nesmí překročit hodnotu 0,6-1, což znamená, že při přetlaku nebo podtlaku 50 Pa se nesmí za hodinu vyměnit netěsnostmi v obálce více než 60 % vnitřního objemu vzduchu,*
- *celková potřeba primární energie spojená s provozem budovy včetně domácích spotřebičů je nižší než 120 kWh/(m<sup>2</sup>·a). Primární energie vyjadřuje množství energie spotřebované při výrobě určitého zdroje i se ztrátami při distribuci, a tudíž nám dává komplexnější pohled na spotřebu dle zvoleného zdroje. Použijeme-li jako zdroj například elektřinu, musíme díky neefektivní výrobě při výpočtu primární energie vynásobit výsledek třemi. V konečném důsledku to vyjadřuje i výši provozních nákladů ve vztahu k použitému zdroji energie [13].*

Zásadní roli v různém hodnocení, co je pasivní dům, hrají rozdíly ve výpočetním modelu a postupu získání těchto hodnot, a proto pasivní dům podle české normy není totožný s domem podle Passivhaus Institut [1].

Tab. č. 3 – Porovnání metodik hodnocení PD [14]

Metodika hodnocení	Měrná potřeba tepla na vytápění	Potřeba primární neobnovitelné energie	Hodnocení	Poznámka
	kWh/(m <sup>2</sup> ·a)	kWh/(m <sup>2</sup> ·a)		
Dle PHI	14,7	102,2	✓	dle PHPP
Dle ČSN 73 0540:2	8,7	44,7	✓	dle TNI 73 0330
Dle vyhlášky 78/2013 Sb.	12,3	48,4	✓	

Jakákoliv další – přísnější – kategorie domů dle tabulky č. 2 se dá označit za zpřísnění požadavků na potřebné roční dodané teplo do budovy v kombinaci s dodanými technologiemi, které zajišťují možnost získání této energie z obnovitelných zdrojů a více či méně autonomně na obvyklém energetickém zásobování.

### 2.1.3 Nulové domy

Nulové domy resp. domy s nulovou spotřebou energie jsou takové domy, které mají potřebu tepla nižší než 5 kWh/m<sup>2</sup>·a (není přesně 0 kWh/m<sup>2</sup>·a z důvodů získávání těchto hodnot výpočty, které z podstaty nejsou 100 % zobrazení pozdější reality dané stavby).

Dosáhnout takovýchto hodnot je již pro běžného stavebníka velmi obtížné a je to možné jen za mimořádně vhodných podmínek. Z tohoto důvodu je proto tento standard prozatím více rozšířený u větších administrativních budov se silnými zdroji tepla, ať už odpadního z osob v budově se nacházejících, tak např. ze serverů a jiných technologií v budově emitujících odpadní teplo [1] [6].

### 2.1.4 Aktivní budovy

Jedná se o evoluci myšlenky pasivních budov, kdy ke všem zásadám pasivního domu – avšak zpřísněným – přibývá zaměření na celkový vztah a dopad domu na životní prostředí [15]. Od samotné výstavby, použitých materiálů, přes provoz až do fáze skončení životnosti stavby. U konceptu aktivních budov by mělo záležet i na samotném výběru lokality pozemku a jeho

vzdálenosti k zaměstnání/škole obyvatelů domu tak, aby dojíždění, a tedy dopad na životní prostředí, bylo minimalizováno. Stran použitých technologií se jedná o budovy, které jsou energeticky soběstačné a přebytky energie získané z obnovitelných zdrojů poté většinou dodávají do distribuční sítě ve formě elektrické energie [16].

## **2.2 TECHNOLOGIE PRO NÍZKOENERGETICKOU VÝSTAVBU**

Zásadní roli pro snížení energetické náročnosti budov hrají zvolené technologie / prvky konstrukce budovy pomáhající získání a udržení tepla uvnitř obálky budovy v zimě a zamezení vstupu tepla do obálky budovy v létě. Tato základní myšlenka se poté prolíná volbou izolací, výplní otvorů, minimalizací tepelných mostů, zajištěním maximální možné neprůvzdušnosti obálky budovy.

Dalším faktorem je poté aktivní forma získávání energie pro danou budovu a to buď konvenčními zdroji vytápění, jako jsou elektrické nebo plynové zdroje, nebo ze zdrojů obnovitelných jako např. tepelných čerpadel nebo solární energie. Podstatným prvkem výstavby NED je poté také systém řízeného větrání s rekuperací odpadního tepla.

### **2.2.1 Stavební prvky**

#### ***Tepelně izolační materiály***

V cestě za snížením energetických potřeb budov je oblast tepelných izolací tou s největším dopadem a ne vždy je nutně spojena se zvýšenou náročností prací – např. při prostém zesílení tloušťek instalovaných izolačních prvků [17].

Pokud předmětná konstrukce nepropouští do domu sluneční záření a tedy negeneruje domu solární zisky, je její role poskytovat maximální možnou tepelnou izolaci a tím minimalizovat tepelné ztráty budovy.

V případě obvodových stěn prozatím masivní stavební materiály nejsou schopny zvýšené požadavky na součinitel prostupu tepla  $U$  splnit, aniž by se to negativně podepsalo na potřebné tloušťce takové konstrukce, a proto je zapotřebí využít tepelně izolačních materiálů, jejichž tloušťka je poté volena v závislosti na požadovaném součiniteli konstrukce.

Při aplikaci tohoto postupu na střešní konstrukce je poté kladena, příp. foukána tepelná izolace mezi dřevěné nosníky a je nutné použití parozábrany na vnitřní straně, která u NED také zajišťuje neprůvzdušnost obálky budovy, které bude věnován prostor v další části této práce [16].

U spodní stavby a základů je nutné dbát na odizolování boků základových pásů po celé jejich boční ploše až do úrovně ložné spáry v nezámrazné hloubce. V Německu a Rakousku je poté rozšířené založení pasivních domů pouze na betonovou desku odizolovanou od podloží pomocí polystyrénu příp. násypem zhutněného izolačního kameniva např. z granulovaného pěnového skla. U nás je toto řešení prozatím zřídka používáno [4].

Dalším izolačním prvkem je poté tepelná izolace ve skladbě podlahy 1.NP, která je doplněna o kročejovou izolaci [16].

Za zmínku stojí i oblast vakuových tepelných izolací, které postupně nacházejí cestu do stavebních konstrukcí. Mezi jejich zásadní výhody patří, že vakuová izolace dosahuje desetkrát lepších izolačních vlastností než běžná tepelná izolace [18]. Pro svou cenu je však prozatím doménou specifických užití a to primárně tam, kde je zapotřebí udržet co nejnižší tloušťku izolací – často při sanacích existujících budov. Izolační panely bývají z výroby dodávány ve finálních rozměrech a jejich použití je poté spojeno se specifickým systémem kotvení, což jejich aplikaci dále zesložituje [6].

### ***Výplně otvorů - okna***

Stejně jako v předchozí části, i u výplní otvorů je zásadní jejich schopnost udržet teplo uvnitř budovy. K tomu se přidává další funkce a to zajistit budově solární zisky a tím i obnovitelný zdroj nezanedbatelného tepla v zimních měsících.

Dříve za nadstandard považovaná okna s trojskly jsou dnes již běžnou součástí nízkoenergetické výstavby a posun v této oblasti přinesl používání oken dokonce se čtyřmi skly. Tato evoluce s sebou nese už i specifická negativa, jako je až tak nízký součinitel prostupu tepla sklem, že se na povrchu vnějších skel tvoří námraza, která při nízkých teplotách u neosluněných oken přetrvává často i přes dopolední hodiny, a okna proto disponují zhoršenou průhledností.

Trendem je zeštíhlování rámu oken, které jsou částí okna s horšími tepelně izolačními vlastnostmi. U NED se poté používá předsazená montáž oken a z vnější strany bývají rámy často zčásti nebo zcela překryty vrstvou tepelné izolace pro limitování vlivu rámu na celkovou tepelnou ztrátu budovy [10].

V souladu se zmíněnými pravidly výstavby PD je potřeba brát v potaz, že okna mají vždy výrazně horší tepelně izolační vlastnosti než má k nim přiléhající obvodový plášť a to za cenu 3 – 4× vyšší, což je pádným důvodem proč se optimálním poměrem mezi těmito konstrukcemi při návrhu domu zabývat.

Podstatným prvkem nízkoenergetické výstavby, kterému je zapotřebí věnovat zvýšenou pozornost, je také stínění větších prosklených ploch, aby bylo v letních měsících zamezeno přehřívání interiéru. Toto je však nutné provést tak, aby naopak v zimních měsících docházelo k maximalizaci solárních zisků [4].

### ***Minimalizace tepelných mostů***

Z důvodu prostého oslabení tepelné izolace (a tím zvýšením úniku tepla z budovy), případně v horší variantě snížením teploty vnitřního povrchu prvku pod hranici kondenzace (vedoucímu až k poškození konstrukce) v místě tepelného mostu, je zapotřebí tyto slabé články konstrukce v maximální možné míře eliminovat.

Řešením tohoto problému je opět zapotřebí se zabývat již ve fázi návrhu zvolením vhodných dispozic a poté volbou vhodných materiálů. V současnosti již projektanti disponují specializovanými softwary, které jsou schopny na tyto slabiny v konstrukci upozornit a lze tedy problémům předcházet [16].

S využitím vyšších tloušťek izolačních materiálů používaných při výstavbě NED vznikla poptávka po kotvicích prvcích minimalizujících tepelné mosty. Princip těchto prvků je obejít klasické kotvení, a tedy tepelný most kovovým prvkem skrze celou skladbu obvodového pláště, pomocí vložení mezičlánku z tepelně izolačního materiálu, který tento tepelný most přeruší.

Stejně tak jsou již běžně k dostání prvky, příp. celé systémové řešení napojení různých obvodových konstrukcí mezi sebou tak, aby došlo k minimalizaci tepelných ztrát [6].

### ***Neprůvzdušnost obálky budovy***

Pro tuto vlastnost NED je zásadní vzájemný vztah několika proměnných – vzduchotěsnost obálky domu, větrání, hygienické požadavky a minimalizace tepelných ztrát.

Pro minimalizaci tepelných ztrát je u výstavby nutné zajistit relativní vzduchotěsnost, aby teplo jednoduše neopouštělo prostory domu. Aby však byly splněny ostatní požadavky, je toto potřeba doplnit o řízené větrání se zpětným získáváním tepla.

Toto téma je tím palčivější, čím více je obálka budovy zateplená. V místě, kde se potká vnitřní a vnější vzduch při teplotě rosného bodu, dojde k tvorbě vodní páry, která pokud není odvětrána, může vést k tvorbě plísní a dalším problémům.

Prakticky je poté neprůvzdušnost obálky budovy zkoušena v českém prostředí nejčastěji metodou tlakového spádu, tzv. blower-door testem, kterým se měří množství vzduchu, který vnikne/unikne do a ze stavby netěsnostmi. Důvodem obousměrného testování je fakt, že netěsnosti u některých prvků, např. parozábran, se mohou v jednom směru více zavírat než v jiném, což by mohlo vést až k úplnému přehlédnutí takové netěsnosti. Blower-door test by se měl provádět v průběhu výstavby před přikrytím parotěsných prvků (test „B“), aby byly netěsnosti snadněji detekovatelné a napravitelné a poté znovu při úplném dokončení stavby (test „A“) [4].

### **2.2.2 Technologie větrání**

Z důvodu hygienických požadavků na kvalitu vnitřního vzduchu budov je potřeba se zabývat i touto stránkou spojenou s užíváním domu. Přirozené větrání v případě nízkoenergetických domů není vhodným kandidátem z důvodu své vysoké energetické náročnosti, kdy dochází spolu s výměnou vzduchu i k odlivu tepla z vytápěných prostor domu.

#### ***Řízené větrání s rekuperací odpadního tepla***

V těsné návaznosti na předchozí kapitolu je řízené větrání s rekuperací tepla. Úkolem této technologie je odvod nevhodného vzduchu (vydýchaného – s vysokým obsahem CO<sub>2</sub>, se zápachem) a jeho nahrazení vzduchem čistým z exteriéru vč. jeho filtrace, úpravy teploty a vlhkosti). Rekuperací je poté zajištěno, že je v zimě tepelná energie interiérového vzduchu předána vzduchu čerstvému a naopak v létě je příchozí vzduch ochlazován vzduchem vnitřním. Důležitým faktorem je i objem výměny vzduchu za hodinu, což je závislé na typu domu, ve kterém problematiku řešíme, a je definován v hygienické normě [4].

Pro efektivní fungování toho systému je ovšem zapotřebí zajistit relativní vzduchotěsnost obálky budovy a maximalizovat tak množství vzduchu, který se v prostoru domu vymění právě řízeným větráním. Pokud tato zajištěna není, utíká v zimě teplý vzduch netěsnostmi, a tudíž rekuperace nemůže probíhat s takovou mírou efektivity, což celou investici znehodnocuje a provoz domu prodražuje [18].

V případě, kdy je v domě instalován systém řízeného větrání s rekuperací s rozvody po celém domě, je nasnadě tyto využít i pro vytápění. Takto integrované systémy jsou u NED výstavby relativně časté, ale mají také svá úskalí a negativa, která stavebník musí vzít v potaz [4].

### **2.2.3 Zdroje tepla**

#### *Elektrické zdroje*

Elektrina je obecně nejjednodušeji dostupným zdrojem energie pro stavby. U NED, PD a AD výstavby se však její použití jako hlavního zdroje energie neslučuje s celkovou filozofií, což je dáno nepříznivou bilancí potřeby primární energie na její výrobu, potažmo efektivností její samotné výroby, která je nižší než 30 % [4] [10].

Dle Smoly je v pořádku její využití tam, kde nejsme schopni stejného účelu docílit hospodárněji použitím ekologičtějších zdrojů energie, tedy v případě vykryvání špiček spotřeby, kterou jinak uspokojujeme např. tepelným čerpadlem v kombinaci s fotovoltaickou elektrárnou (FVE) či jinými obnovitelnými zdroji energie. Navíc využitím elektrické energie jako primárního zdroje tepla se stavebník diskvalifikuje z možnosti využití dotací, protože nesplní požadavky na maximální měrnou neobnovitelnou primární energii, což je další důvod, proč je toto řešení ekonomicky nezajímavé [4].

#### *Plynové zdroje*

Moderní kondenzační kotle na zemní plyn jsou schopny pracovat s účinností až 106 % díky kondenzaci ohřátých spalin a využití tepla z nich. Proto jsou mezi zdroji tepla, v případě, kdy dům disponuje připojením plynu, velmi oblíbené.

Smolou zmiňovaná nevhodnost pro svůj předimenzovaný výkon daný jejich hlavním využitím v běžné výstavbě již dnes není úplně na místě, protože moderní kondenzační kotle jsou vybaveny lineární modulací výkonu, která již umožňuje pracovat v širokém rozsahu, např. již od cca 1 kW [4] [19].

### ***Zdroje na biopaliva***

Zařízení na výrobu tepla pomocí spalování biopaliv je celá škála lišících se typem spalovaného paliva, mírou automatizace jeho doplňování a relativní schopností regulace výkonu. Jako palivo poté může sloužit kusové dříví (obvykle polena klasických rozměrů), dřevěné pelety nebo štěpka.

U kusového dříví existuje i dokonalejší varianta kotle zplynovacího, který pomocí pyrolýzy velice efektivně spaluje složky uvolňující se ze dřeva při hoření za omezeného přístupu vzduchu [20]. Pro zajištění vyššího komfortu spojeného s alespoň poloautomatickým provozem (fyzické doplnění paliva je jednou za čas u biopaliv z podstaty nevyhnutelné) jsou však s kotly na biopaliva spojeny vyšší pořizovací náklady těchto technologií a mezi jejich negativa obecně patří vysoké min. výkony, které nejsou při nízkooenergetické výstavbě nutně potřebné.

U vyšších požadovaných výkonů kotlů (nad 50 kW) je možností i kotel na dřevěnou štěpku [4].

### ***Tepelné čerpadlo***

Technologie tepelných čerpadel je založená na principu získávání energie (nízkopotenciálního tepla), z okolního prostředí a její přeměnou na energii využitelnou k ohřevu vzduchu nebo vody pro potřeby bydlení a vytápění objektu. Tepelná čerpadla tuto řídkou rozptýlenou energii koncentrují a dále využívají pro potřeby budovy.

Podle typu teponosné látky tepelná čerpadla rozdělujeme na následující typy:

- vzduch/vzduch
- vzduch/voda
- voda/voda
- země/vzduch

Tepelné čerpadlo je uzavřeným chladícím okruhem - nejjednodušší přirovnání je obrácení principu ledničky, která za využití kompresoru pomocí elektrické energie chladivo stlačí, čímž se chladivo zahřeje, pro proces chlazení poté expanzní ventil tlak chladiva sníží, čímž se sníží i jeho teplota a ta se poté přes výparník předává do okolí a tím ho chladí. V případě tepelných čerpadel tento proces probíhá naopak, kdy výparníkem dojde k předání chladu do okolí domu, čímž se z něj odebere nízkopotenciální teplo, které chladivo zahřeje na určitou teplotu a kompresorem se stlačí ještě více. Tato energie je poté výměníkem předána do teplé vody, příp. vzduchu uvnitř domu.

Zásadní vlastností je u tepelných čerpadel topný faktor, který udává poměr mezi energií, kterou čerpadlo potřebuje pro svoje fungování, a kolik energie je schopno dodat. Současná tepelná čerpadla mají tyto poměry cca mezi 1/3 - 1/5, což znamená, že pro každý dodaný kW elektrické energie jsou schopny dodat 4 - 5 kW tepelné energie.

Pro čerpadla odebírajících energii z okolního vzduchu (vzduch/vzduch, vzduch/voda) je poté vlastní snížení efektivity ve studených měsících, kdy je zapotřebí systém často doplnit o přídatný menší zdroj tepla pro ohřev vody a vytápění. U čerpadel odebírajících energii z půdy (tzv. geotermální energii) je stabilita efektivity vyšší. Jejich použití je spojeno s vysokými nároky, ať už na plochu pozemku v případě využití horizontálních zemních kolektorů, tak potřebou vrtů (cca 30 - 150 m hlubokých), což se v obou případech podepisuje negativně na pořizovacích nákladech těchto řešení. Pro získání nízkopotenciálního tepla pomocí čerpadla typu voda/voda je možné využít povrchové či studniční vody [4] [19].

#### **2.2.4 Solární zdroje**

Slunce je nejlevnějším zdrojem energie – je zdarma. Celý koncept energetické úspornosti domů je postaven na maximálním možném využití této energie, ať už je to dáno správnou orientací největších ploch budovy směrem ke slunci, tak i stejným směřováním hlavních prosklených ploch, vše za cílem maximalizace solárních zisků.

V rámci samotné ČR je mezi severem a jihem rozdíl v efektivitě tohoto zdroje do 20 %. S využitím solární energie je ideální počítat již ve fázi návrhu, protože pro maximalizaci jejich efektivity je důležitá jejich orientace a sklon – v případě ČR je toto 30° sklonu (až 45° v případě termických kolektorů) a směr na jih [4].

##### ***Termické kolektory***

Jsou založeny na principu ohřátí teplosměnného média (voda s přísadami, olej), které proudí trubicemi a ve výměníku poté předá tuto tepelnou energii vodě, která se ukládá v akumulacím či zásobníkovém ohříváči vody v domě.

Pro ilustraci, při celoroční účinnosti cca 60 % je zapotřebí zhruba 1,5 m<sup>2</sup> kolektoru/osobu pro přípravu teplé vody, pokud používáme kolektory k ohřevu vody v bazénu pak je zapotřebí cca 0,5 - 0,8 m<sup>2</sup> plochy kolektoru na 1 m<sup>2</sup> vodní hladiny bazénu. Bazén poté sám o sobě slouží i jako tepelný zásobník.

Jak dále praví Smola, ohřívát bazénovou vodu (hlavně u vnějších bazénu, který teplo ztrácí do okolí) jinak, např. elektrickými přímotopy, je energetické i ekologické zvěrstvo [4].

### ***Fotovoltaické kolektory***

I přes svou pošramocenou pověst v českém prostředí spojenou s kauzami udělování licencím velkým FVE v posledních dnech roku 2010 a tedy za podmínek nejvyšších možných garantovaných výkupních cen, má fotovoltaika v nízkoenergetické výstavbě své místo.

Stavba se s jejím využitím dle dimenzování FVE stává většinou alespoň nulovou, příp. se může stát i energeticky plusovou.

Samotné panely jsou nejčastěji vyrobeny z křemíku, s tvrdým krycím sklem a kovovým rámem. S FVE je spojena nutnost využití střídače napětí, který mění stejnosměrný proud vyprodukovaný panely na proud střídavý, který je zapotřebí pro další použití ostatními spotřebiči. Se snížením možnosti odprodeje přebytečné energie do sítě se čím dál víc rozšiřují instalace FVE s vlastními bateriemi, které přes den energii ukládají a tato poté slouží domácnosti v momentu, kdy je spotřeba nejvyšší, tedy večer resp. ráno [4].

## **2.3 PODPORA NOVÁ ZELENÁ ÚSPORÁM**

### **2.3.1 Dotace pro novostavby RD**

Program Nová zelená úsporám (NZÚ) je dotační program Ministerstva životního prostředí, který se zabývá úsporami energií v rodinných a bytových domech formou podpory snižování jejich energetické náročnosti v souladu s implementací směrnice EU zmiňované v kapitole 2.1 této práce.

Finanční podporu je možné získat na výstavbu rodinných a bytových domů v pasivním standardu, renovaci rodinných a bytových domů snižující jejich energetickou náročnost, solární termické a FVE systémy, zelené střechy, rekuperaci tepla z odpadní vody, rekuperaci tepla z odpadního vzduchu a ostatních obnovitelných zdrojů tepla jako jsou tepelná čerpadla atd. [21].

V souladu s cílem této práce – posouzení ekonomické efektivity pasivních a aktivních domů – a se zvoleným posuzovaným domem je relevantní oblast podpory B, která se týká novostaveb rodinných domů.

Tab. č. 4 – Požadované parametry budovy v oblasti podpory B [21]

Sledovaný parametr	Označení [jednotky]	Podoblast podpory B.0	Podoblast podpory B.1	Podoblast podpory B.2
Měrná roční potřeba tepla na vytápění	$E_A$ [kWh.m <sup>-2</sup> .rok <sup>-1</sup> ]	-	≤ 20	≤ 15
Měrná neobnovitelná primární energie	$E_{pN,A}$ [kWh.m <sup>-2</sup> .rok <sup>-1</sup> ]	≤ 120	≤ 90	≤ 60
Součinitel prostupu tepla jednotlivých konstrukcí na systémové hranici <sup>1)</sup>	$U$ [W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup> ]	≤ U <sub>rec</sub>	≤ U <sub>pas</sub>	≤ U <sub>pas</sub>
Průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy	$U_{em}$ [W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup> ]	≤ 0,7 * U <sub>em,N</sub>	≤ 0,22	≤ 0,22
Průvzdušnost obálky budovy po dokončení stavby	$n_{50}$ [1.h <sup>-1</sup> ]	≤ 1,0	≤ 0,6	≤ 0,6
Nejvyšší denní teplota vzduchu v místnosti v letním období <sup>2)</sup>	$\theta_{ai,max}$ [°C]	≤ 27 °C	≤ 27 °C	≤ 27 °C
Povinná instalace systému řízeného větrání se zpětným získáváním tepla	[-]	Ano	Ano	Ano

**Poznámka**

- <sup>1)</sup> Výjimky jsou přípustné v technicky odůvodněných případech, a pouze pokud nemají vliv na splnění ostatních požadavků.  
<sup>2)</sup> Bez použití strojního chlazení. Posouzení není vyžadováno v případě, že jsou všechna okna na jižní, jihozápadní, západní, jihovýchodní a východní straně opatřena vnějšími aktivními stínícími prvky.

Při splnění podmínek jedné z podoblastí v tabulce č. 4 je poté stavebník oprávněn čerpat dotaci dle dané podoblasti dle následující tabulky č. 5.:

Tab. č. 5 – Požadované parametry budovy v oblasti podpory B [21]

Podoblast podpory	Popis	Výše podpory [Kč/dům]
B.0	dům s nízkou energetickou náročností	150 000
B.1	dům s velmi nízkou energetickou náročností	300 000
B.2	dům s velmi nízkou energetickou náročností s důrazem na použití obnovitelných zdrojů energie	450 000

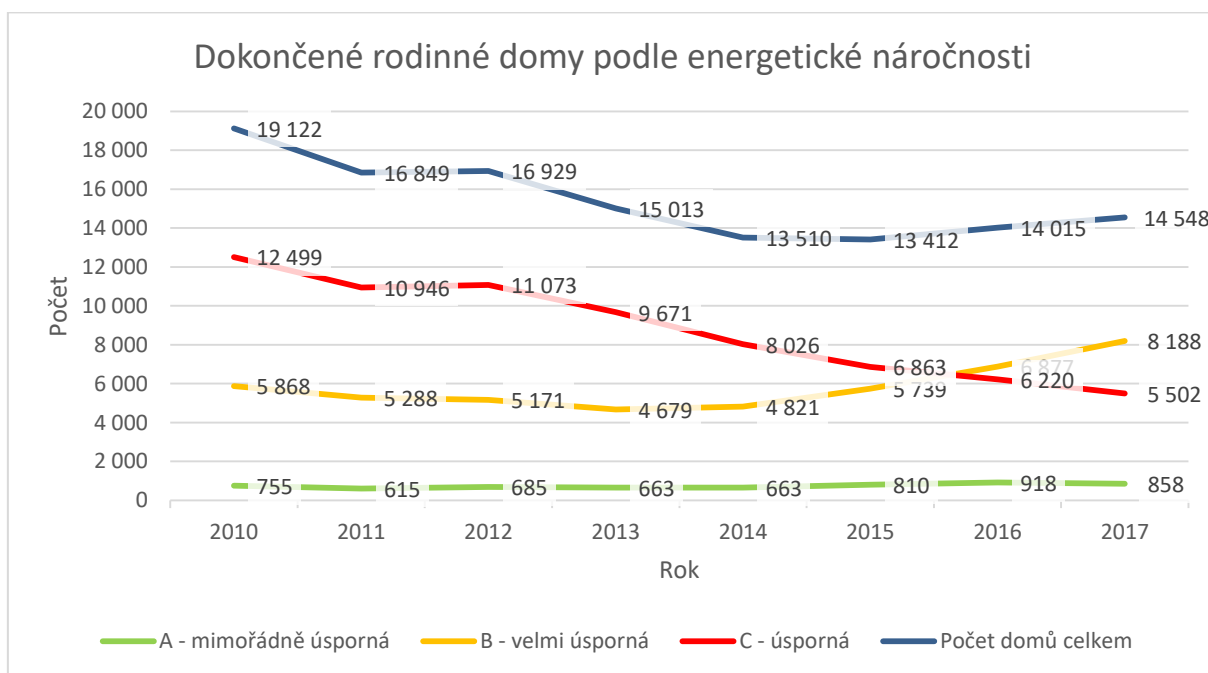
Současně s tím může stavebník žádat i podporu v podoblasti B.3, ze které lze čerpat dotaci pro zpracování odborného posudku pro podání žádosti, zajištění odborného technického dozoru a měření průvzdušnosti obálky pomocí blower-door testu, jehož splnění v rámci stanovených minimálních požadavků je i podmínkou čerpání dotace.

### 2.3.2 Podíl nízkoenergetických RD na novostavbách v ČR

V době tvorby této práce probíhá již 3. výzva podpor Zelená úsporám, ta současná započala 21. 10. 2015 a potrvá do 31. 12. 2021. Od počátku tohoto období do konce roku 2018 byly vyplaceny dotace v rámci NZÚ celkem 24 566 žádostem v součtu za 4,8 miliardy Kč, s dalšími 31 692 aktivními žádostmi v celkové výši 8,6 miliardy Kč, což je pod úrovní původních odhadů [22]. Dotace typu B, tedy na podporu novostaveb s nízkou energetickou náročností, byla vyplacena celkem 520 žadatelům – z toho 0× v podoblasti B.0 (platí až od roku 2018), 251× v podoblasti B1 a 269× v podoblasti B2 [23].

Dle aliance Šance pro budovy se v současnosti postaví 6 % novostaveb všech rodinných domů v energeticky pasivním standardu. Aliance se domnívá, že nad rámec 550 žádostí v programu Nová zelená úsporám v roce 2018 se v alespoň 350 novostaveb postavilo bez podpory [24].

Relevantním zdrojem dat nám může být informace v grafu č. 2, ze kterého lze vyčíst trend poklesu podílu RD úsporné energetické náročnosti třídy C ve prospěch velmi úsporné třídy B. Je také patrný stagnující trend u mimořádně úsporných variant. U třídy A lze poté předpokládat, že se bude jednat o domy blížící se pasivnímu standardu a jejich zastoupení v nové výstavbě je tedy relativně stabilní a to na úrovni okolo 15 % [25].



Graf č. 2 – Dokončené rodinné domy podle energetické náročnosti [25]

## 2.4 ZPŮSOBY POSOUZENÍ EKONOMICKÉ EFEKTIVNOSTI

Pro posouzení ekonomické efektivity dané investice je zapotřebí v první řadě kvantifikovat hodnotu jejich ukazatelů [26]. Pokud je investice provedena za účelem maximalizace z ní vyplývající cash flow, je za míru její efektivity považována její výnosnost.

*Výnosnost investic je investičním kritériem, udávajícím míru zhodnocení peněžních prostředků, vložených do určitého druhu investičního instrumentu za určité časové období [27].*

Pro posouzení výnosnosti ve finanční praxi existuje více metod a jejich primárním rozdílem je, zda přihlížejí nebo nepřihlížejí k faktoru času. Podle této podmínky je poté můžeme rozdělit na metody statické a metody dynamické [28].

### 2.4.1 Statické metody hodnocení efektivity

Statické metody slouží jako první krok ekonomického zhodnocení, za což vděčí hlavně své jednoduchosti. Své místo ovšem mají i v posouzení investic, ve kterých faktor času nehraje přílišnou roli a kde tedy hodnocení efektivity dynamickou metodou nepřinese zásadně odlišný výsledek. Toto nastává primárně, když je posuzované období velmi krátké a faktor času, jehož vliv se s délkou období vždy zvyšuje, nemá tedy dostatek prostoru výsledek příliš ovlivnit. Dále je tomu tak v případech, kdy jsou úrokové sazby na velmi nízké úrovni v průběhu celého posuzovaného období a tedy tyto také nemají příliš velký vliv na výsledek.

Společnou charakteristikou statických metod hodnocení je, že zanedbávají období, ve kterých vzniká cash flow hodnoceného projektu a v zásadě celý projekt vždy posuzují optikou jeho realizace v jednom období srovnatelným s délkou posuzovaného období [27].

#### *Prostá doba návratnosti*

Doba návratnosti (Payback period, PP) vyjadřuje počet let, které jsou zapotřebí, aby se investorovi vrátila výše původní investice, resp. za jakou projekt vygeneruje cash flow ve výši počáteční investice. Základní vstupní informací pro tento výpočet jsou peněžní toky, které mohou a nemusí být pro každé posuzované období stejné. Pokud jsou, lze dobu návratnosti vyjádřit následujícím vzorcem:

$$PP = \frac{IC}{CF} \quad (1)$$

Ve vzorci IC reprezentuje výši počáteční investice a CF je roční cash flow. Samotné hodnocení poté spočívá ve srovnání životnosti projektu, která pro přijatelnost projektu musí být vyšší než délka doby návratnosti [26].

## 2.4.2 Dynamické metody hodnocení efektivnosti

Dynamické metody hodnocení efektivnosti nachází své uplatnění v případech, kdy jsou projekty uvažovány s delší životností a jsou tedy hodnoceny přes delší časové období, nebo v případech, kdy ve vstupních datech projektu figuruje vysoká úroková míra.

Tyto metody jsou založeny na tom, že veškeré budoucí cash flow z projektu plynoucí (budoucí příjmy) přepočítávají pomocí úrokové míry na tzv. současnou hodnotu, která je v čase shodná s časem provedení počáteční investice do projektu. Pokud by tedy úrokové míry byly nulové, ve výsledku by nebyl rozdíl mezi statickou a dynamickou metodou výpočtu hodnocení [27].

### *Diskontovaná doba návratnosti*

Diskontovaná doba návratnosti (Pay Off, PO) na rozdíl od prosté doby návratnosti do svého výsledku zahrnuje i časovou hodnotu peněz, kdy diskontované cash flow porovnává s výší počáteční investice.

$$PO = (k - 1) + \frac{\sum_{n=1}^k \text{diskontovaných } CF_n - IC}{\text{diskontované } CF_k} \quad (2)$$

Diskontovaná doba návratnosti by však neměla (v ani jedné ze svých dvou podob) sloužit jako samostatný ukazatel ekonomické efektivnosti, protože nebere v potaz umístění cash flow v čase, případně nebere v potaz cash flow, které vznikne až po době návratnosti [26]. Další nevýhodou u projektů, které např. nemají přesně definovanou životnost, a tedy není možné určit srovnávací bázi k výsledku, je obecný problém s posouzením této doby návratnosti, kdy ji není proti čemu srovnávat. Pokud je toto číslo na základě nějakého principu zvoleno, poté převládá riziko,

že výsledná doba návratnosti projekt označí za nepřijatelný, i pokud je delší pouze o minimální období, než byla zvolená hodnota [29].

### **Čistá současná hodnota**

Čistá současná hodnota (Net Present Value, NPV) je porovnáním výše počáteční investice s diskontovanou sumou peněžních toků, které tato investice za dobu své životnosti vygeneruje.

$$NPV = \sum_{i=0}^n \frac{CF_i}{(1+r)^i} \quad (3)$$

kde  $n$  je délka hodnoceného období,  $CF$  je peněžní tok v daném roce (vč. započtení počáteční investice v roce 0) a  $r$  je diskontní sazba (úroková míra).

Pokud je výsledek NPV kladný, resp. nulový, poté je výnos z projektu při dané úrokové míře vyšší nebo shodný s výší počáteční investice [26].

### **Index rentability**

Index rentability (Profitability index, IR) je ukazatelem efektivnosti investičních nákladů a jeho vypovídající schopnost je ilustrace, kolik diskontovaných Kč na současnou hodnotu připadá na jednu investovanou Kč. Je proto ideálním doplněním hodnocení NPV, kde poté slouží ke srovnání více kladných projektů mezi sebou. Index rentability poté udává poměr NPV a IC:

$$IR = \frac{NPV}{IC} = \frac{(\sum_{i=0}^n CF_i)}{-\sum_{i=0}^x CF_i} \quad (4)$$

V případě, kdy je IR kladný nebo nulový, projekt je přijatelný. Pokud IR vyjde záporný, projekt je nepřijatelný [26].

### ***Vnitřní výnosové procento***

Vnitřní výnosové procento (Internal Rate of Return, IRR) je taková úroková míra, při které finanční toky projektu vytvoří nulou NPV. Je tedy velmi blízko spjaté s výše popsanou čistou současnou hodnotou. Podstatou, proč je „vnitřní“ je cíl zjištění návratnosti bez zkreslení, které by do výpočtu vnesly externí data, jako např. výše diskontní sazby jako v případě NPV [29].

Je to tedy taková diskontní sazba, při které platí:

$$NPV = \sum_{i=0}^n \frac{CF_i}{(1+r)^i} = 0 \quad (5)$$

Při posouzení pomocí IRR je investiční projekt přijatelný v případě, když je výsledná hodnota vyšší než předpokládaná diskontní sazba, resp. minimální vyžadovaná míra návratnosti. IRR je také velmi dobrým srovnávacím ukazatelem mezi více projekty, kdy by měl být vybrán ten projekt, který má IRR nejvyšší [26].

Problém IRR nastává v případě, kdy je tento ukazatel používán na hodnocení efektivnosti investic s nekonvenčními peněžními toky, např. takovými toky, kdy je vysoká investice na začátku projektu a další vysoká investice na jeho konci, např. na účely sanace. V takovém případě výpočet IRR přinese dva výsledky, kdy jsou buď správně oba nebo žádný. Dalším problémem IRR je, pokud ho používáme pro posouzení více investic. Přestože vyšší IRR může u daného projektu indikovat lepší ekonomickou efektivitu než u jiného, pokud bychom projekty hodnotili z pohledu požadované návratnosti pomocí NPV, může být výsledek od určité výše diskontní sazby opačný v závislosti na distribuci cash flow v průběhu posuzovaného období [29].

## **2.5 NÁKLADOVÉ OCEŇOVÁNÍ**

Protože stavebníci spojují při posuzování hodnoty stavby s jejími náklady, je nákladové oceňování ve své podstatě jednou z věrných reprezentací názoru trhu na hodnotu stavby [30].

V případech, ve kterých jsou přesně známy použité konstrukce stavby a jejich detailní provedení, tzn. u staveb nově budovaných, příp. u staveb, ke kterým existuje podrobná stavebně technická dokumentace shodující se s reálným stavem, lze pro ocenění použít metodu individuální cenové kalkulace.

Tato metoda je nejpodrobnější a nejpřesnější formou nákladového ocenění. Její princip je založen na definování jednotlivých použitých prvků stavebních konstrukcí na daném objektu, spočtení celkových výměr, příp. počtu kusů prvků v objektu použitých, přiřazení jednotkových cen těmto prvkům v souladu s katalogem stavebních prací a násobkem počtů a jednotkových cen, kdy celková suma těchto všech položek určí reprodukční, resp. pořizovací cenu předmětného objektu [31].

Tato metoda je založena na nákladech s užitým stavebním prvkem spojených. Jednotkovou cenu prvku, resp. cenu stavebního objektu reprezentující sumu všech použitých prvků stavby jde dále rozdělit následovně:

Tab. č. 6 – Cena stavebního objektu (kalkulační vzorec) [31]

CENA						
NÁKLADY CELKEM						ZISK
PŘÍMÉ NÁKLADY				NEPŘÍMÉ NÁKLADY		
MATERIÁL	MZDY	STROJE	OPN	ŘEŽIE VÝROBNÍ	ŘEŽIE SPRÁVNÍ	

Jednotlivé zjištěné ceny prvků v dané stavbě je poté možné použít k sestavení podrobného položkového rozpočtu.

## 2.6 PŘEDCHOZÍ VÝZKUM – ZÁVĚRY OSTATNÍCH

V případě ekonomického hodnocení změn standardu domu na NED či PD se ostatní autoři zaměřují primárně na kvantifikaci přínosu stavebních změn, často za použití systému řízeného větrání s rekuperací tepla. V případě ekonomického hodnocení je toto velmi často vztáhnuto na prostou dobu návratnosti, příp. pokročilejší metody zahrnující faktor času peněz.

Dále je mezi autory, pokud budeme srovnávat globálně, mírně odlišná definice, co přesně představuje který typ standardu domu, což je také již zmíněným problémem celé problematiky nízkoenergetické výstavby.

Pokud se zaměříme na výsledky v rámci ČR, v případě Smoly je zmiňována návratnost těchto navýšených investic v řádu 10 – 15 let s tím, že PD se již od NED zásadněji cenově neliší [4].

Tywniak ekonomické zhodnocení posuzuje ve svých starších publikacích z počátku tisíciletí, kdy nízkoenergetická výstavba v rámci ČR byla v plenkách. Posuzovaný NED dřevěné konstrukce poté stran zvýšených investic do stavebních změn dosahoval návratnosti 14 let [1].

Dalším zdrojem porovnání můžou být i publikace Centra pasivního domu, kde v posouzení prosté návratnosti investice u referenčního domu zvýšení standardu na nízkoenergetický bylo 10,7 let a na pasivní poté 12,6 let u referenčního domu. V případě posouzení v diskontované formě a se započtením zvyšujících cen energií při úrokové sazbě hypotéky o výši 5% poté byly návratnosti 1 rok u NED a 2 roky u PD [32].

Pokud se přesuneme za hranice ČR do Německa, které je kolébkou pasivní výstavby, narazíme i na téměř 30 let starou literaturu. Humm v této době jako jediný ekonomicky efektivní krok hodnotí u modelového domu trojitě zasklení, které je v současnosti standardem u výstavby NED [4]. Je však potřeba konstatovat, že tyto výsledky jsou rapidně ovlivněny naprosto odlišnými vstupy dat, jako je např. velmi vysoká diskontní sazba [17].

V soudobější práci z roku 2014, která pracovala se zobecněnými daty a to cenou výstavby na m<sup>2</sup> vyplývá závěr, že výstavba pasivního domu dává ekonomický smysl, pokud posuzované PD je schopno realizovat úspory alespoň 50 kWh/m<sup>2</sup> při zvýšení pořizovací ceny cca o 5 %. Poté je možné předpokládat, že taková investice je při neutrálním očekávaném růstu cen energií návratná za méně jak 25 let [33].

V případě studie z Belgie jsou čísla velmi rozdílná oproti všem ostatním, což je primárně dáno poměrově velmi vysokým navýšením pořizovací ceny u PD. Při stabilních cenách energií je návratnost této investice téměř 30 let oproti standardní výstavbě, zvýšení pouze na NED má poté návratnost zhruba 12 let [3].

Relativně soudobá studie z Koreje poté udává ekonomickou návratnost změn návrhu referenčního domu mezi 9 - 15 lety v diskontované formě a při rostoucích cenách energií a to s velmi podobnými sazbami jak diskontními, tak pro uvažovaný růst cen energií [34].

### **3 FORMULACE PROBLÉMŮ A STANOVENÍ CÍLŮ ŘEŠENÍ - POSUZOVANÝ OBJEKT**

Základním předmětem této práce je ekonomického posouzení, zdali a za jakých okolností se vyplatí dodatečné stavební investiční náklady spojené s provedením domu ve vyšším stavebním standardu a to namísto nízkoenergetického do standardu pasivního, resp. aktivního – tedy téměř nulového až nulového. Toto je kombinováno s využitím technologií s nízkoenergetickými budovami spjatými a využitím kombinací instalace těchto technologií do jednotlivých variant domu a následovné posouzení jejich ekonomické návratnosti pomocí statických a dynamických metod.

Ekonomické posouzení je provedeno pomocí následujících kroků:

1. Vypracování položkových rozpočtů stavby pro posuzované varianty domu.
2. Výpočet energetického posouzení těchto variant.
3. Stanovení investičních nákladů na posuzované technologie, jejich provozních nákladů na roční bázi a nákladů na vytápění a ohřev teplé vody pomocí těchto technologií v posuzovaných variantách RD.
4. Provedení ekonomického posouzení kombinací jednotlivých variant RD s těmito technologiemi pomocí statických a dynamických metod ekonomického posouzení vč. zahrnutí vývoje cen energií.

Tato práce předpokládá, že současný standard výstavby v ČR, který je stále pod úrovní NED, v lepších případech na této úrovni, je stále pod potenciálem ekonomické efektivnosti. Zvýšení investice při výstavbě do použitých materiálů a technologií a následné vybavení těchto domů pokročilejšími technologiemi vytápění, ohřevu teplé vody a vzduchotechniky se zpětným získáváním tepla přes období životnosti těchto technologií je ekonomicky efektivní.

#### **3.1 POSUZOVANÝ OBJEKT**

Posuzovaným objektem je novostavba pasivního rodinného domu, o zastavěné ploše 239,6 m<sup>2</sup> [35], celkové vnitřní podlahové ploše 278,5 m<sup>2</sup> a objemu budovy z vnějších rozměrů 959,7 m<sup>3</sup>. Dům je pro potřeby této práce umístěn v obci Šebrov – Kateřina, okres Brno - venkov

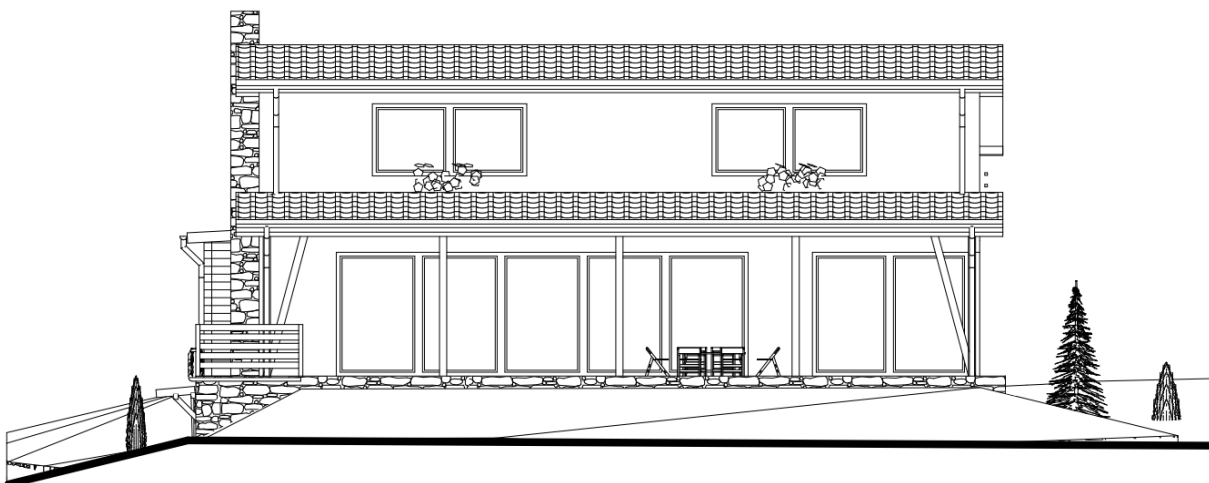
a oproti projektu je posazen na rovném terénu, bez podsklepení v podterasové části, avšak dodržujíc orientaci stran dle projektu, která je zásadní pro energetické zisky objektu.

Tento pasivní rodinný dům má ve všech srovnávaných variantách obvodové a vnitřní nosné zdi z vápenopískových bloků VAPIS tl. 250 mm, příčky VAPIS tl. 125 mm a strop z panelů SPIROLL tl. 200 mm. Střecha je zhotovena z dřevěných lepených nosníků I 300 mm tesařskou vazbou krovu pro malý sklon.

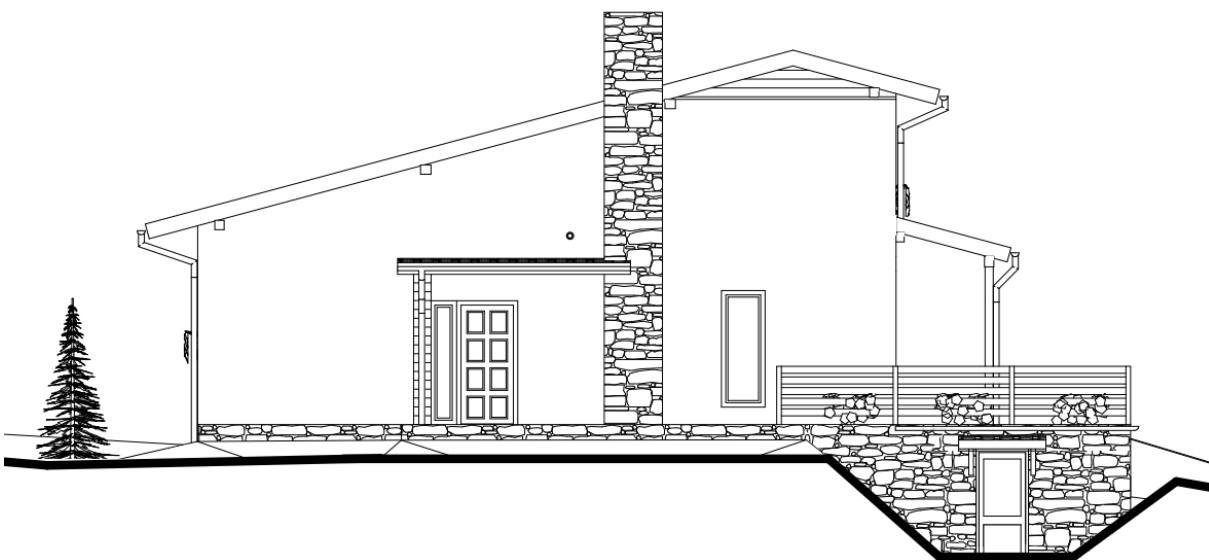
Vytápění domu je řešeno jako podlahové v celém domě.

Posuzované varianty se mezi sebou liší primárně tloušťkou použitého kontaktního fasádního zateplovacího systému z grafitového polystyrenu, tloušťkou polystyrenu v podlaze 1.NP a tloušťkou foukané „Chytré izolace“ ICYNENE, která je součástí skladby střechy. Okna, vstupní a balkonové dveře jsou od výrobce SLAVONA a jedná se také o rozdílné řady dle posuzované varianty domu.

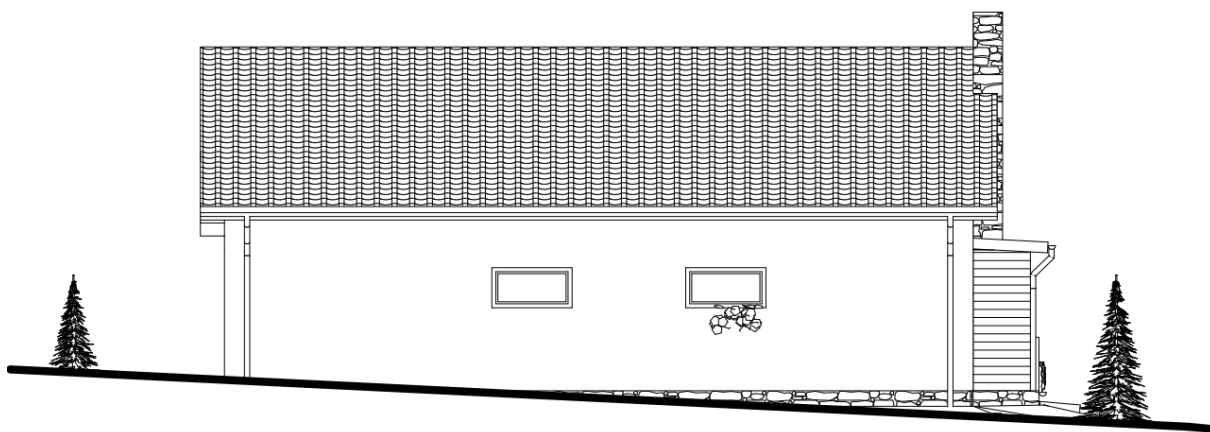
Posuzovaný RD byl použit z bakalářské práce „Novostavba pasivního domu“ [35]. Na následujících obrázcích č. 2 - 5 je možné vidět pohledy daného objektu, na obrázcích 6 - 7 poté půdorysy obou poschodí.



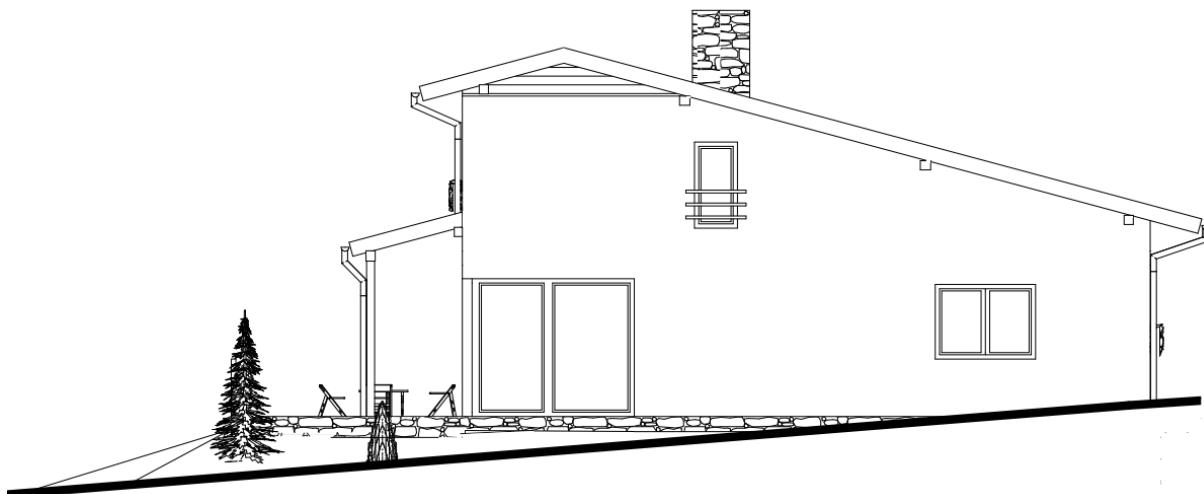
*Obr. č. 2 – Posuzovaný objekt - pohled jihozápadní [35]*



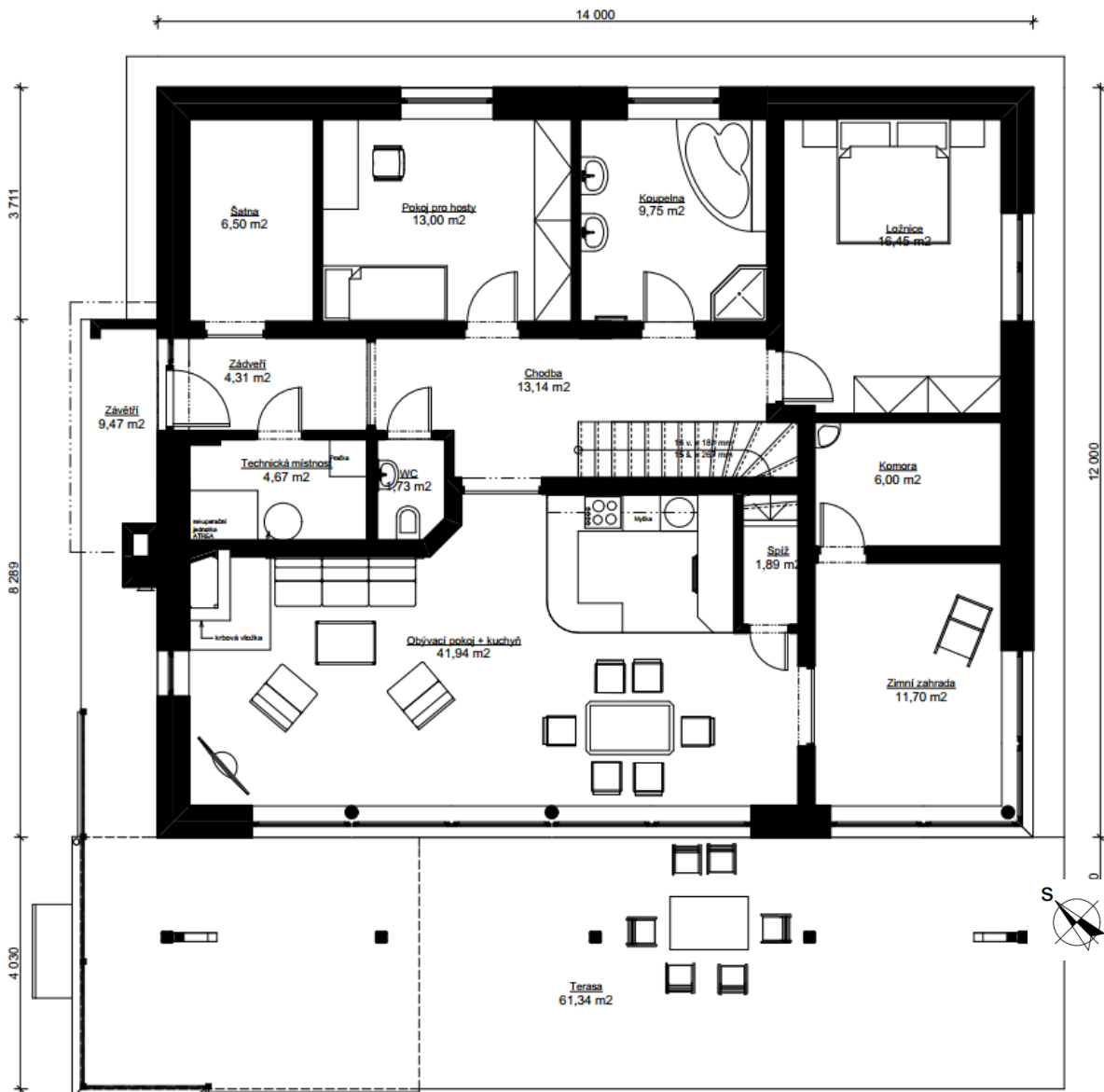
*Obr. č. 3 – Posuzovaný objekt - pohled severozápadní [35]*



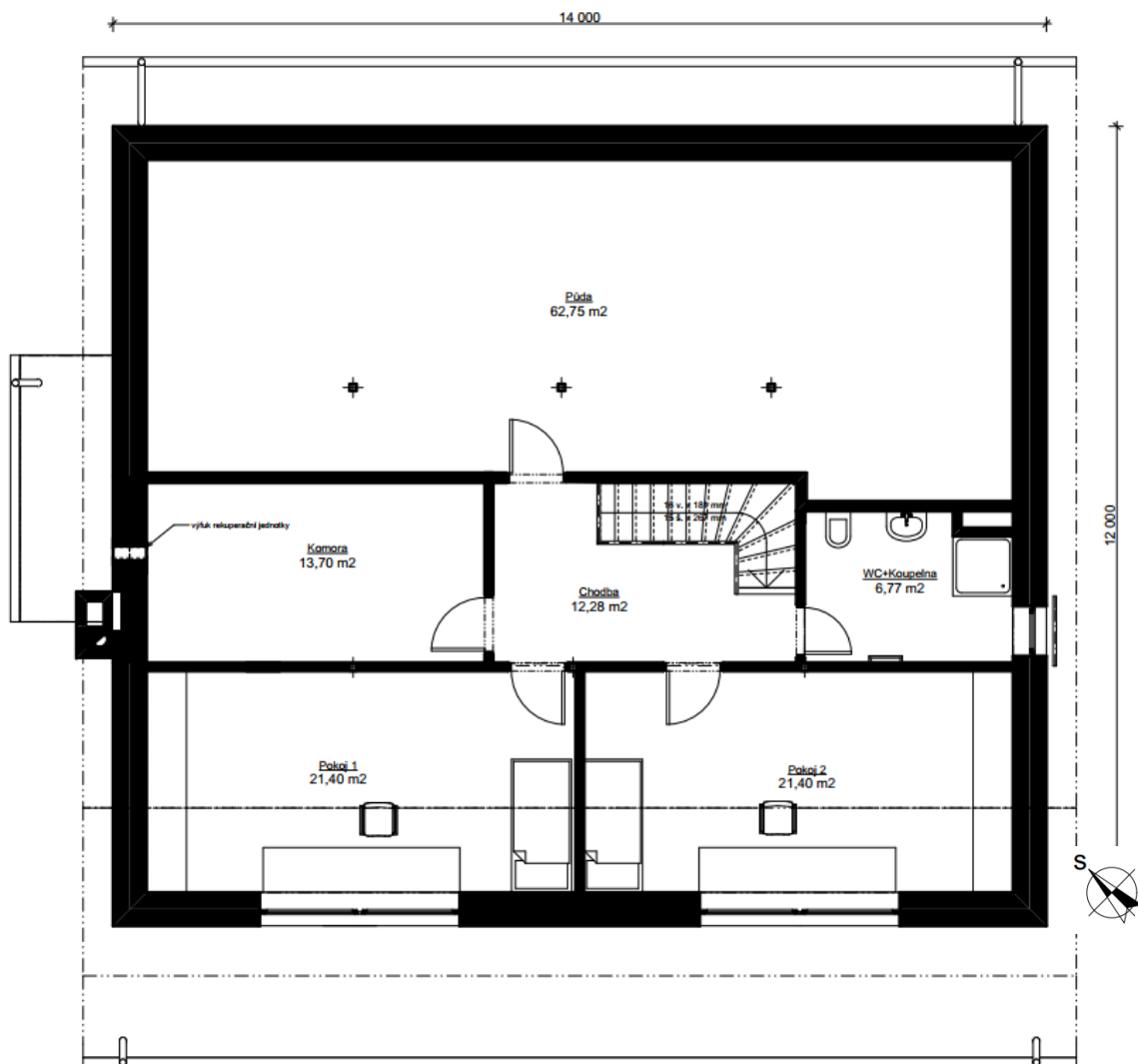
*Obr. č. 4 – Posuzovaný objekt - pohled severovýchodní [35]*



*Obr. č. 5 – Posuzovaný objekt - pohled jihovýchodní [35]*



Obr. č. 6 – Posuzovaný objekt - studie dispozice přízemí [35]



Obr. č. 7 – Posuzovaný objekt - studie dispozice podkroví [35]

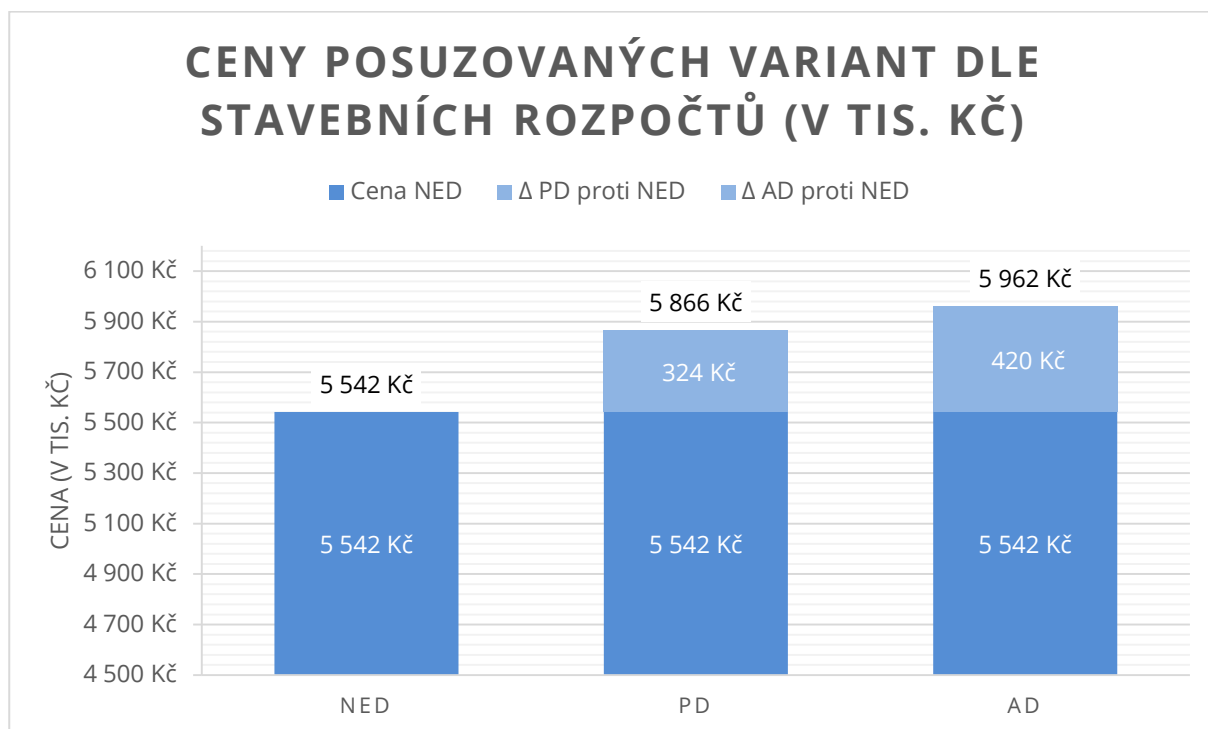
### 3.2 POSUZOVANÉ VARIANTY DOMŮ A ROZDÍLY MEZI NIMI

V souladu s cílem této práce je zapotřebí domy rozdělit na více variant a tyto poté posuzovat. Práce tedy posuzuje nízkoenergetickou variantu domu, pasivní variantu domu vycházející v maximální možné míře z projektu a aktivní variantu domu. Posuzovaná aktivní varianta domu je takto nazývaná pro účely této práce, stran nároků na aktivní výstavbu ovšem není v souladu s definicí poskytnutou v rešerši této práce, některé posuzované varianta AD by však potenciálně byly schopné přebytky energií dodávat zpět do rozvodné sítě.

Rozdíly mezi posuzovanými variantami lze rozdělit na:

- rozdíly v použitých stavebních materiálech:
  - použitých tloušťkách izolací,
  - použití oken s nižším součinitelem tepla,
  - použití kotvicích prvků maximálně eliminujících tepelné mosty,
- použití instalovaných technologií v daných variantách, které pro účely této práce jsou:
  - systém řízeného větrání s rekuperací tepla odpadního vzduchu,
  - plynový kondenzační kotel,
  - tepelné čerpadlo vzduch/voda,
  - fotovoltaická elektrárna.

Praktická část této diplomové práce se zabývá posouzením ekonomické efektivity umístování těchto technologií do jednotlivých stavebních variant posuzovaného domu.



Graf č. 3 – Ceny posuzovaných variant domů a rozdíly v nich dle stavebních rozpočtů [vlastní]

Specifika jednotlivých variant jsou:

Tab. č. 7 – Detail stavebních rozdílů mezi posuzovanými variantami a jejich ceny [vlastní]

Stavební prvek	Nízkoenergetický dům (NED)	Pasivní dům (PD)	Aktivní dům (AD)
Kontaktní fasádní zateplovací systém z grafitového polystyrenu	tl. 140 mm	tl. 250 mm	tl. 300 mm
Tepelná izolace podlahy v 1.NP	tl. 120 mm	tl. 180 mm	tl. 300 mm
„Chytrá izolace“ ICYNENE ve skladbě střechy	tl. 220 mm	tl. 320 mm	tl. 360 mm
Okna Slavona Součinitel prostupu tepla oknem [W/m <sup>2</sup> ·K] [36]	řada Solid Comfort 0,7	řada Progression 0,61	řada Progression 0,61
Použití kotvících prvků DOSTEBA pro eliminaci tepelných mostů  Měrná potřeba tepla na vytápění	<b>x</b>  13,62 kW (9,32 kW s rekuperací)	<b>✓</b>  4,70 kW	<b>✓</b>  4,39 kW
Celková cena dle položkového rozpočtu stavby vč. DPH 15 % (bez technologií)	5 541 602 Kč	5 865 618 Kč	5 961 583 Kč
Rozdíl proti variantě NED	-	324 016 Kč (+5,85 %)	419 981 Kč (+7,58 %)

### **3.2.1 Referenční dům**

Pro potřeby této práce je za referenční dům, proti kterému jsou veškeré ostatní varianty porovnávány, zvolena nízkoenergetická varianta posuzovaného domu bez využití rekuperace, jako typický zástupce dnes prováděné výstavby v České republice. Stavebníci se čím dál více zaobírají snižováním tepelných ztrát prostupem obálky domu nucenými cenami energií i zpřísnující se regulací, ale není pravidlem investování do dodatečných technologií, resp. technologií vytápění a ohřevu vody dražších na pořízení, ale levnějších na dlouhodobý provoz.

Jediný případ, kdy je porovnání provedeno vůči nízkoenergetické variantě posuzovaného domu, který využívá rekuperaci, je pro srovnání ekonomické návratnosti využití lepších stavebních prvků u pasivní a aktivní varianty domu a to z toho důvodu, že u těchto variant je velmi nepravděpodobná jejich realizace bez použití technologie rekuperace odpadového vzduchu. Navíc využití rekuperace je jednou z podmínek dotačního programu Zelená úsporám, který by v současnosti pravděpodobně každý stavebník pasivního či aktivního domu chtěl využít.

## **3.3 POUŽITÉ TECHNOLOGIE**

Lokalita posuzovaných domů disponuje připojením na veškeré sítě – vodovodní řád, kanalizaci, elektřinu a plyn. Posuzované technologie byly vybrány v souladu s trendy na poli nízkoenergetických domů se snahou o rozumnou výši stavebních investic a provozních nákladů – z těchto důvodů není posuzováno tepelné čerpadlo země/voda (vysoká cena prováděných vrtů příp. vysoká náročnost na plochu pozemku) ani využití vytápění pouze formou elektrických přímotopů a elektrického kotle na teplou vodu (velmi vysoké provozní náklady, nemožnost čerpat dotace).

Ostatní možné varianty spalující různé další typy paliv nejsou zvažovány primárně pro svůj nečistý provoz a nepraktičnost s nutností obstarávání paliva, což je zásadní charakteristika, které by se stavebník u novostavby domu vyššího než běžného standardu vyhnul.

Posuzované technologie jsou popsány v následujících podkapitolách:

### **3.3.1 Řízené větrání s rekuperací odpadního tepla**

Do posuzovaných objektů byla pro potřeby této práce použita rekuperační jednotka Venus Comfort se vzduchovým výkonem 700 m<sup>3</sup>/h, který je dostačující na celkový prostor domu,

protože ne ve všech místnostech je zapotřebí vzduch měnit frekvencí jednou za hodinu. V případě posuzovaného objektu je toto umocněno velkým prostorem, téměř polovinou 2. NP, kterou zabírá prostor půdy, kde je tento požadavek na obměnu vzduchu velmi nízký.

Celková cena této technologie umístěné v porovnávaných domech je pro účely této práce 100 915 Kč a skládá se z ceny jednotky 55 915 Kč vč. DPH [37] a dalších 45 000 Kč, což je odhadovaná cena vzduchových rozvodů, instalace, práce a ostatních souvisejících nákladů.



*Obr. č. 8 - Rekuperační jednotka VENUS Comfort, 700m<sup>3</sup>/h, AC, předehřev [38]*

### **3.3.2 Plynový kondenzační kotel**

Za referenční zdroj pro vytápění a ohřev teplé vody je v rámci této práce vždy považován plynový kondenzační kotel. I přes rozsah celkových tepelných ztrát posuzovaných variant domu od 4,39 kW u AD až po 13,62 kW pro NED bez rekuperace, lze ve všech variantách použít totožný kondenzační kotel Buderus Logamax plus GB062-14 H V2 CZ s výkonem 2,2 – 15 kW s cenou 42 290 Kč vč. DPH [39]. Použití výkonnějšího kotle by znamenalo zrychlení procesu ohřevu teplé vody, ale toto je vyřešeno použitím nerezového zásobníku vody za 30 000 Kč. Do výpočtu je zahrnuto dalších 10 000 Kč, což je odhadovaná cena instalace, práce a ostatních souvisejících nákladů spojených s kotlem samotným. Rozvody topení a podlahové vytápění jsou již zahrnuty v položkových stavebních rozpočtech jednotlivých variant domu. Celkově tedy použití této technologie vychází na 80 192 Kč.



Obr. č. 9 – Buderus Logamax plus GB062 [40]

### 3.3.3 Tepelné čerpadlo vzduch/voda

Pro ekonomické posouzení tepelných čerpadel vzduch/voda byla zvolena etablovaná švédská značka IVT, řada IVT AIR X. Dle celkových tepelných ztrát domu je poté nutné dimenzovat i použitá tepelná čerpadla, což se promítá i do jejich cen - pro výpočty jsou použita čerpadla dle následující tabulky:

Tab. č. 8 – Tepelná čerpadla vzduch/voda pro jednotlivé posuzované varianty domu [vlastní]

	NED	NED s rekuperací	PD	AD
Celková tepelná ztráta domu	13,62 kW	9,32 kW	4,70 kW	4,39 kW
Zvolené tepelné čerpadlo vzduch/voda	IVT AIR X 130	IVT AIR X 90	IVT AIR X 50	IVT AIR X 50
Výkon (při 100 %) [41]	11 – 13 kW	8 – 9 kW	4 – 5 kW	4 – 5 kW
Cena čerpadla vč. nerezového zásobníku [42]	281 175 Kč	241 500 Kč	230 000 Kč	230 00 Kč
Cena instalace technologie vč. montáže	291 175 Kč	251 500 Kč	240 000 Kč	240 000 Kč

Zvolená tepelná čerpadla IVT již zahrnují v ceně nerezový zásobník teplé vody a elektrokotel o potřebném výkonu pro podpoření funkce čerpadla, pokud by v chladných měsících (nízké venkovní teploty) výkonově nestačilo potřebám vytápění a ohřevu teplé vody. Do výpočtu je zahrnuto dalších 10 000 Kč, což je odhadovaná cena instalace, práce a ostatních souvisejících nákladů.



*Obr. č. 10 – Tepelné čerpadlo vzduch/voda IVT AIR X – venkovní a vnitřní jednotka [43]*

### **3.3.4 Fotovoltaická elektrárna**

Pro varianty pasivního a aktivního domu s tepelným čerpadlem vzduch/voda pro vytápění a ohřev teplé vody je také posuzováno využití fotovoltaické elektrárny. Pro vygenerování spočtené roční spotřeby elektřiny – 4,35 MWh pro PD a 4,14 MWh pro AD (viz Příloha č. 15 a 16) je zapotřebí fotovoltaická elektrárna o výkonu 4,5 kWp, která ročně dodá až 4,2 MWh elektrické energie (viz Příloha č. 1 Výpočet výkonu FVE pro specifickou lokalitu a úhly instalace). Energie se ukládá do gelových baterií, které jsou součástí dodávky, a může tedy sloužit nejen v okamžiku samotné výroby přes den za slunečního svitu, ale i v čase, kdy je potřeba pro obyvatele domu. Cena této instalace je počítána 300 000 Kč [44] a obsahuje prvky dle následující tabulky:

Tab. č. 9 – Specifikace fotovoltaické elektrárny [44]

<b>Technická specifikace</b>	<b>Záruky</b>
15 ks panelů	25 let na výkon FVE panelů
FVE panely Canadian Solar 300 Wp Poly	10 let na mechanické části FVE panelů
Střídač GoodWe GW5000-DT	5 let na střídač
Regulátor nabíjení baterií GoodWe GW2500-BP	2 roky na regulátor nabíjení
Baterie Gelové 11,52 kWh	10 let na baterie

## 4 POPIS VÝPOČTŮ

### 4.1 POPIS VÝPOČTŮ

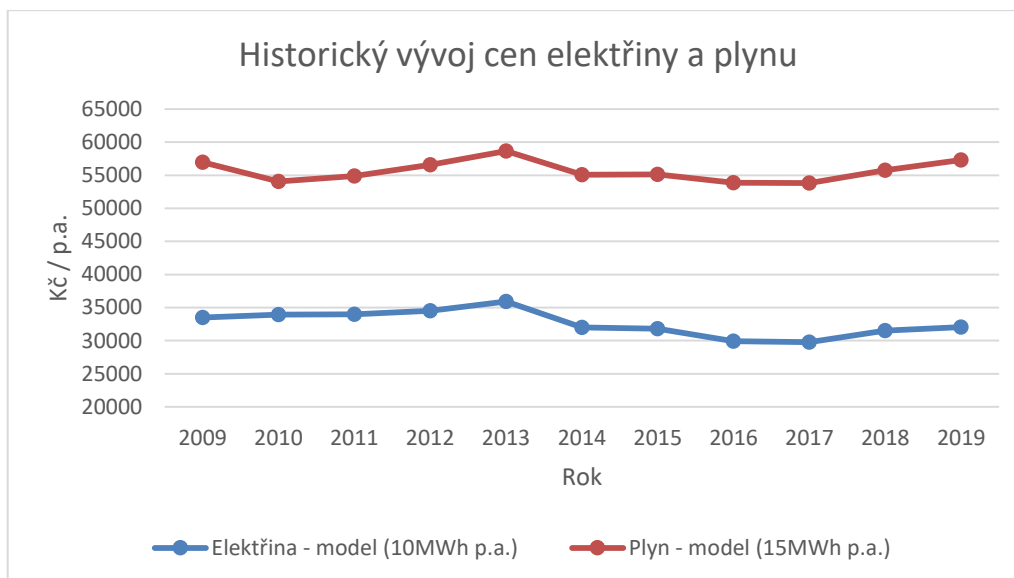
Vstupními daty do modelu ekonomického posouzení jednotlivých variant domů jsou:

- Celkové ceny dle položkových rozpočtů pro každou z variant NED, PD a AD vytvořené dle projektu pasivního domu [35] s úpravami pro NED a AD varianty dle tabulky č.5.
  - Rozpočty byly vypracovány v softwaru RST BUILDpowerS, jsou provedeny v cenové soustavě RST 19 / I a tvoří Přílohy č. 1 – 3 této diplomové práce.
  - Okna jsou v rozpočtech počítána dle cenových nabídek společnosti Slavona specifických pro posuzovaný dům. Tyto nabídky tvoří Přílohu č. 16.
  - Stříkaná izolace ICYNENE, která je součástí skladby střechy, je v rozpočtech počítána dle cenových nabídek specifických pro posuzované varianty domu. Tyto nabídky tvoří Přílohu č. 15.
  
- Celkové roční náklady na vytápění dané varianty domu s použitím posuzované technologie, které byly pro účely této práce získány pomocí:
  - Zjištění celkové roční potřeby tepla na vytápění budovy pro danou variantu domu v softwaru Energie 2019 EDU, který také vypočetl průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy, která krom dalšího posloužila i pro kontrolu aplikovatelnosti dotace. Protokoly výpočtů pro každou variantu budovy tvoří Přílohy č. 4 – 7.
  - Zohlednění účinnosti posuzovaných technologií a finální výpočet celkových ročních nákladů na vytápění a ohřev teplé vody pomocí kalkulátoru Porovnání nákladů na vytápění, teplou vodu a elektrickou energii webu tzbinfo [45], jehož výstupy tvoří Přílohy 8 – 11 jsou shrnuty i v Tabulce č. 10 níže:

Tab. č. 10 – Srovnání ročních nákladů spotřeby energie posuzovaných variant domů [vlastní]

Roční náklady na spotřebu posuzovaných variant domu dle typu vytápění	NED bez rekuperace vč. ohřevu vody	NED s rekuperací vč. ohřevu vody	PD s rekuperací vč. ohřevu vody	AD s rekuperací vč. ohřevu vody
Kondenzační kotel na zemní plyn	39 107 Kč	30 142 Kč	20 485 Kč	19 827 Kč
Podlahové přímotopy na elektřinu	69 293 Kč	52 457 Kč	34 339 Kč	33 104 Kč
Tepelné čerpadlo vzduch/voda	33 530 Kč	25 644 Kč	17 158 Kč	16 579 Kč

- Průměrný růst cen elektřiny za poslední 3 roky, růst cen plynu za posledních 9 let [46] a odhad kombinovaného růstu obou komodit pro tarify a roční spotřeby odpovídající spotřebám posuzovaných domů. Období byla zvolena tak, aby za dané období k růstu cen opravdu historicky docházelo, případným poklesem cen energií se tato práce nezabývá, protože přes posuzované období, tj. 20 let životnosti technologií, resp. přes životnost stavebních částí 80 let je pokles cen energií velmi nepravděpodobný. Pro posouzení variant zohledňujících růst cen energií je vždy použita hodnota růstu komodity, kterou daná technologie využívá (v případě posuzování tepelného čerpadla je použit růst cen elektřiny, stejně tak v případě posouzení rekuperace; v případě, kdy je součástí i kondenzační kotel, je použita hodnota kombinace růstu cen plynu v kombinaci s růstem cen elektřiny z důvodu užití rekuperace). Údaje k růstu cen tvoří Přílohu č. 21.



Graf č. 4 – Historický vývoj cen elektřiny a plynu [vlastní]

- Za diskontní sazbu byla zvolena poslední známá průměrná sazba hypoték na českém trhu, tedy 2,9 % [47].
- Investiční náklady spojené s využitím instalovaných technologií vč. nákladů na jejich provoz, viz popsáno výše v kapitole 3.2.

Tyto získané hodnoty slouží pro výpočet prosté návratnosti investice, výpočet cash flow na posuzované období 20 let, diskontované cash flow na toto období, výpočet diskontované návratnosti, čisté současné hodnoty investice a vnitřního výnosového procenta každé z posuzovaných variant. Výpočty jsou provedeny vždy pro stabilní a rostoucí ceny energií přes posuzované období.

Jako nejvíce reprezentativní a relevantní je pro potřeby této práce bráno vnitřní výnosové procento, které je pro potencionálního stavebníka, fyzickou osobu, nejlépe uchopitelným srovnávacím nástrojem výnosu dané dodatečné investice. Naopak jiné nástroje srovnání ekonomické efektivity, příkladem je index ziskovosti, nejsou v této práci použity primárně pro abstraktnost jejich výsledku, který má sice relativní srovnávací hodnotu, ale v zásadě za ní pouze skrývá totožnou informaci, kterou hodnota vnitřního výnosového procenta sděluje v laicky uchopitelnějším formátu.

Hlavním porovnávaným ukazatelem je pro účely této práce vnitřní výnosové procento, což odpovídá záměru posouzení ekonomické efektivity dodatečných investic pro stavebníka

(fyzickou osobu), u kterého je, v případě, že na dodatečnou investici má prostředky, primární otázka „vyplatí se mi to?“ a není pro něj příliš relevantní čistá současná hodnota dané investice, která, jak bylo nastíněno v předchozích kapitolách, je relevantním ukazatelem hlavně pro srovnání více projektů spolu se správným určením diskontní sazby.

## 4.2 PŘEDPOKLADY PRO PROVEDENÉ VÝPOČTY

Tab. č. 11 – Předpoklady pro provedené výpočty [vlastní]

Oblast	Předpoklad, komentář
Životnost	Je u instalovaných technologií uvažována plošně na 20 let vyjma FVE, u které je v 15. roce počítáno s výměnou střídače napětí. U stavebních částí je uvažována životnost 80 let, proto hodnoty dodatečných investic na PD resp. AD vstupují do výpočtů návratnosti z jedné čtvrtiny.
Primární neobnovitelné zdroje energie	Tato práce, resp. výpočty v ní obsažené, se zaměřují primárně na obálku budovy, nalezením nejvýhodnějšího zdroje tepla a měrnou potřebou tepla. Předmětem výpočtů není posouzení hodnot primárních neobnovitelných zdrojů energie, které jsou požadavkem pasivního a aktivního standardu. Dá se však předpokládat, že i tento požadavek by varianty PD a AD vytápěné plynem, resp. tepelným čerpadlem, splnily.
Dotace	Vyplácí se na konci 3. roku (konzervativní přístup, který snižuje diskontováním vliv dotace na celkový výsledek hodnocení).
Ohřev teplé vody	Teplá voda je dimenzována pro 4 osoby při 50 l/denně na 365 dní v roce. Ve výpočtech je uvažován její ohřev vždy stejným zdrojem jako je zdroj tepla pro vytápění domu.
Plyn	V posuzovaných variantách nejsou uvažovány náklady na vybudování plynové přípojky. Ve variantách bez plynového kotle by tedy nebylo potřeba tuto přípojku budovat.

Oblast	Předpoklad, komentář
FVE	<p>FVE je dimenzována tak, že u PD zajistí sumu roční spotřeby energie, u AD je potom teoreticky výkon FVE vyšší než je roční spotřeba na vytápění a ohřev teplé vody, výpočty nepočítají se zpětným prodejem této energie do sítě a FVE tedy v modelovaném případě negeneruje dodatečné cash flow.</p> <p>Model výpočtu počítá s výměnou střídače v 15. roku a tedy zahrnuje třetinu hodnoty tohoto nového střídače do výpočtu, model počítá s nulovou spotřebou ze sítě (může být pravda při zpětném prodeji).</p>
Položkové rozpočty	<p>Případné položky nad rámec rozpočtů použitých pro účely této práce nemají vliv na výsledné hodnoty, protože nejsou obsaženy v rozpočtech ani jedné z variant domů. Pro účely této práce jsou stěžejní rozdíly ve výši investic mezi jednotlivými variantami, ne jejich celkové sumy.</p>

## 5 DOSAŽENÉ VÝSLEDKY

Ekonomické posouzení stavebních standardů z NED na PD, resp. na posuzovaný AD je prováděno z pohledu individuálního stavebníka, fyzické osoby. S tímto ohledem byla zvolena i diskontní sazba, tj. poslední známá průměrná výše hypoték v ČR v době psaní této práce.

Ekonomickou efektivitou pro účely této práce je chápána výnosnost vynaložené investice, hodnocená ukazatelem vnitřního výnosového procenta, kdy dodatečné náklady na zvýšení stavebního standardu a pokročilejší technologie, v ideálním případě, mají pozitivní vliv na cash flow formou úspor, které tato opatření přinesou. Ostatní metody hodnocení efektivnosti této dodatečné investice pro účely této práce plní podpůrnou roli k výpočtům, protože by pro individuálního stavebníka nebyly tak lehce uchopitelné jako sdělení o procentuální návratnosti jeho investice. Nevýhody s metodou posouzení vnitřním výnosovým procentem popsané v kapitole 2.5.2 lze v tomto případě opomenout, protože cash flow úspor všech srovnávaných variant jsou principem shodné, konvenční a primární investiční výdaj je vždy na začátku posuzovaného období.

### 5.1 EKONOMICKÉ POSOUZENÍ POUŽITÍ TECHNOLOGIÍ V NÍZKOENERGETICKÉM DOMĚ

Podstatným prvkem ovlivňující ekonomická posouzení všech technologických variant NED je jeho nedostatečný průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy  $U_{em} = 0,27 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , který NED diskvalifikuje z možnosti využití dotací (požadavek  $U_{em} = 0,22 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ).

#### 5.1.1 Posouzení přidání rekuperace

V případě, kdy je u referenčního NED navýšena investice o 100 915 Kč na rekuperační jednotku, po odečtení nákladů na její provoz je roční úspora 2 022 Kč.

Tab. č. 12 NED - Posouzení přidání rekuperace při stabilních cenách energií [vlastní]

<b>Prostá doba návratnosti (počet let)</b>	-
<b>Diskontovaná doba návratnosti (počet let)</b>	-
<b>Čistá současná hodnota projektu (Kč)</b>	<b>-70 549</b>
<b>Vnitřní výnosové procento projektu (%)</b>	<b>-7,48 %</b>

Tab. č. 13 NED - Posouzení přidání rekuperace při rostoucích cenách energií [vlastní]

<b>Prostá doba návratnosti (počet let)</b>	-
<b>Diskontovaná doba návratnosti (počet let)</b>	-
<b>Čistá současná hodnota projektu (Kč)</b>	<b>-57 241</b>
<b>Vnitřní výnosové procento projektu (%)</b>	<b>-4,07 %</b>

Jak je patrné z tabulek č. 12 a 13., tento krok není ekonomicky návratný a to ani v případě, kdy po dobu životnosti technologie počítáme konstantní růst cen energií.

To ale samozřejmě nesnižuje přínos rekuperace jako takové, tj. čerstvý vzduch, zamezení tvorbě plísní, dobrá kvalita vnitřního prostředí domu a podobné finančně nekvantifikovatelné aspekty zmíněné v kapitole 2.2.

### 5.1.2 Posouzení použití tepelného čerpadla vzduch/voda namísto kondenzačního kotle bez použití rekuperace

V případě výměny referenčního zdroje vytápění za tepelné čerpadlo se počáteční investice u referenčního NED bez rekuperace navýší o 210 983 Kč a přinese roční úsporu 5 577 Kč.

Tab. č. 14 NED - Posouzení použití TČ vzduch/voda místo kondenzačního kotle bez rekuperace při stabilních cenách energií [vlastní]

<b>Prostá doba návratnosti (počet let)</b>	-
<b>Diskontovaná doba návratnosti (počet let)</b>	-
<b>Čistá současná hodnota projektu (Kč)</b>	<b>-127 238</b>
<b>Vnitřní výnosové procento projektu (%)</b>	<b>-5,43 %</b>

Tab. č. 15 NED - Posouzení použití TČ vzduch/voda místo kondenzačního kotle bez rekuperace při rostoucích cenách energií [vlastní]

<b>Prostá doba návratnosti (počet let)</b>	-
<b>Diskontovaná doba návratnosti (počet let)</b>	-
<b>Čistá současná hodnota projektu (Kč)</b>	<b>-106 497</b>
<b>Vnitřní výnosové procento projektu (%)</b>	<b>-3,26 %</b>

Použití tepelného čerpadla namísto kondenzačního kotle jako zdroje pro vytápění a ohřev teplé vody, bez rekuperace, také není ekonomicky efektivní, jak je patrné z tabulek č. 14 a 15.

### 5.1.3 Posouzení přidání rekuperace a použití tepelného čerpadla vzduch/voda namísto kondenzačního kotle

Pokud do posuzovaného NED umístíme obě tyto posuzované technologie, dojde k navýšení počáteční investice o 272 223 Kč, které poté přinese roční úsporu ve výši 6 520 Kč.

Tab. č. 16 NED - Posouzení použití TČ vzduch/voda místo kondenzačního kotle a rekuperace při stabilních cenách energií [vlastní]

<b>Prostá doba návratnosti (počet let)</b>	-
<b>Diskontovaná doba návratnosti (počet let)</b>	-
<b>Čistá současná hodnota projektu (Kč)</b>	<b>-174 315</b>
<b>Vnitřní výnosové procento projektu (%)</b>	<b>-6,18 %</b>

Tab. č. 17 NED - Posouzení použití TČ vzduch/voda místo kondenzačního kotle a rekuperace při rostoucích cenách energií [vlastní]

<b>Prostá doba návratnosti (počet let)</b>	-
<b>Diskontovaná doba návratnosti (počet let)</b>	-
<b>Čistá současná hodnota projektu (Kč)</b>	<b>-144 278</b>
<b>Vnitřní výnosové procento projektu (%)</b>	<b>-3,59 %</b>

Ani použití obou technologií v NED není ekonomicky návratným počinem, dílčím srovnáním již lze ale usoudit, že tyto dvě technologie spolu mají větší potenciál ekonomické návratnosti než každá samostatně.

### 5.1.4 Shrnutí použití technologií v NED

Umístěním ani jedné z posuzovaných technologií do navržené varianty NED nedosáhneme kladné ekonomické návratnosti, a proto je u daného NED neekonomičtější využít vytápění a ohřevu teplé vody pomocí referenčního zdroje - kondenzačního plynového kotle.

Tento fakt značí, že celková tepelná ztráta budovy je příliš vysoká. Je tudíž potřeba spotřebovat velké množství energie na vytápění, což je aspekt, který se z výpočtového hlediska prolíná celou životností technologií, resp. každou posuzovanou cash flow, zatímco prosté vylepšení tepelně izolačních vlastností domu by byla investice jednorázová.

Úspora, kterou tyto technologie, ať už každá osamoceně nebo ve své kombinaci, a to jak při stabilních cenách, tak při zahrnutí růstu cen energií, přinesou přes posuzované období (tj. životnost technologií), dostatečně nevyváží výši investice, kterou je potřeba do těchto technologií vložit.

## **5.2 EKONOMICKÉ POSOUZENÍ STAVEBNÍCH ZMĚN NA DŮM PASIVNÍHO STANDARDU A POUŽITÍ TECHNOLOGIÍ V NĚM**

U pasivní varianty posuzovaného domu, která byla rozpočtována co nejvíce v souladu s projektem [35], se tato práce zaměřuje na posouzení efektivnosti samotné zvýšené investice do stavební části (tak, aby dům splnil požadavky na označení pasivní z pohledu součinitele prostupu tepla obálkou budovy) a poté do této stavební varianty umísťuje posuzované technologie vytápění a ohřevu vody.

Tato varianta domu již splňuje požadavky na obdržení dotace v rámci programu Nová zelená úsporám, a proto je posuzován i vliv dotace na ekonomičnost takové výstavby. U daného domu se poté jedná o podoblast podpory B.1 a B.3 a celková maximální výše dotace tedy činí 335 000 Kč. Pro možnost přímého srovnání s později posuzovanou variantou aktivního domu je prověřena i varianta instalace fotovoltaické elektrárny.

Stran stavebních konstrukcí je uvažována jejich životnost 80 let, zatímco životnost technologií (není-li zmíněno jinak) je shodná s délkou posuzovaného období 20 let. Z tohoto důvodu je rozdíl cen ve stavebních konstrukcích mezi jednotlivými standardy do výpočtu zahrnut z 1/4.

### **5.2.1 Posouzení stavebních změn z NED na PD**

Pro srovnání efektivnosti čistě zvýšení stavebního standardu z varianty NED na PD je srovnáván NED s instalovanou rekuperací proti PD s rekuperací. Ač samotná instalace rekuperace do NED efektivní není, je velice nepravděpodobné, že by stavitel investující do zvýšení standardu na PD rekuperaci v dnešní době nepoužil, ať už je motivace ekonomická anebo jsou to ostatní kladné vlastnosti této technologie zkvalitňující bydlení a je srovnáváno srovnatelné.

V tomto případě dodatečná investice 324 016 Kč do stavebních změn z NED na PD (která do výpočtu vstupuje z důvodu životnosti konstrukcí pouze jednou čtvrtinou) přinese roční úsporu 9 567 Kč.

*Tab. č. 18 PD - Posouzení POUZE stavebních změn (NED vč. rekuperace -> PD vč. rekuperace) při stabilních cenách energií [vlastní]*

<b>Prostá doba návratnosti (počet let)</b>	<b>9</b>
<b>Diskontovaná doba návratnosti (počet let)</b>	<b>10</b>
<b>Čistá současná hodnota projektu (Kč)</b>	<b>64 005</b>
<b>Vnitřní výnosové procento projektu (%)</b>	<b>10,22 %</b>

*Tab. č. 19 PD - Posouzení POUZE stavebních změn (NED vč. rekuperace -> PD vč. rekuperace) při rostoucích cenách energií [vlastní]*

<b>Prostá doba návratnosti (počet let)</b>	<b>8</b>
<b>Diskontovaná doba návratnosti (počet let)</b>	<b>9</b>
<b>Čistá současná hodnota projektu (Kč)</b>	<b>99 920</b>
<b>Vnitřní výnosové procento projektu (%)</b>	<b>12,60 %</b>

V obou modelovaných případech, jak při stabilních, tak při rostoucích cenách energií, se zvýšená investice do stavebního standardu na úroveň pasivního domu namísto domu nízkoenergetického ukazuje jako ekonomicky přínosná s návratností pod 10 let. Pokud je přihlíženo k celkové životnosti těchto změněných stavebních konstrukcí, jedná se o velmi dobrý výsledek, obzvláště v rámci touto prací uvažovanou životností stavebních konstrukcí na 80 let.

## **5.2.2 Posouzení stavebních změn a přidání rekuperace**

Protože samotné přidání rekuperace u NED ekonomicky efektivní není a v následujících kapitolách je srovnání PD opět proti referenčnímu NED bez rekuperace, očekávání je, že tato varianta bude ekonomicky méně výhodná, než je přínos pouze stavebních úprav v předchozím posouzení.

Zvýšená investice o 181 919 Kč (stavební změny opět vstupují do výpočtu čtvrtinou) proti referenčnímu NED bez rekuperace v tomto případě přináší roční úsporu nákladů 18 622 Kč.

Tab. č. 20 PD - Posouzení stavebních změn (NED -> PD) a přidání rekuperace při stabilních cenách energií [vlastní]

<b>Prostá doba návratnosti (počet let)</b>	<b>16</b>
<b>Diskontovaná doba návratnosti (počet let)</b>	<b>-</b>
<b>Čistá současná hodnota projektu (Kč)</b>	<b>-6 544</b>
<b>Vnitřní výnosové procento projektu (%)</b>	<b>2,51 %</b>

Očekávání potvrzují i spočtené výsledky, ve kterých ale i při stabilních cenách (což je relativně nepravděpodobné přes rozpětí celých 20 let posouzení) investice do zvýšených stavebních standardů na úroveň PD a instalace rekuperace generuje pozitivní vnitřní výnosové procento a z pohledu prosté návratnosti se stavebníkovi vrátí v 16. roce životnosti technologií.

Při zvolené diskontní sazbě sice současná hodnota těchto změn není kladná, ale v celkovém rozpočtu výstavby domu se jedná o relativně zanedbatelnou částku, kterou lze jednoduše přiřadit nekvantifikovatelným dopadům využití rekuperace.

Tab. č. 21 PD - Posouzení stavebních změn (NED -> PD) a přidání rekuperace při rostoucích cenách energií [vlastní]

<b>Prostá doba návratnosti (počet let)</b>	<b>14</b>
<b>Diskontovaná doba návratnosti (počet let)</b>	<b>17</b>
<b>Čistá současná hodnota projektu (Kč)</b>	<b>42 679</b>
<b>Vnitřní výnosové procento projektu (%)</b>	<b>5,07 %</b>

Pokud do výpočtů zahrneme i vliv rostoucích cen energií, je výsledek výrazně lepší.

Dá se tedy shrnout, že zvýšení stavebního standardu na PD a přidání rekuperace dává nejen ekonomický smysl, kdy se tato investice za dobu životnosti technologie (potažmo tedy i stavby se čtyřikrát delší předpokládanou životností než u technologií) stavebníkovi vrátí formou úspor, ale dojde i k výraznému zvýšení kvality bydlení díky rekuperaci a jejím nekvantifikovatelným pozitivům.

### 5.2.3 Posouzení stavebních změn a přidání rekuperace při využití dotací

Ač se tato práce zabývá primárně podmínkou prostupu tepla obálkou budovy, role dotací na ekonomickou efektivnost změn na posuzovaném domě je napříč celou touto prací zásadní. U posuzovaného domu je velmi pravděpodobné, že by podmínku měrné neobnovitelné energie

pro získání podpory podskupiny B.1 dotačního programu Nová zelená úsporám byl schopen splnit i za použití referenčního zdroje tepla, tedy kondenzačního kotle, proto se následující výpočet zabývá posouzením efektivnosti této kombinace.

Dodatečná počáteční investice do stavebních změn a technologie rekuperace je modelována celkem na 181 919 Kč a přinese roční úspory ve výši 18 622 Kč proti referenčnímu NED bez rekuperace. Zásadním je poté čerpání dotace na konci 3. roku ve výši 335 000 Kč.

*Tab. č. 22 PD - Posouzení stavebních změn (NED -> PD), přidání rekuperace při stabilních cenách energií s využitím dotací [vlastní]*

<b>Prostá doba návratnosti (počet let)</b>	<b>3</b>
<b>Diskontovaná doba návratnosti (počet let)</b>	<b>3</b>
<b>Čistá současná hodnota projektu (Kč)</b>	<b>300 923</b>
<b>Vnitřní výnosové procento projektu (%)</b>	<b>32,02%</b>

*Tab. č. 23 PD - Posouzení stavebních změn (NED -> PD), přidání rekuperace při rostoucích cenách energií s využitím dotací [vlastní]*

<b>Prostá doba návratnosti (počet let)</b>	<b>3</b>
<b>Diskontovaná doba návratnosti (počet let)</b>	<b>3</b>
<b>Čistá současná hodnota projektu (Kč)</b>	<b>350 146</b>
<b>Vnitřní výnosové procento projektu (%)</b>	<b>32,76%</b>

V obou posuzovaných variantách vychází tato změna stavebního standardu spolu s instalací rekuperace při čerpání dotací jako velmi ekonomicky efektivní a potenciálnímu stavebníkovi ji lze maximálně doporučit. Poté již záleží na jeho filozofii bydlení a míře obnovitelných zdrojů energie a relativní nezávislosti na rozvodné síti, kterou u svého domu požaduje.

#### **5.2.4 Posouzení stavebních změn, přidání rekuperace a použití tepelného čerpadla vzduch/voda namísto kondenzačního kotle**

V následujících variantách PD se tato práce zaměřuje na výměnu zdroje vytápění při použití rekuperace, která, jak jsme zjistili, má pozitivní dopad a ekonomicky je efektivní.

V případě výměny zdroje na TČ vzduch/voda je dodatečná investice pro výpočet 341 727 Kč a přinese s sebou úsporu 21 949 Kč ročně.

Tab. č. 24 PD - Posouzení stavebních změn (NED -> PD), přidání rekuperace a použití TČ vzduch/voda místo kondenzačního kotle při stabilních cenách energií [vlastní]

<b>Prostá doba návratnosti (počet let)</b>	-
<b>Diskontovaná doba návratnosti (počet let)</b>	-
<b>Čistá současná hodnota projektu (Kč)</b>	<b>-116 393</b>
<b>Vnitřní výnosové procento projektu (%)</b>	<b>-1,21 %</b>

Ve variantě hodnocení se stabilními cenami energií po celé posuzované období 20 let vychází kombinace zvýšení stavebního standardu, přidání rekuperace a použití TČ vzduch/voda jako ekonomicky neefektivní. Výsledek je lepší než v případě přidání rekuperace a použití TČ vzduch/voda namísto kondenzačního kotle v NED, což je dáno lepší izolací obálky budovy a využitím rekuperace a tedy i nižšími celkovými tepelnými ztrátami budovy, resp. nižší potřebou energie PD pro totožné vytápění a ohřev vody jako v NED.

Tab. č. 25 PD - Posouzení stavebních změn (NED -> PD), přidání rekuperace a použití TČ vzduch/voda místo kondenzačního kotle při rostoucích cenách energií [vlastní]

<b>Prostá doba návratnosti (počet let)</b>	<b>18</b>
<b>Diskontovaná doba návratnosti (počet let)</b>	-
<b>Čistá současná hodnota projektu (Kč)</b>	<b>-54 797</b>
<b>Vnitřní výnosové procento projektu (%)</b>	<b>1,23 %</b>

Pokud se do výpočtu vezme v potaz faktor zvyšování cen energií, výše zmíněné změny oproti referenčnímu NED bez rekuperace již generují pozitivní vnitřní výnosové procento a dají se tedy hodnotit jako přínosné. Při zvolené diskontní míře je ale čistá současná hodnota těchto změn stále negativní.

### **5.2.5 Posouzení stavebních změn, přidání rekuperace a použití tepelného čerpadla vzduch/voda namísto kondenzačního kotle při využití dotací**

Protože posuzovaná varianta PD se kvalifikuje pro využití dotací z programu Nová zelená úsporám, je zapotřebí zhodnotit vliv dotací na celkovou ekonomickou návratnost dodatečných investic do zvýšení stavebního standardu a využití pokročilých technologií pro vytápění, ohřev teplé vody a rekuperaci tepelné energie.

Stavebník v této variantě musí vynaložit zvýšené investiční výdaje o 341 727 Kč (stavební část opět zahrnuty pouze za čtvrtiny), které ročně přinesou úsporu 21 949 Kč. Zásadním pro celý výpočet je pak čerpání dotace ve výši 335 000 Kč na konci 3. roku.

*Tab. č. 26 PD - Posouzení stavebních změn (NED -> PD), přidání rekuperace a použití TČ vzduch/voda místo kondenzačního kotle při stabilních cenách energií s využitím dotací [vlastní]*

<b>Prostá doba návratnosti (počet let)</b>	<b>3</b>
<b>Diskontovaná doba návratnosti (počet let)</b>	<b>3</b>
<b>Čistá současná hodnota projektu (Kč)</b>	<b>191 074</b>
<b>Vnitřní výnosové procento projektu (%)</b>	<b>12,67 %</b>

Již při posouzení s modelovanými stabilními cenami energií dotace hrají velmi vysoký vliv na ekonomickou efektivitu aplikace výše zmíněných změn. Doba návratnosti takové investice je 3 roky a toto je primárně dáno vyplacením dotace ve výpočtu na konci 3. roku, což je velmi konzervativní přístup a pravděpodobně by stavebník dotaci obdržel i dříve, čímž by se mu doba návratnosti zkrátila na 2 roky.

*Tab. č. 27 PD - Posouzení stavebních změn (NED -> PD), přidání rekuperace a použití TČ vzduch/voda místo kondenzačního kotle při stabilních cenách energií s využitím dotací [vlastní]*

<b>Prostá doba návratnosti (počet let)</b>	<b>3</b>
<b>Diskontovaná doba návratnosti (počet let)</b>	<b>3</b>
<b>Čistá současná hodnota projektu (Kč)</b>	<b>252 670</b>
<b>Vnitřní výnosové procento projektu (%)</b>	<b>14,07 %</b>

Model výpočtu se zvyšujícími se cenami energií ekonomickou efektivitu těchto změn opět pouze umocňuje.

Na základě těchto výsledků lze říci, že vliv dotací na ekonomickou návratnost zvýšených investic je velmi vysoký a posunuje tyto změny z neutrálních typů investic, které by stavitel nerealizoval čistě pouze pro jejich ekonomickou výhodnost ale i primárně jejich kvalitativní vlastnosti, do těch skupin, které se stavebníkům i ekonomicky vyplatí.

## 5.2.6 Posouzení stavebních změn, přidání rekuperace, použití tepelného čerpadla vzduch/voda namísto kondenzačního kotle a použití fotovoltaické elektrárny

Čistě pro srovnávací účely, ve světle výsledku v předchozím výpočtu, slouží posouzení všech výše zmíněných změn spolu s přidáním relativně vysoké investice do FVE.

V tomto případě dodatečná investice 641 727 Kč přinese úsporu v rozsahu celé spotřeby energie referenčního NED, tedy 39 107 Kč ročně.

Tab. č. 28 PD - Posouzení stavebních změn (NED -> PD), přidání rekuperace, použití TČ vzduch/voda místo kondenzačního kotle a použití FVE při stabilních cenách energií [vlastní]

<b>Prostá doba návratnosti (počet let)</b>	-
<b>Diskontovaná doba návratnosti (počet let)</b>	-
<b>Čistá současná hodnota projektu (Kč)</b>	<b>-165 081</b>
<b>Vnitřní výnosové procento projektu (%)</b>	<b>-0,08 %</b>

Při stabilních cenách energií by takovýto počín stavebníkovi generoval mírně negativní vnitřní výnosové procento. Je však potřeba opět brát v potaz ekonomicky nekvantifikovatelné výhody již zmíněné rekuperace a také relativní nezávislost tohoto řešení na rozvodné síti elektrické energie.

Tab. č. 29 PD - Posouzení stavebních změn (NED -> PD), přidání rekuperace, použití TČ vzduch/voda místo kondenzačního kotle a použití FVE při rostoucích cenách energií [vlastní]

<b>Prostá doba návratnosti (počet let)</b>	<b>17</b>
<b>Diskontovaná doba návratnosti (počet let)</b>	-
<b>Čistá současná hodnota projektu (Kč)</b>	<b>-39 673</b>
<b>Vnitřní výnosové procento projektu (%)</b>	<b>2,28 %</b>

V případě kdy model počítá s rostoucími cenami energií, i přidání FVE je ekonomicky prospěšné, generující kladné vnitřní výnosové procento. Doba návratnosti této investice je sice stále relativně dlouhých 17 let a v její diskontované podobě se za dobu životnosti technologií ani nevrátí, ale i v tomto případě je nutné přihlídnout k výše zmíněným nekvantifikovatelným výhodám. Negativem této varianty je její vysoká kapitálová náročnost pro realizaci.

### 5.2.7 Posouzení stavebních změn, přidání rekuperace, použití tepelného čerpadla vzduch/voda namísto kondenzačního kotle a použití fotovoltaické elektrárny při využití dotací

Pokud se k předchozímu přidá již prokázaný velmi pozitivní vliv dotací na ekonomickou návratnost navýšení investic do stavebních změn a přidání posuzovaných technologií, lze očekávat opět pozitivní ekonomický přínos těchto změn oproti referenčnímu NED, což výpočty také dokazují.

Navýšení investice i výše roční úspory jsou totožné s kapitolou 5.2.6, cash flow je ovšem razantně vylepšena čerpáním dotace ve výši 335 000 Kč ve 3. roce.

Tab. č. 30 PD - Posouzení stavebních změn (NED -> PD), přidání rekuperace, použití TČ vzduch/voda místo kondenzačního kotle a použití FVE při stabilních cenách energií s dotací [vlastní]

<b>Prostá doba návratnosti (počet let)</b>	<b>10</b>
<b>Diskontovaná doba návratnosti (počet let)</b>	<b>14</b>
<b>Čistá současná hodnota projektu (Kč)</b>	<b>142 386</b>
<b>Vnitřní výnosové procento projektu (%)</b>	<b>6,07 %</b>

Již v případě výpočtu při stabilních cenách energií posuzované změny generují pozitivní vnitřní výnosové procento a prostou ekonomickou návratnost 10 let.

Tab. č. 31 PD - Posouzení stavebních změn (NED -> PD), přidání rekuperace, použití TČ vzduch/voda místo kondenzačního kotle a použití FVE při rostoucích cenách energií s dotací [vlastní]

<b>Prostá doba návratnosti (počet let)</b>	<b>9</b>
<b>Diskontovaná doba návratnosti (počet let)</b>	<b>12</b>
<b>Čistá současná hodnota projektu (Kč)</b>	<b>267 794</b>
<b>Vnitřní výnosové procento projektu (%)</b>	<b>8,02 %</b>

Toto je opět umocněno, pokud posuzujeme s ohledem na zvyšující se ceny energií. V případě možnosti použití dotací tato varianta změn z NED na PD sice nemaximalizuje ekonomickou návratnost oproti jiným posuzovaným možnostem, ale maximalizuje nekvantifikovatelné pozitiva, která tyto změny ve stavebním standardu, resp. přidání rekuperace a využití FVE poskytují.

### 5.2.8 Srovnání

Posuzovaný PD splňuje podmínky pro využití dotací z programu Nová zelená úsporám a tato kapitola ukázala jejich klíčový vliv na ekonomickou návratnost změn ve stavebních konstrukcích a přidání posuzovaných technologií.

Pokud stavebník chce maximalizovat ekonomickou efektivitu, poté ponechání referenčního zdroje tepla, tedy kondenzačního kotle, v kombinaci s čerpáním dotace, tuto maximalizaci zajistí. Za minimální investice navíc, které samy o sobě ekonomicky efektivní jsou – tedy zvýšení standardu z NED na PD a doplnění o rekuperaci, je stavebníkovi umožněno čerpat podporu, která v absolutních číslech u posuzovaného domu téměř okamžitě vrátí více než tři čtvrtiny této investice a to v absolutních hodnotách (nepřihlížejících na životnost stavebních konstrukcí, která čtyřikrát převyšuje posuzované období).

Dotace posunují neutrální, resp. ztrátové varianty změn do oblasti, kdy se stavebníkům zvýšená počáteční investice do změn konstrukcí a instalací pokročilých technologií vrátí formou provozních úspor za dobu posuzovaného období a tedy se jim ekonomicky vyplatí.

Neméně důležité jsou pak také faktory číslu nevyjádřitelné, tedy kvalita ovzduší v domě, komfort spojený s automatickým větráním pomocí rekuperace a v případě použití FVE i relativní nezávislost na rozvodné síti.

## 5.3 EKONOMICKÉ POSOUZENÍ STAVEBNÍCH ZMĚN NA DŮM AKTIVNÍHO STANDARDU A POUŽITÍ TECHNOLOGIÍ V NĚM

Stejně jako je PD výsledkem zpřísnění stavebních technologií (použitím lepších materiálů) v NED, tak i AD je dalším krokem ze standardu PD. V případě posuzovaného aktivního domu to znamená dodatečné investice ve stavební části do zesílení veškerých tepelných izolací (v podlaze 1. NP, v plášti budovy i ve skladbě střechy), tak i zvýšené investice do výplní otvorů - oken a dveří, u kterých je potřeba využít špičkových výrobců na trhu, kteří jsou schopni dodat okna maximalizující solární zisky při minimalizaci součinitele prostupu tepla oknem, a tedy minimalizaci tepelných ztrát.

Dále je v aktivním domě nainstalován co nejúspornější zdroj energie, kterému navíc z definice aktivního domu je energie potřebná pro výrobu tepla a ohřev vody dodána téměř výhradně z vlastních zdrojů náležících k domu samotnému, což v posuzovaném AD splňuje opět varianta využití vlastní FVE.

Protože již posuzovaný PD byl vyhovující pro čerpání dotace z programu Nová zelená úsporám, je i posuzovaný AD k tomuto dostačující a ač jeho průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy má lepší hodnotu než u posuzovaného PD ( $U_{em} = 0,17 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  u AD vs.  $U_{em} = 0,18 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  u PD), ani posuzovaný AD v tomto součiniteli nespĺňuje požadavky na podoblast podpory B.2 (měrná roční spotřeba tepla na vytápění  $E_A \leq 15 \text{ kW}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  vs.  $E_A = 20 \text{ kW}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  u posuzovaného AD). Lze u něj aplikovat tedy také pouze podoblast podpory B.1 a B.3 v celkové maximální výši 335 000 Kč.

### 5.3.1 Posouzení stavebních změn z NED na posuzovaný AD

Stejně jako v případě PD je i u varianty AD prvně posouzen ekonomický přínos samotných stavebních změn. Opět je srovnáván NED s instalovanou rekuperací proti AD s rekuperací. Ač, jak již zaznělo, instalace rekuperace do NED ekonomicky efektivní není, u AD je téměř nepředstavitelné, že by stavebník, investující navíc do zvýšení standardu na AD, rekuperaci nepoužil, proto i zde jsou srovnány obě varianty domu NED i AD s rekuperací.

V této variantě je dodatečných 104 995 Kč (opět čtvrtina rozdílu na změny stavebního standardu) investice schopno generovat roční úsporu ve výši 10 315 Kč.

Tab. č. 32 AD - Posouzení POUZE stavebních změn (NED vč. rekuperace -> AD vč. rekuperace) při stabilních cenách energií [vlastní]

<b>Prostá doba návratnosti (počet let)</b>	<b>11</b>
<b>Diskontovaná doba návratnosti (počet let)</b>	<b>13</b>
<b>Čistá současná hodnota projektu (Kč)</b>	<b>49 894</b>
<b>Vnitřní výnosové procento projektu (%)</b>	<b>7,52 %</b>

Tab. č. 33 AD - Posouzení POUZE stavebních změn (NED vč. rekuperace -> AD vč. rekuperace) při rostoucích cenách energií [vlastní]

<b>Prostá doba návratnosti (počet let)</b>	<b>10</b>
<b>Diskontovaná doba návratnosti (počet let)</b>	<b>11</b>
<b>Čistá současná hodnota projektu (Kč)</b>	<b>88 257</b>
<b>Vnitřní výnosové procento projektu (%)</b>	<b>9,88 %</b>

V obou modelovaných případech, jak při stabilních, tak při rostoucích cenách energií, je zvýšená investice do stavebního standardu na úroveň aktivního domu namísto domu

nízkoenergetického opět ekonomicky efektivní s jen o něco nižší návratností než investice do zvýšení standardu z NED na PD.

### 5.3.2 Posouzení stavebních změn z PD na posuzovaný AD

Vzhledem k zjištění, že stavební změna z NED na AD již není tak ekonomicky efektivní jako v případě z NED na PD, je relevantní pro účely této práce porovnat i samotný krok stavebních změn ze standardu PD na AD.

Ze standardu PD je zapotřebí investovat dodatečných 23 991 Kč (ve výpočtu reprezentuje čtvrtinu celkového rozdílu), aby dům odpovídal posuzovanému AD. Tento krok přinese roční úsporu 658 Kč.

*Tab. č. 34 AD - Posouzení POUZE stavebních změn (PD vč. rekuperace -> AD vč. rekuperace) při stabilních cenách energií [vlastní]*

<b>Prostá doba návratnosti (počet let)</b>	-
<b>Diskontovaná doba návratnosti (počet let)</b>	-
<b>Čistá současná hodnota projektu (Kč)</b>	<b>-14 111</b>
<b>Vnitřní výnosové procento projektu (%)</b>	<b>-5,14 %</b>

*Tab. č. 35 AD - Posouzení POUZE stavebních změn (PD vč. rekuperace -> AD vč. rekuperace) při rostoucích cenách energií [vlastní]*

<b>Prostá doba návratnosti (počet let)</b>	-
<b>Diskontovaná doba návratnosti (počet let)</b>	-
<b>Čistá současná hodnota projektu (Kč)</b>	<b>-11 664</b>
<b>Vnitřní výnosové procento projektu (%)</b>	<b>-2,97 %</b>

Z výpočtů reprezentovaných v tabulkách č. 34 a 35 je patrné, že zvýšení investice do stavebního standardu z PD na AD již ekonomicky efektivní není. Výše zmíněná roční úspora ani při zohlednění růstu cen energií za posuzované období zdaleka nevyrovná dodatečnou investici.

### 5.3.3 Posouzení stavebních změn a přidání rekuperace

V případě provedení stavebních změn (už opět z NED standardu na AD) a přidání rekuperace za celkovou výpočtovou cenu 205 910 Kč (stavební změny jsou ve výpočtu pouze čtvrtinou) a ponechání kondenzačního kotle jako zdroje tepla a ohřevu teplé vody, je roční úspora těchto opatření 19 280 Kč.

Tab. č. 36 AD - Posouzení stavebních změn (NED -> AD) a přidání rekuperace při stabilních cenách energií s dotací [vlastní]

<b>Prostá doba návratnosti (počet let)</b>	<b>17</b>
<b>Diskontovaná doba návratnosti (počet let)</b>	<b>-</b>
<b>Čistá současná hodnota projektu (Kč)</b>	<b>-20 654</b>
<b>Vnitřní výnosové procento projektu (%)</b>	<b>1,79 %</b>

Tab. č. 37 AD - Posouzení stavebních změn (NED -> AD) a přidání rekuperace při rostoucích cenách energií [vlastní]

<b>Prostá doba návratnosti (počet let)</b>	<b>14</b>
<b>Diskontovaná doba návratnosti (počet let)</b>	<b>18</b>
<b>Čistá současná hodnota projektu (Kč)</b>	<b>31 016</b>
<b>Vnitřní výnosové procento projektu (%)</b>	<b>4,32 %</b>

V porovnání s referenčním NED bez rekuperace je zvýšení stavebního standardu a přidání rekuperace ekonomicky přínosný krok s pozitivním vnitřním výnosovým procentem už při stabilních cenách energií. Prostá návratnost je také kratší než modelovaná životnost technologií.

Pokud do výpočtu zahrneme růst cen energií, výsledek je, jako ve všech případech, lepší.

Při použité diskontní sazbě a při výpočtu pro stabilní ceny energií není současná hodnota těchto změn kladná, ale stejně jako ve variantě PD se i zde jedná o relativně zanedbatelnou částku, kterou lze opět vyvážit nekvantifikovatelnými vlastnostmi rekuperace.

Shrnutím budiž, že zvýšení stavebního standardu na AD a přidání rekuperace dává nejen ekonomický smysl, protože se tato investice za posuzované období stavebníkovi vrátí, ale dojde i k výraznému zvýšení komfortu bydlení díky kvalitativním vlastnostem rekuperace.

### 5.3.4 Posouzení stavebních změn a přidání rekuperace při využití dotací

Stejný předpoklad jako u PD v kapitole 5.2.3, který počítá, že je pravděpodobné, že při využití kondenzačního kotle by posuzovaný dům byl schopný čerpat podporu, platí i u posuzovaného AD.

V případě AD by dodatečná investice do zvýšení standardu a doplnění o rekuperaci v porovnání s referenčním NED znamenala 205 910 Kč navíc a přinesla by roční úsporu 19 280 Kč s tím, že v modelovaném případě by na konci 3. roku stavebník čerpal dotaci ve výši 335 000 Kč. Čerpání dotace až na konci 3. roku je zvoleno proto, že dotace je vyplácena po až dokončení stavby a doložení patřičných dokumentů tzn. dané opatření musí stavebník zprvu financovat z vlastních zdrojů.

*Tab. č. 38 AD - Posouzení stavebních změn (NED -> AD) a přidání rekuperace při stabilních cenách energií s dotací [vlastní]*

<b>Prostá doba návratnosti (počet let)</b>	<b>3</b>
<b>Diskontovaná doba návratnosti (počet let)</b>	<b>3</b>
<b>Čistá současná hodnota projektu (Kč)</b>	<b>286 813</b>
<b>Vnitřní výnosové procento projektu (%)</b>	<b>27,54%</b>

*Tab. č. 39 AD - Posouzení stavebních změn (NED -> AD) a přidání rekuperace při rostoucích cenách energií [vlastní]*

<b>Prostá doba návratnosti (počet let)</b>	<b>3</b>
<b>Diskontovaná doba návratnosti (počet let)</b>	<b>3</b>
<b>Čistá současná hodnota projektu (Kč)</b>	<b>338 483</b>
<b>Vnitřní výnosové procento projektu (%)</b>	<b>28,39%</b>

V obou posuzovaných případech je návratnost této dodatečné investice limitována modelovaným momentem vyplacení dotace na konec 3. roku a je tedy také 3 roky. Stran cash flow, dotace stavebníkovi vrátí téměř dvě třetiny dodatečné investice do zvýšení standardu a instalace rekuperace. Jak je z tabulek patrné, tato varianta je velmi ekonomicky efektivní.

### 5.3.5 Posouzení stavebních změn, přidání rekuperace a použití tepelného čerpadla vzduch/voda namísto kondenzačního kotle

Při posouzení stavebních změn, přidání rekuperace a použití TČ namísto referenčního kondenzačního kotle je dodatečná investice vstupující do výpočtu 365 718 Kč a přináší roční úsporu 22 528 Kč.

Tab. č. 40 AD - Posouzení stavebních změn (NED -> AD), přidání rekuperace a použití TČ vzduch/voda místo kondenzačního kotle při stabilních cenách energií [vlastní]

<b>Prostá doba návratnosti (počet let)</b>	-
<b>Diskontovaná doba návratnosti (počet let)</b>	-
<b>Čistá současná hodnota projektu (Kč)</b>	<b>-131 690</b>
<b>Vnitřní výnosové procento projektu (%)</b>	<b>-1,48 %</b>

Tab. č. 41 AD - Posouzení stavebních změn (NED -> AD), přidání rekuperace a použití TČ vzduch/voda místo kondenzačního kotle při rostoucích cenách energií [vlastní]

<b>Prostá doba návratnosti (počet let)</b>	<b>19</b>
<b>Diskontovaná doba návratnosti (počet let)</b>	-
<b>Čistá současná hodnota projektu (Kč)</b>	<b>-67 940</b>
<b>Vnitřní výnosové procento projektu (%)</b>	<b>0,95 %</b>

V případě posouzení efektivnosti zvýšení standardu z NED na AD, přidání rekuperace a výměny zdroje tepla pro vytápění a ohřev vody z kondenzačního kotle na TČ vzduch/voda je situace velmi obdobná jako v případě PD. Vnitřní výnosové procento je tato změna schopna generovat pozitivní pouze v případě zahrnutí růstu cen do výpočtu, avšak ani v tomto případě není čistá současná hodnota této změny kladná.

U posuzované varianty se jedná o teoretický případ, protože takováto varianta domu je dostačující pro čerpání dotace, a proto je nepravděpodobné, že by v případě realizace této kombinace stavebník podporu nečerpal.

### 5.3.6 Posouzení stavebních změn, přidání rekuperace a použití tepelného čerpadla vzduch/voda namísto kondenzačního kotle při využití dotací

V případě využití dotací jsou výše dodatečné investice i úspor totožné s předchozí kapitolou s podstatným rozdílem v čerpání dotace ve výši 335 000 Kč na konci 3. roku.

Tab. č. 42 AD - Posouzení stavebních změn (NED -> AD), přidání rekuperace a použití TČ vzduch/voda místo kondenzačního kotle při stabilních cenách energií s dotací [vlastní]

<b>Prostá doba návratnosti (počet let)</b>	<b>3</b>
<b>Diskontovaná doba návratnosti (počet let)</b>	<b>5</b>
<b>Čistá současná hodnota projektu (Kč)</b>	<b>175 777</b>
<b>Vnitřní výnosové procento projektu (%)</b>	<b>11,23 %</b>

Tab. č. 43 AD - Posouzení stavebních změn (NED -> AD), přidání rekuperace a použití TČ vzduch/voda místo kondenzačního kotle při rostoucích cenách energií s dotací [vlastní]

<b>Prostá doba návratnosti (počet let)</b>	<b>3</b>
<b>Diskontovaná doba návratnosti (počet let)</b>	<b>4</b>
<b>Čistá současná hodnota projektu (Kč)</b>	<b>239 527</b>
<b>Vnitřní výnosové procento projektu (%)</b>	<b>12,70 %</b>

V případě, kdy stavebník využije u této varianty maximální výše dosažitelné podpory, jak už jsme prokázali na předchozích výpočtech, je efektivita těchto změn, tedy zvýšení stavebního standardu z NED na AD, přidání rekuperace a použití TČ vzduch/voda namísto kondenzačního kotle, ekonomicky velmi vysoká.

Návratnost investice je opět ovlivněna faktem, že výpočet konzervativně předpokládá výplatu dotace až na konci 3. roku, v případě dřívější výplaty klesá až na 2 roky.

Z ekonomického hlediska jsou tedy tyto změny pozitivní a stavebníkovi posuzovaného domu je lze doporučit.

### **5.3.7 Posouzení stavebních změn, přidání rekuperace, použití tepelného čerpadla vzduch/voda namísto kondenzačního kotle a použití fotovoltaické elektrárny**

V případě, kdy je k stavebním změnám z NED standardu na AD přidána rekuperace, změněn zdroj tepla a ohřevu teplé vody na TČ vzduch/voda a instalována FVE, činí výše dodatečné investice 665 718 Kč (zahrnuje opět stavební změny pouze ze čtvrtiny). Tento krok poté přinese úsporu v celém rozsahu nákladů na energie, které jsou pro referenční NED bez rekuperace modelovány na 39 107 Kč ročně.

Tab. č. 44 AD - Posouzení stavebních změn (NED -> AD), přidání rekuperace, použití TČ vzduch/voda místo kondenzačního kotle a použití FVE při stabilních cenách energií [vlastní]

<b>Prostá doba návratnosti (počet let)</b>	-
<b>Diskontovaná doba návratnosti (počet let)</b>	-
<b>Čistá současná hodnota projektu (Kč)</b>	<b>-197 756</b>
<b>Vnitřní výnosové procento projektu (%)</b>	<b>-0,62 %</b>

Tab. č. 45 AD - Posouzení stavebních změn (NED -> AD), přidání rekuperace, použití TČ vzduch/voda místo kondenzačního kotle a použití FVE při rostoucích cenách energií [vlastní]

<b>Prostá doba návratnosti (počet let)</b>	<b>18</b>
<b>Diskontovaná doba návratnosti (počet let)</b>	-
<b>Čistá současná hodnota projektu (Kč)</b>	<b>-72 348</b>
<b>Vnitřní výnosové procento projektu (%)</b>	<b>1,79 %</b>

Přidání vlastní fotovoltaické elektrárny k variantě z kapitoly 5.3.5 stejně jako v případě PD samo o sobě i přes vysokou výši počáteční investice z kvantifikovatelného ekonomického hlediska opět ekonomickou výkonnost mírně zlepšil. V případě, že výpočet zahrnuje růst cen energií, tento krok stále generuje pozitivní vnitřní výnosové procento.

Hodnota tohoto řešení ale netkví čistě v ekonomické návratnosti, ale ve faktu, že dané řešení posune hodnocený dům do kategorie aktivních, resp. nulových domů a zajistí mu vysokou míru autonomie na rozvodné síti elektrické energie při zachování maximálního možného komfortu bydlení. Tím, že dům je teoreticky energeticky nulový (v reálných podmínkách by se jednalo pravděpodobně o téměř nulový dům), je eliminována i s provozem domu spojená tvorba emisí CO<sub>2</sub> a dům je tedy i ekologicky maximálně přívětivý.

### **5.3.8 Posouzení stavebních změn, přidání rekuperace, použití tepelného čerpadla vzduch/voda namísto kondenzačního kotle a použití fotovoltaické elektrárny při využití dotací**

V případě, kdy k předchozí variantě z kapitoly 5.3.7 využijeme podpory Nová zelená úsporám, investiční náklady i výše úspor zůstanou totožné a do výpočtu navíc vstoupí čerpání dotace na konci 3. roku.

Tab. č. 46 AD - Posouzení stavebních změn (NED -> AD), přidání rekuperace, použití TČ vzduch/voda místo kondenzačního kotle a použití FVE při stabilních cenách energií [vlastní]

<b>Prostá doba návratnosti (počet let)</b>	<b>11</b>
<b>Diskontovaná doba návratnosti (počet let)</b>	<b>15</b>
<b>Čistá současná hodnota projektu (Kč)</b>	<b>109 711</b>
<b>Vnitřní výnosové procento projektu (%)</b>	<b>5,30 %</b>

Tab. č. 47 AD - Posouzení stavebních změn (NED -> AD), přidání rekuperace, použití TČ vzduch/voda místo kondenzačního kotle a použití FVE při rostoucích cenách energií [vlastní]

<b>Prostá doba návratnosti (počet let)</b>	<b>10</b>
<b>Diskontovaná doba návratnosti (počet let)</b>	<b>12</b>
<b>Čistá současná hodnota projektu (Kč)</b>	<b>243 803</b>
<b>Vnitřní výnosové procento projektu (%)</b>	<b>7,42 %</b>

Pokud k předchozí kombinaci stavebních změn a instalovaných technologií do výpočtu vstoupí i využití dotace, dojde ke snížení investičních nákladů pro realizaci a tedy i veškeré ekonomické ukazatele pro tuto variantu generují lepší výsledky.

Při zvolené diskontní sazbě jsou poté jak při stabilních modelovaných cenách energií, tak při cenách rostoucích, čisté současné hodnoty obou variant kladné.

Veškerá nekvantifikovatelná pozitiva zmíněná v předchozí kapitole platí samozřejmě i pro tuto variantu, a s výsledky výpočtů v tabulkách výše se proto dá zhodnotit jako pro potenciálního stavebníka velmi přínosná nejen ekonomicky, ale i stran kvalitativních vlastností.

### 5.3.9 Srovnání

Z důvodu neefektivnosti samotného zvýšení stavebního standardu PD na AD je využití totožných technologií v obou variantách v případě AD vždy o něco méně ekonomicky efektivní. Klíčovou roli zde hraje fakt, že posuzovaná varianta AD nemá vlastnosti pro čerpání vyšší dotace z podskupiny B.2, která by byla schopná ekonomickou efektivitu pro stavebníka zvýšit.

## **6 DISKUZE - EKONOMICKÉ POSOUZENÍ STAVEBNÍCH ZMĚN V JEDNOTLIVÝCH VARIANTÁCH DOMU A POUŽITÍ TECHNOLOGIÍ V NĚM**

Před diskuzí samotných výsledků provedených výpočtů je zapotřebí konstatovat, že na výsledky je nutné nahlížet tak, že se týkají jednoho specifického projektu rodinného domu se všemi jeho pozitivy i negativy. Zvýšení standardů, příp. instalace technologií je také vždy docíleno specificky vybranými typy kondenzačního kotle, tepelného čerpadla, FVE a rekuperace z široké nabídky, kterou trh poskytuje. Zvoleny vždy byly etablované značky, které z podstaty nebudou mít nejnižší ceny v kategorii. Dá se tedy konstatovat, že jistá míra optimalizace, a tedy i zvýšení efektivity těchto investic, by byla v této oblasti dosažitelná.

Z tohoto důvodu nelze výsledky zobecnit a prohlásit je za všeobecně platné pro jakýkoliv dům a jakékoliv technologie z posuzovaných kategorií. Jistá míra paušalizace přípustná je, ale spíše pro potřeby prokázání trendu vlivu posuzovaných změn. Pro posouzení jiných specifických domů by veškeré výpočty měly být replikovány s pro tento dům spočtenými hodnotami všech vstupních údajů.

Tab. č. 48 Porovnání výsledků vnitřních výnosových procent všech variant [vlastní]

<b>Porovnání výsledků VVP</b>						
(vyjma * se jedna vždy o porovnání proti referenčnímu NED bez rekuperace)						
	Nízkoenergetický dům		Pasivní dům		Aktivní dům	
	stabilní ceny energií	rostoucí ceny energií	stabilní ceny energií	rostoucí ceny energií	stabilní ceny energií	rostoucí ceny energií
<b>* Stavební Δ NED -&gt; PD, kondenzační kotel</b>	-	-	10,22%	12,60%	-	-
<b>* Stavební Δ NED -&gt; AD, kondenzační kotel</b>	-	-	-	-	7,52%	9,88%
<b>* Stavební Δ PD -&gt; AD, kondenzační kotel</b>	-	-	-	-	-5,14%	-2,97%
<b>kondenzační kotel + (rekuperace)</b>	-7,48%	-4,07%	-	-	-	-
<b>TČ</b>	-5,43%	-3,26%	-	-	-	-
<b>rekuperace, TČ</b>	-6,18%	-3,59%	-	-	-	-
<b>Stavební Δ, rekuperace, kondenzační kotel</b>	-	-	2,51%	5,07%	1,79%	4,32%
<b>Stavební Δ, rekuperace, kondenzační kotel + DOTACE</b>	-	-	32,02%	32,76%	27,54%	28,39%
<b>Stavební Δ, TČ</b>	-	-	-	-	-	-
<b>Stavební Δ, rekuperace, TČ</b>	-	-	-1,21%	1,23%	-1,48%	0,95%
<b>Stavební Δ, rekuperace, TČ + DOTACE</b>	-	-	12,67%	14,07%	11,23%	12,70%
<b>Stavební Δ, rekuperace, TČ, FVE</b>	-	-	-0,08%	2,28%	-0,62%	1,79%
<b>Stavební Δ, rekuperace, TČ, FVE + DOTACE</b>	-	-	6,07%	8,02%	5,30%	7,42%

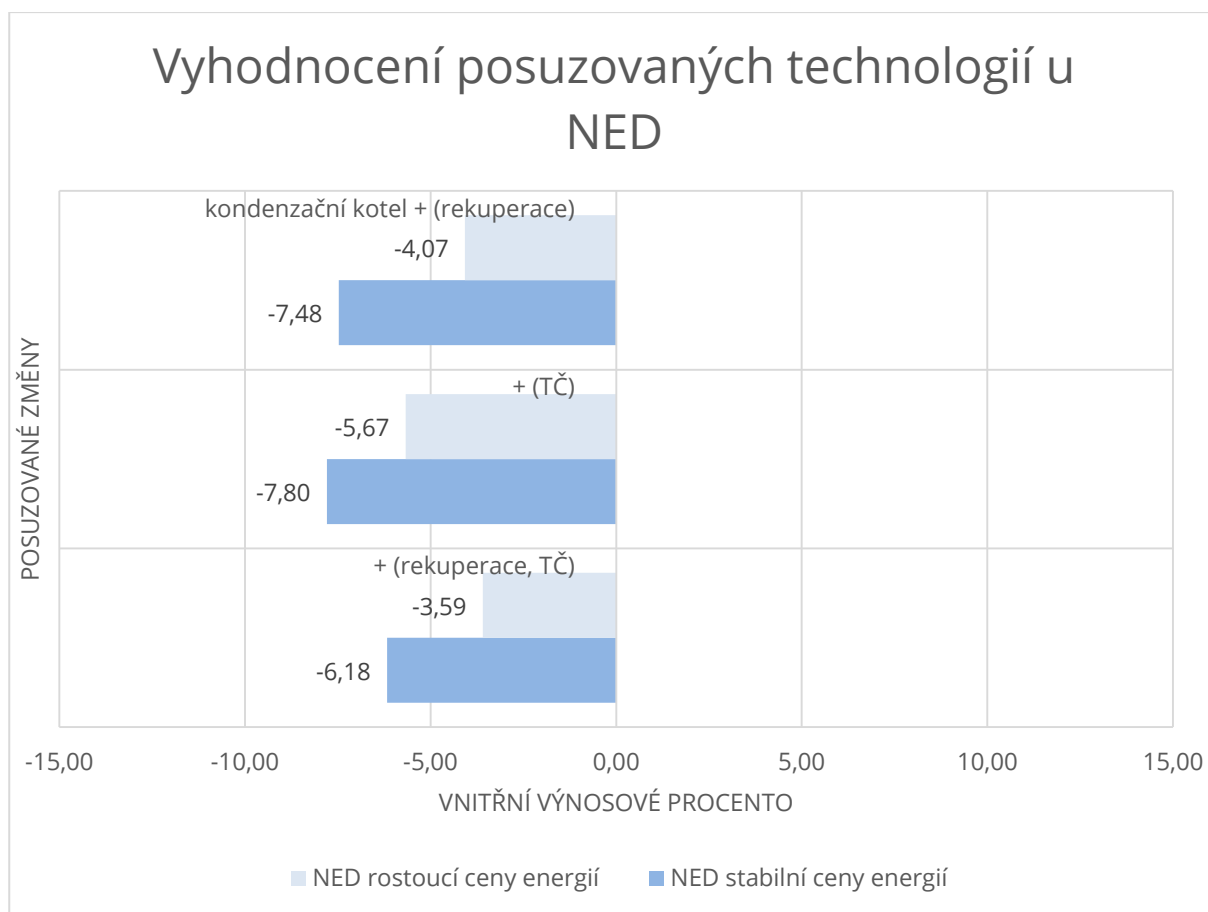
Stavební Δ = stavební změna

## 6.1 POSOUZENÍ STAVEBNÍCH ZMĚN A TECHNOLOGIÍ V NED

Ze získaných výsledků je patrné, že v případě posuzovaného NED není ekonomicky efektivní ani jedna z hodnocených variant - instalace rekuperace, nahrazení kondenzačního kotle

tepelným čerpadlem, příp. kombinace obojího. Důvodem tohoto výsledku je velmi vysoká celková tepelná ztráta této varianty domu, která přes posuzované období není schopna z úspor energie, kterou tyto technologie přinesou, vyrovnat investici, kterou by bylo zapotřebí vynaložit.

Lze usoudit, že přidání rekuperace je schopné do jisté míry s touto celkovou ztrátou „bojovat“ – použití tepelného čerpadla spolu s rekuperací je ekonomicky efektivnější, než pokud se vytápění a ohřev vody pomocí tepelného čerpadla použije bez ní. Avšak ani tato kombinace nevyváží úsporami investici, kterou je do nich zapotřebí vložit.



Graf č. 5 – Vyhodnocení posuzovaných změn a přidání technologií u NED [vlastní]

Zásadním bodem ovlivňující ekonomickou efektivitu všech posuzovaných technologií, jak ukazuje tato práce v následujících stranách, je u posuzovaných domů splnění podmínek pro čerpání dotací, které mají naprosto zásadní vliv na ekonomickou efektivitu vynaložení dodatečných investic na zvyšování standardu a užití pokročilých technologií v posuzovaných domech, jak je patrné z grafů č. 6 a 7 na následujících stranách.

Pokud bychom na výsledky nahlíželi z pohledu regulátora, resp. státu určujícího, jaká specifikace domu by na danou finanční podporu měla dosáhnout, dá se usoudit na posuzovaném případě NED, že tato kritéria jsou nastavena nejspíš správně, a podobná analýza, kdy se vyplatí pobídnout stavebníky k dodatečné investici do zvýšení stavebního standardu a pokročilých technologií, pravděpodobně před nastavením podmínek Nové zelené úsporám, také proběhla.

Soudě dle výpočtů průměrného součinitele tepla pro posuzovaný pasivní dům, který minimální dotační požadavky splňuje s rezervou, u posuzovaného NED by pro získání dotace nebyl nutný až tak velký příplatek za využití lepších stavebních technologií jako má posuzovaný pasivní dům. Mírné zvýšení stavebního standardu na úroveň „minimální investice navíc, aby šlo dosáhnout na dotace“ by z pohledu ekonomické návratnosti generovalo přívětivější výsledky, než které v této práci dosahuje PD a které budou diskutovány v následující kapitole.

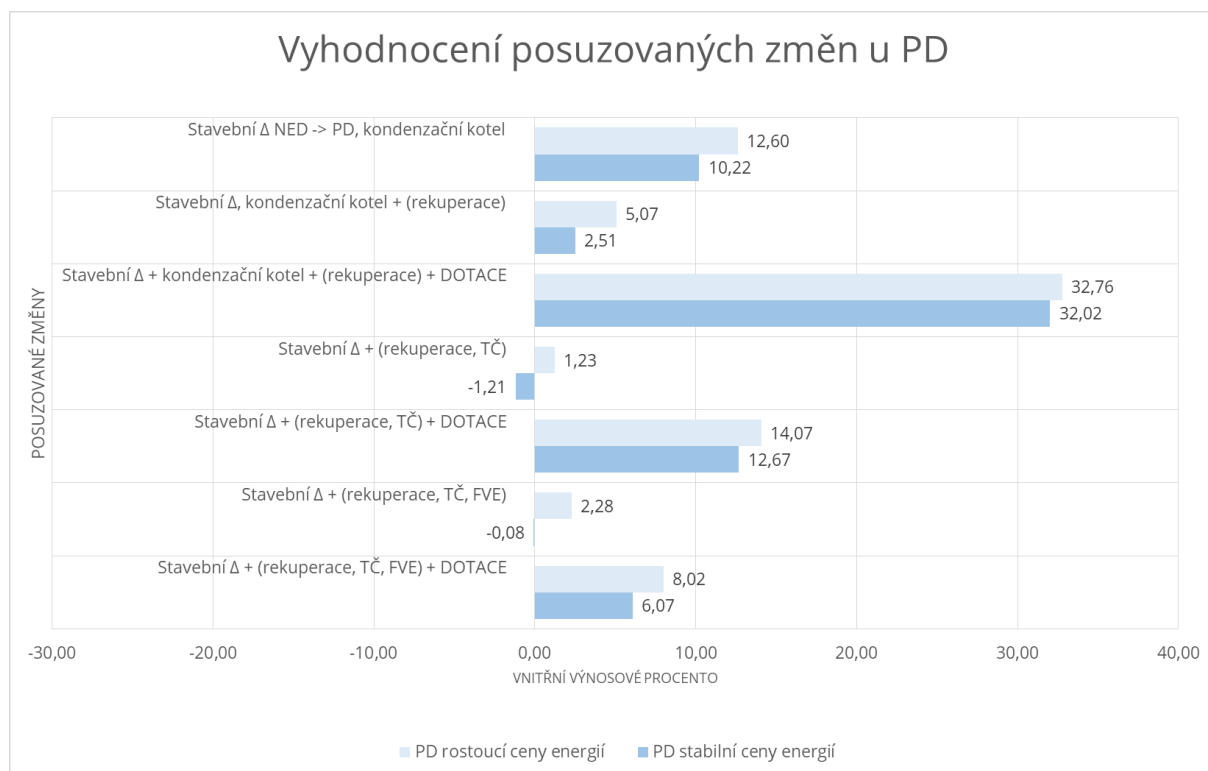
## **6.2 POSOUZENÍ STAVEBNÍCH ZMĚN A TECHNOLOGIÍ V PD**

Mnohem lepších výsledků dosahuje pasivní varianta posuzovaného domu, která ze své definice má celkovou tepelnou ztrátu budovy mnohem nižší - u posuzovaného domu je to téměř 3x méně než NED varianta. Toto se ukazuje přímo na posouzení ekonomičnosti stavebních změn z nízkoenergetického na pasivní dům – pokud pomineme varianty, ve kterých jsou využity dotace, jedná se o nejvyšší míru návratnosti ze všech posuzovaných variant změn na referenčním domě v této práci, což znamená, že v případě, kdy by si stavebník výstavbu hradil bez použití podpory, tyto stavební úpravy se mu vyplatí ze všech posuzovaných nejvíc.

Na základě tohoto výsledku je možné alespoň částečně paušalizovat, že zvýšení stavebního standardu z dnes nejrozšířenějšího, téměř nízkoenergetického a brzy regulací vynuceného nízkoenergetického standardu dává ekonomický smysl. V případě této práce se jedná o specifický posuzovaný dům, ale nemělo by být budoucím stavebníkům překážkou si podobné ekonomické vyhodnocení zpracovat i pro dům jejich zájmu. Zjistit, jak velké zvýšení investice do dodatečných tepelných izolací, resp. oken s nižším součinitelem prostupu tepla se jim ještě vyplatí, a podle svých finančních možností toto také realizovat.

V našem případě je návratnost této dodatečné investice na zvýšení standardu z NED na PD cca 10 let, což by při očekávané životnosti stavebních konstrukcí 80 let znamenalo, že od 11. roku užívání domu se tato investice stavebníkovi zaplatila a po 70 let už mu bude pouze vydělávat formou úspor na spotřebovaných energiích. Pokud bychom se na tuto dodatečnou částku podívali

pohledem investora, tak při uvažované diskontní sazbě 2,9 %, což je současná průměrná sazba hypoték v ČR [47], by si v případě vypůjčení těchto prostředků investor užíval návratnosti 10,22 % a dá se tedy říct, že by vydělával 7,32 % ročně na tomto rozdílu, přičemž se jedná o peníze půjčené od banky a ne jeho vlastní.



*Graf č. 6 – Vyhodnocení posuzovaných změn a přidání technologií u PD [vlastní]*

Při bližším pohledu na výsledky u rostoucích cen energií je u pasivního domu proti referenčnímu nízkoenergetickému domu bez rekuperace ekonomicky efektivní umístění všech posuzovaných technologií, tedy rekuperace, tepelného čerpadla vzduch/voda i fotovoltaické elektrárny.

V posuzované teoretické situaci stabilních cen energií poté přidání rekuperace do varianty PD s vytápěním a ohřevem vody pomocí kondenzačního kotle ekonomicky efektivní stále je, v případě výměny zdroje tepla na tepelné čerpadlo už ale při stabilních cenách tento krok efektivní investicí není. Proto by v tomto teoretickém případě nejlepší variantou pro stavebníka byla volba kondenzačního kotle pro ohřev teplé vody a vytápění spolu s využitím rekuperace.

V případě, že by se stavebník rozhodl investovat do fotovoltaické elektrárny, tak tato dodatečná investice je v posuzovaném PD také ekonomicky efektivním krokem. V případě růstu

cen energií je její vliv velmi pozitivní, což je spojeno primárně s teoretickým osamostatněným posuzovaného domu a získáním relativní nezávislosti na rozvodové síti, ze které v modelovaném případě nepotřebuje odebírat téměř žádnou další energii. Toto má samozřejmě amplifikovaný vliv v případě hodnocení při rostoucích cenách energií. V případě stabilních cen energií je vnitřní výnosové procento téměř nulové, a je tedy třeba přihlížet k ostatním nekvantifikovatelným pozitivům, které toto řešení přináší – komfort spojený s využitím rekuperace, bezstarostnost spojená s využitím tepelného čerpadla jako zdroje tepla a FVE zajišťující dostatek energie pro provoz těchto technologií a i značnou autonomii na rozvodné síti.

Na výsledcích je ze všech posuzovaných variant vždy nejpatrnější vliv čerpání podpory z programu Nová zelená úsporám, kdy stavebník v modelovaném případě dostává téměř celou částku na dodatečně vydané investice do stavebních změn, rekuperace a tepelného čerpadla zpět formou dotace (tento model zohledňuje životnost stavebních prvků). Tudíž zmiňovaná nejméně výhodná z posuzovaných variant je s využitím dotace variantou ekonomicky druhou nejefektivnější.

V případě čerpání dotace při výstavbě FVE jsou již výsledky horší, což je dáno vysokou počáteční investicí způsobenou právě přidáním investice do FVE, kterou již není podpora schopna vyrovnat. Tato varianta je pro stavebníka výnosná i při stabilních cenách energií (a o to více při cenách rostoucích), a tak je tedy její realizace spíše otázkou filozofie bydlení potenciálního stavebníka a jeho finanční schopnosti tuto dodatečnou investici provést.

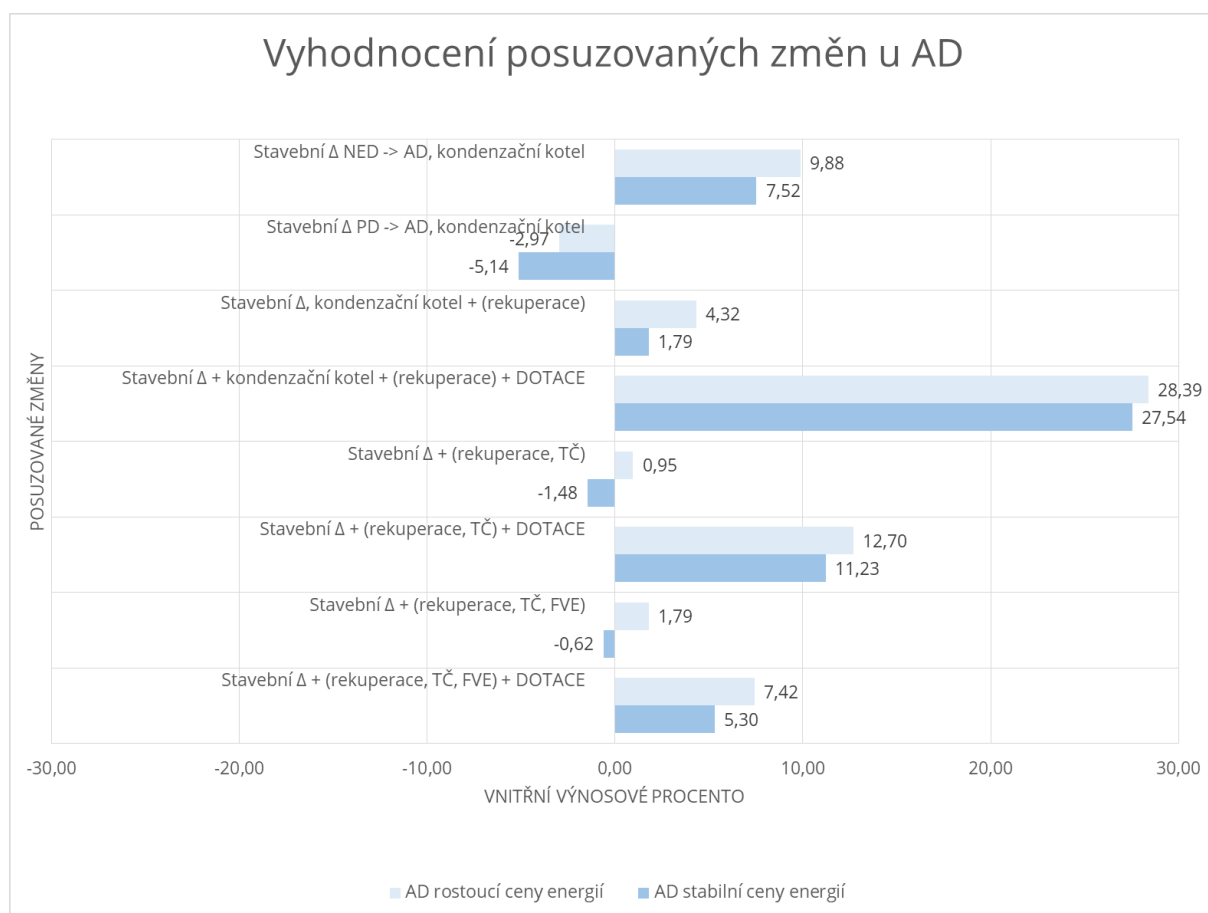
Maximální ekonomické efektivity je u posuzovaného PD stavebník schopen dosáhnout ponecháním referenčního zdroje, instalací rekuperace, která je jednou z podmínek pro čerpání dotace, a jejím následovným čerpáním. Za nejnižší možnou dodatečnou investici z posuzovaných variant poté dostává největší možnou návratnost.

Z výše uvedeného vyplývá, že z posuzovaných variant je ekonomicky nejpřínosnější varianta pasivního domu s kondenzačním kotlem a rekuperací při čerpání dotací. Pokud stavebník zohlední i nekvantifikovatelné vlastnosti zvolené technologie, jako je např. relativní nezávislost na potenciálním růstu cen energií, je poté ekonomicky zajímavou variantou i PD s rekuperací, zdrojem tepla pro vytápění a teplou vodu z tepelného čerpadla vzduch/voda a splňující podmínky dotace.

### 6.3 POSOUZENÍ STAVEBNÍCH ZMĚN A TECHNOLOGIÍ V AD

U varianty aktivního domu je zapotřebí zprvu srovnat ekonomickou efektivitu stavebních změn oproti NED. Tato zvýšená investice je stále efektivní, avšak ve srovnání se změnou z NED na PD již její vnitřní výnosové procento není tak vysoké.

Při zhodnocení stavebních změn z pasivní na aktivní variantu bylo zjištěno, že toto zvýšení investice o 95 965 Kč přinese u posuzovaného domu roční úsporu v nákladech pouze 658 Kč, z čehož vyplývá, že při stabilních cenách energií by prostá doba návratnosti předčila i očekávanou dobu životnosti těchto stavebních úprav.



Graf č. 7 – Vyhodnocení posuzovaných změn a přidání technologií u AD [vlastní]

Toto zjištění je ovšem v souladu s hypotézou této práce a jeho vysvětlení je takové, že posuzovaná aktivní varianta domu je ve své stavební podobě, bez zahrnutí technologií, za mezí ekonomické efektivnosti. Fakt, že vnitřní výnosové procento u varianty AD je nižší než u varianty PD napovídá, že zvýšením investice na AD se již potenciální stavebník posuzovaného domu dostává

za hranici optima zvyšování stavebního standardu domu. Tedy - do zesílení tloušťky izolací (jediný faktický rozdíl posuzovaného AD oproti PD) je v AD investováno tolik navíc, že přínos tohoto opatření se v posuzovaném modelovém případě už stavebníkovi nevyplácí.

Z důvodu této ekonomické neefektivnosti změny stavebního standardu z PD na AD lze tedy usoudit, že veškeré následující posuzované technologie budou vždy o něco méně ekonomicky výhodné než v případě jejich umístění v PD, ale dílčí výsledky jednotlivých změn již zůstanou v souladu s jejich výkonností v pasivní variantě.

Výpočty předchozí tvrzení potvrzují a všechny výsledky vnitřního výnosového procenta hodnotící umístění posuzovaných technologií do AD jsou průměrně o cca 1,3 % horší, než když jsou stejné technologie nebo jejich kombinace umístěné do PD.

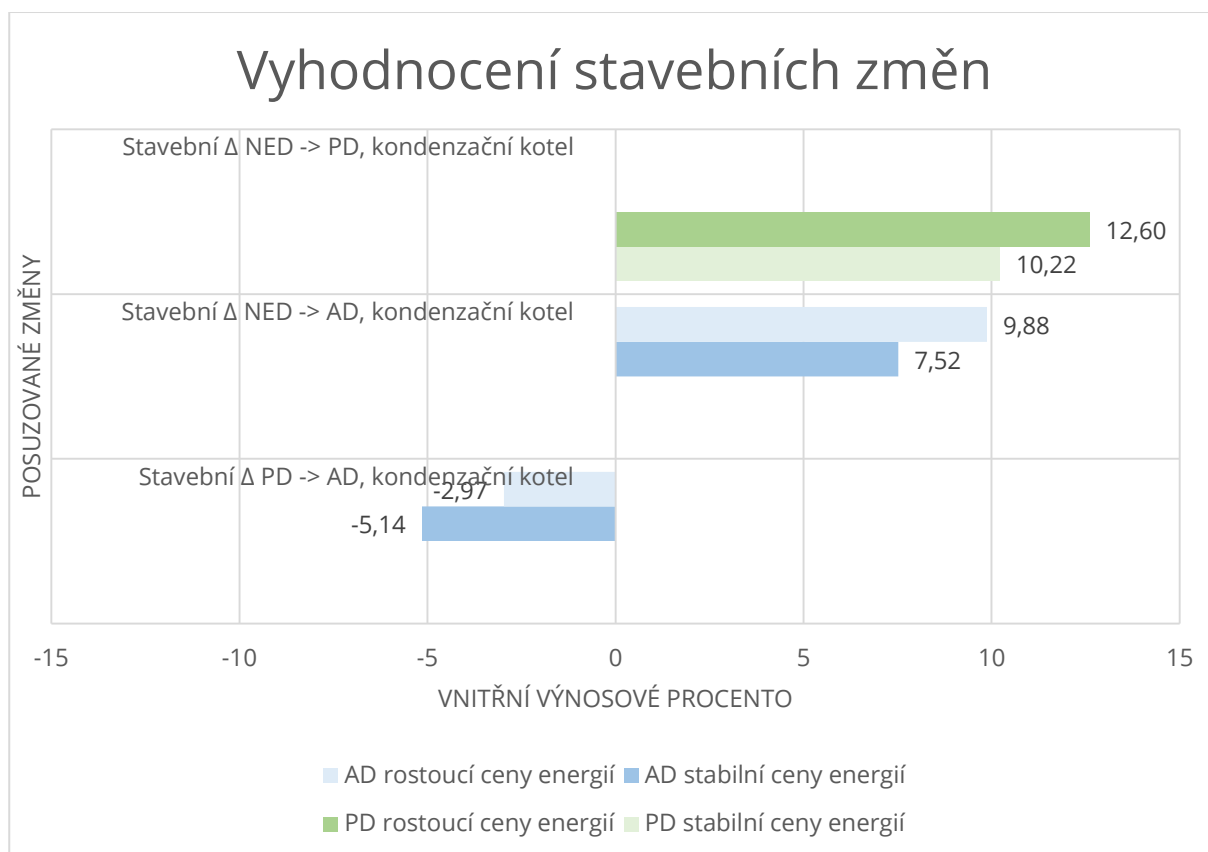
Toto platí i pro případ dotací, ve kterém je to dáno prostým faktem, že i posuzovaná varianta AD je vyhovující pro stejný typ podpory jako posuzovaná varianta PD – a to podoblast B.1 a B.3 s celkovou maximální dotací ve výši 335 000 Kč. V případě, kdy by se posuzovaný AD kvalifikoval pro vyšší podskupinu podpory B. 2 s výší dotace až 485 000 Kč, by se dalo uvažovat, že modelový příklad AD varianty domu vč. dotace bude vycházet lépe než ve variantě PD. Toto by ale v souladu s pravidly podpory bylo zapotřebí dále ověřit, neboť takový AD by vyžadoval další investice stavebního rázu. Je i pravděpodobné, že v daném dispozičním návrhu domu by tato varianta ani požadavky na podskupinu B.2 nebyla schopná splnit anebo s takovými dodatečnými náklady převyšujícími navýšení dotace, což by opět zapříčinilo její nižší ekonomickou efektivnost než i v této práci posuzované varianty AD. Toto by tedy opět bylo na prověření stavebníkem pro jeho specifický dům zájmu, zdali oněch dodatečných 150 000 Kč dotace vyrovná nebo převyší dodatečnou investici pro dosažení na podporu podskupiny B.2.

Pokud se však povzneseme nad prosté ekonomické hodnocení, je potřeba přihlédnout i k vlastnostem plynoucím ze samotné podstaty aktivních domů, a to je nezávislost na rozvodné síti a tedy i na případných vyšších než modelovaných růstech cen energií spolu se všemi ostatními pozitivy, které již byly zmíněny u varianty PD.

Je potřeba také podotknout, že pozitivní vliv na ekonomickou návratnost by měl odprodej přebytečné energie do rozvodné sítě, který tato práce neuvažuje.

## 6.4 CELKOVÉ POSOUZENÍ

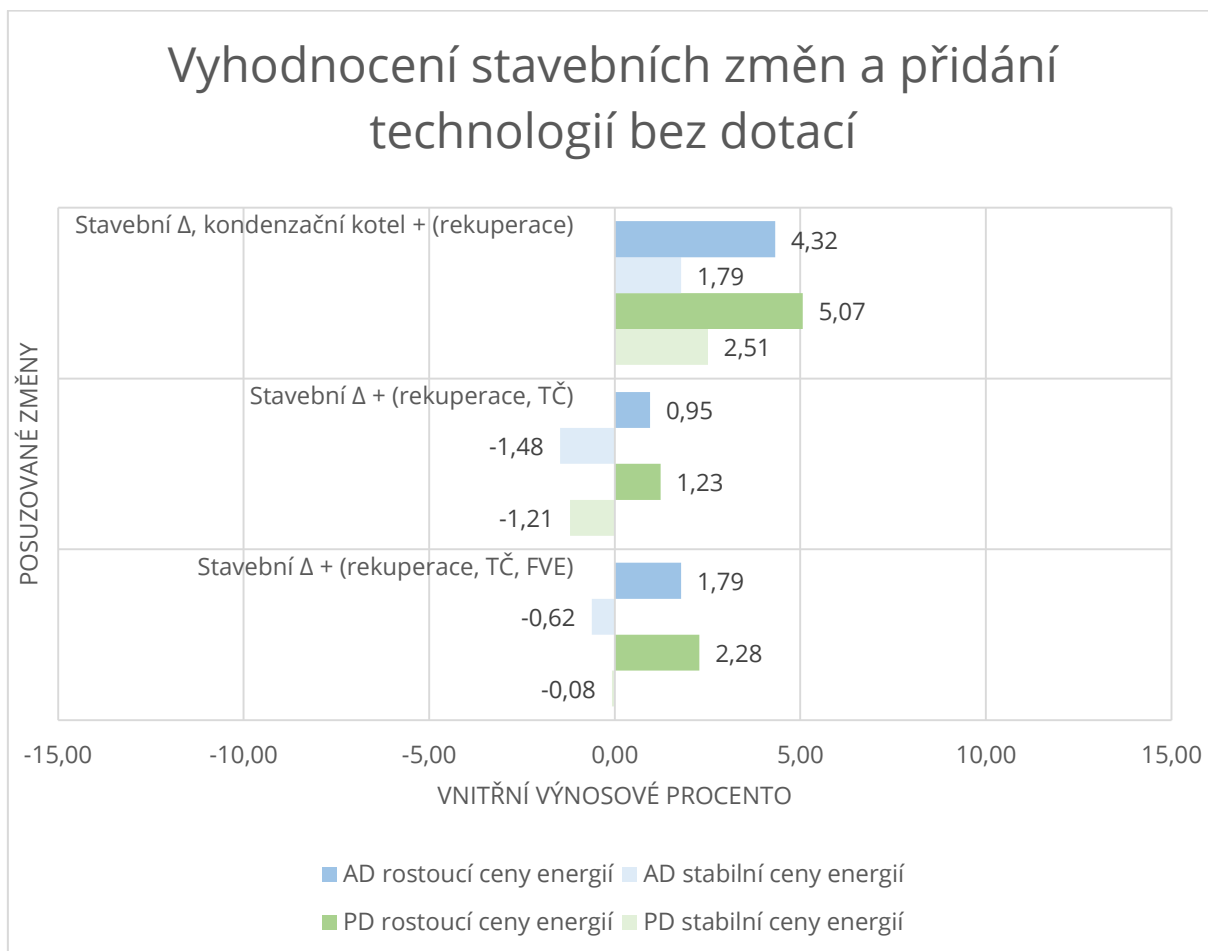
Při komplexním pohledu na posuzované stavební změny (viz Graf. č. 8) lze konstatovat, že v případě zvyšování stavebního standardu z NED na PD je tato dodatečná investice ekonomicky efektivní, a proto ji lze doporučit. Další krok stavebních změn z PD na AD již ekonomicky efektivní u posuzovaného domu není. Z tohoto zjištění lze vyvodit, že potenciální stavebník by se měl zvýšením standardu z NED směrem k PD určitě zabývat, protože optimální míra dodatečné investice do stavebních konstrukcí leží nad úrovní posuzovaného NED. Předmětem této práce nebylo zjistit, kde se tento bod přesně nachází ze stavebního hlediska, a proto z provedených výpočtů nejsme schopni určit, zdali je tento bod investice nižší než do posuzovaného PD nebo vyšší. Jediné, co výpočty dokládají je, že v případě posuzovaného AD je již tato investice příliš vysoká a není ekonomicky efektivní.



Graf č. 8 – Vyhodnocení stavebních změn z NED na PD a AD [vlastní]

Pokud se zaměříme na ekonomickou efektivitu výměny zdroje tepla z kondenzačního kotle na tepelné čerpadlo vzduch/voda a přidání rekuperace, příp. FVE, tak ani jedna z technologií není

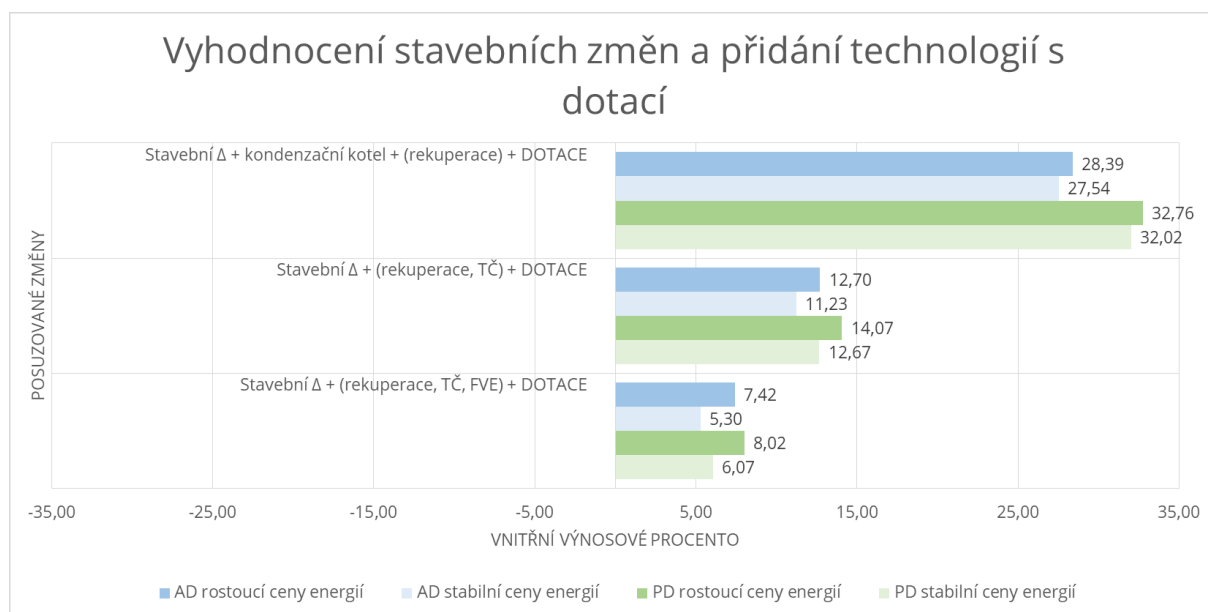
ekonomicky efektivní v kombinaci s posuzovaným NED z důvodu jeho vysoké celkové tepelné ztráty. V případě kombinace těchto technologií s PD rekuperace ekonomicky efektivní je, a protože je i podmínkou čerpání dotace, je pouze racionální, aby ji stavebník instaloval, čímž získá i veškeré její nekvantifikovatelné výhody zmíněné dříve. Jak již bylo nastíněno v předchozích kapitolách, u AD je situace téměř shodná s mírně zhoršenou efektivností zapříčiněnou již neefektivní investicí do zvýšení stavebního standardu.



Graf č. 9 – Vyhodnocení stavebních změn u PD a AD a přidání technologií [vlastní]

Pokud k přidání rekuperace přidáme navíc i tepelné čerpadlo, je investice již natolik vysoká, že při uvažování stabilních cen energií tato kombinace není ekonomicky efektivní a potenciální stavebník posuzovaného PD nebo AD by měl raději využít referenční zdroj tepla, tedy kondenzačního kotle. V případě rostoucích cen energií už je ale tato změna zdroje opět ekonomicky efektivní.

Investice do FVE má zásadní negativum, kterým je její vysoká kapitálová náročnost při realizaci. Co se týče jejího dopadu na ekonomické ukazatele, tento je ve všech posuzovaných případech vždy pozitivní a pokud tedy stavebník vyznává tuto filozofii bydlení, z ekonomického hlediska lze u posuzovaného domu investici do FVE doporučit, ač její návratnost je hraniční s počítanou životností technologie samotné.



*Graf č. 10 – Vyhodnocení stavebních změn u PD a AD a přidání technologií s dotacemi [vlastní]*

Největším vlivem na ekonomickou efektivnost jakékoliv z posuzovaných změn resp. instalací technologií má vždy schopnost daného posuzovaného PD a AD čerpat podporu z programu Nová zelená úsporám. Vliv dotace je u PD takový, že tato uhradí u posuzovaného domu téměř čtvrtinu stavebních změn (tedy část vstupující do výpočtů vzhledem k životnosti stavebních konstrukcí) a k tomu i investici do rekuperace a tepelného čerpadla. Pokud by stavebník plánoval zůstat u referenčního zdroje tepla, tedy kondenzačního kotle, obdrží ve formě podpory více než tři čtvrtiny dodatečné investice. U AD je ekonomická efektivita opět poškozena neefektivností investice při zvýšení stavebního standardu z PD na AD, a proto jsou výsledky této varianty o něco horší než u PD.

V případě využití FVE je ekonomická efektivnost opět horší než bez FVE a to čistě z důvodu, že v tomto případě jsou během výstavby zapotřebí vynaložit dodatečné nezanedbatelné prostředky právě na realizaci FVE, což celkové efektivnosti investice uškodí, protože stran cash flow je již daleko nad rámec objemu dotace.

V případě využití dotací, a tedy realizace jednoho z posuzovaných PD nebo AD s instalovanou rekuperací, jsou jejich veškeré kombinace s posuzovanými technologiemi ekonomicky efektivním krokem a tedy se dají stavebníkovi doporučit. Rozhodujícími faktory pro stavebníka tedy bude primárně, zdali má na tyto dodatečné náklady prostředky a jeho celková preferovaná filozofie bydlení – jeho požadavky na ochranu před potenciálním nepředvídatelným zvyšováním cen energií a relativní nezávislost na rozvodné síti.

Souhrnně se dá konstatovat, že ze všech posuzovaných variant domů a jejich kombinací se zdrojem tepla pro vytápění a ohřev vody a rekuperaci je ekonomicky nejefektivnější varianta pasivního domu, na kterou stavitel čerpá v maximální možné míře dotaci z programu Nová zelená úsporám, instaluje do ní proto rekuperaci a jako zdroj tepla a ohřevu vody využije referenčního kondenzačního kotle.

S přihlédnutím k finanční bonitě stavebníka a jeho vyznávané filozofii bydlení a ekologii lze, ač s nižší ekonomickou efektivitou, u posuzovaného domu doporučit i varianty využívající tepelné čerpadlo a FVE.

Pokud výsledky podrobíme srovnání s předchozím výzkumem v tomto poli, jenž byl tématem kapitoly 2.6, Tywoniak, Smola, Centrum pasivního domu i Korejské výsledky se v prosté příp. diskontované době návratnosti pohybovali mezi 10 – 15 lety návratnosti investic do zvýšení stavebních standardů [1] [4] [32] [34]. Lze tedy konstatovat, že zjištěné závěry jsou v souladu s těmito předchozími výzkumy a proto je lze považovat za realisticky dosažitelné s přihlédnutím k použitých předpokladům ve výpočetním modelu.

## 7 ZÁVĚR

Práce se zabývá ekonomickým posouzením investice do zvýšení stavebního standardu z nízkoenergetického na pasivní, resp. aktivní standard výstavby rodinného domu a použití pokročilých technologií získávání tepla v něm. Nejen z důvodů zvyšujících se cen energií, ale i aktuálního stavu životního prostředí je zapotřebí v maximální možné míře energiemi šetřit. Protože budovy globálně na svůj provoz spotřebují téměř 40 % vyrobené energie, realizace těchto úspor pomocí snížení tepelných potřeb staveb má obrovský potenciál na zlepšení celé situace. Motivaci jednotlivců ke krokům vedoucím ke snížení nároků na energie jimi realizovaných staveb nejlépe zajistí, když pro ně tento krok bude ekonomicky zajímavý. A právě posouzení ekonomické efektivity těchto kroků je cílem této práce.

V první části je čtenář uveden do problematiky energeticky úsporných budov, jejich místo v evropské legislativě a rozdělení. Na toto navazují požadavky kladené na nízkoenergetickou výstavbu včetně zdůraznění základních bodů, kterými se tato výstavba odlišuje od běžné. Dále se tato část věnuje technologiím používaným při nízkoenergetické výstavbě, a to jak technologiím stavebním, tak pokročilým technologiím větrání, získávání tepla pro vytápění a ohřev teplé vody a v neposlední řadě technologiím získávání energie ze slunce. Zmíněna je také podpora – dotační program Nová zelená úsporám, která v ekonomice nízkoenergetických domů hraje nezanedbatelnou roli. V závěru první části je potom uvedena problematika metod posouzení ekonomické efektivity, nákladového oceňování a srovnání s předchozími výsledky výzkumu v této oblasti.

V analytické části práce jsou zkoumány tři typy posuzovaného rodinného domu - jeho nízkoenergetická varianta, pasivní varianta a aktivní varianta stavebního standardu, které byly pro účely této práce oceněny podrobnými položkovými rozpočty. Pro každou variantu byly spočteny její nároky na roční spotřebu tepla. Do všech variant jsou postupně umisťovány technologie řízeného větrání s rekuperací tepla, tepelné čerpadlo vzduch/voda a fotovoltaická elektrárna a je hodnocena ekonomická efektivity těchto dodatečných investic do stavebních změn mezi jednotlivými standardy a dodatečných investic do technologií proti úsporám, které tyto investice přinesou. Varianty jsou poté hodnoceny bez a s využitím dotace z programu Nová zelená úsporám a také bez a s přihlédnutím k rostoucím cenám energií.

Při posouzení zvýšení standardu stavebních změn bylo zjištěno, že zvýšení stavebního standardu posuzovaného domu z nízkoenergetického na pasivní je ekonomicky efektivní, zvýšení na standard aktivní již ne. Zde je potřeba podotknout, že práce si neklade za cíl zjistit optimum stavebního standardu, a proto nelze říct, že pasivní stavební varianta posuzovaného domu je

ve stavebním „optimu“, což je tématem na samostatný výzkum. Je však zřejmé, že u nízkoenergetické varianty se do kvalitnějších stavebních konstrukcí stavebníkovi vyplatí investovat, zatímco posuzovaná aktivní varianta je už za bodem zmiňovaného optima.

Umístění technologií řízeného větrání s rekuperací nebo tepelného čerpadla do nízkoenergetické varianty posuzovaného domu se prokázalo jako ekonomicky neefektivní. U ostatních dvou variant domu byla efektivita stavebních změn v kombinaci s řízeným větráním vždy ekonomicky efektivním krokem a se započítaným faktorem rostoucích cen toto platí i v kombinaci s tepelným čerpadlem. Investice do vlastní fotovoltaické elektrárny u pasivní a aktivní varianty vždy ekonomickou efektivitu nepatrně zvýšila, a tak její doporučení je otázkou spíše bonity stavebníka než čehokoliv jiného.

Nejvyšší vliv na ekonomickou efektivitu lze přiřknout podpoře z programu Nová zelená úsporám. Z posuzovaných variant domu se pro ni kvalifikovala varianta pasivní a aktivní a na základě spočtených výsledků využití jakékoliv z posuzovaných technologií dává ekonomický smysl. Ekonomicky nejefektivnější variantou za využití dotací, a to jak v pasivním, tak aktivním domě, poté je využití kondenzačního plynového kotle pro vytápění a ohřev teplé vody s řízeným větráním s rekuperací tepla. Toto je následováno variantou s tepelným čerpadlem vzduch/voda namísto kondenzačního kotle a na závěr, stále ekonomicky efektivní je varianta, kdy je k tepelnému čerpadlu přidána FVE.

Tímto posouzením ekonomické efektivnosti výstavby pasivních a aktivních domů byl naplněn cíl diplomové práce, avšak je potřeba mít na paměti, že výsledky této práce jsou spíše indikací trendu ekonomické efektivnosti jednotlivých posuzovaných variant z důvodu specificky zvoleného domu, změn ve stavebních standardech mezi variantami a umístěním specifických technologií v něm. Pro možnost vyvození obecnějších závěrů by byl zapotřebí mnohem větší rozsah posuzovaných staveb, ideálně již realizovaných a využívajících různé z posuzovaných technologií, vč. přístupu k reálným datům jejich spotřeb a nákladů. Protože komplexní zhodnocení nízkoenergetické výstavby tohoto druhu prozatím neexistuje, je toto jeden z možných směrů, kam by se měl výzkum této oblasti dále ubírat.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] TYWONIAK, Jan. *Nízkoenergetické domy: principy a příklady*. 1. vyd. Praha: Grada, 2005, 193 s. : il., plány (některé barev.). ISBN 80-247-1101-X.
- [2] DULAC, J., M. LAFRANCE, N. TRUDEAU a H. YAMADA. *Transition to Sustainable Buildings: Strategies and Opportunities to 2050*. 2013. ISBN 978-92-62-20241-2.
- [3] AUDENAERT, A. a B. VANKERCKHOVE. *Economic analysis of passive houses and low-energy houses compared with standard houses*. Energy Policy. 2007, 2008(36), 47-55.
- [4] SMOLA, Josef. *Stavba a užívání nízkoenergetických a pasivních domů*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 2011, 352 s. : il. ISBN 978-80-247-2995-4.
- [5] KABELE, Karel. *Změna evropské směrnice o energetické náročnosti budov (EPBD 3)*. TZB-info [online]. b.r. [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/17969-zmena-evropska-smernice-o-energeticke-narocnosti-budov-epbd-3>
- [6] TYWONIAK, Jan. *Nízkoenergetické domy 2: principy a příklady*. 1. vyd. Praha: Grada, 2008, 193 s. : il. (převážně barev.), plány ; 25 cm. ISBN 978-80-247-2061-6.
- [7] Škála energetické náročnosti domů. In: *EkoWATT [online]*. -: -, 2007 [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://ekowatt.cz/cz/informace/uspory-energie/zasady-vystavby-pasivnich-domu>
- [8] *Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/844 ze dne 30. května 2018, kterou se mění směrnice 2010/31/EU o energetické náročnosti budov a směrnice 2012/27/EU o energetické účinnosti*. In: . 2018, ročník 2018, PE/4/2018/REV/1. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=celex:32018L0844>
- [9] HRDLIČKA, Tomáš. *Specifika oceňování pasivních rodinných domů nákladovou metodou*. Vysoké učení technické v Brně. Ústav soudního inženýrství, 2016.

- [10] TYWONIAK, Jan. *Nízkoenergetické domy 3: nulové, pasivní a další*. 1. vyd. Praha: Grada, 2012, 195 s. : il., plány ;. ISBN 978-80-247-3832-1.
- [11] *What is a Passive House?. Passipedia - The Passive House Resource* [online]. b.r. [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: [https://passipedia.org/basics/what\\_is\\_a\\_passive\\_house](https://passipedia.org/basics/what_is_a_passive_house)
- [12] ČSN 73 0540-2 *Tepelná ochrana budov. Část 2, Požadavky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011, 53 s.
- [13] *Informační list Centra pasivního domu - Základní principy* [online]. b.r., , 6 [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://www.pasivnidomy.cz/webove-infolisty-01-zakladni-principy/f2521>
- [14] *CENTRUM PASIVNÍHO DOMU, . Úvod do navrhování pasivních a nulových domů: Výukový materiál pro kurz*. 2013.
- [15] WILLIAMS, Jeremy. *What is an active house?. The Earthbound Report* [online]. b.r. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <https://earthbound.report/2017/03/10/what-is-an-active-house/>
- [16] PREGIZER, Dieter. *Zásady pro stavbu pasivního domu*. 1. vyd. Praha: Grada, 2009, 126 s. : il. (převážně barev.), plány ; 25 cm. ISBN 978-80-247-2431-7.
- [17] HUMM, Othmar. *Nízkoenergetické domy*. 1. vyd. Praha: Grada, 1999, 353 s. : il. ISBN 80-7169-657-9.
- [18] VODIČKOVÁ, Erika. *Vše o nízkoenergetickém domě*. Bratislava: Jaga, 2009, 183 s. : barev. il. ; 28 cm. ISBN Brož.
- [19] POČINKOVÁ, Marcela a Danuše ČUPROVÁ. *Úsporný dům*. 2., aktualiz. vyd. Brno: ERA, 2008, x, 182 s. : il. (některé barev.) ; 21 cm. ISBN 978-80-7366-131-1.
- [20] *Zplynovací kotle ND Pyro I DAKON* [online]. b.r. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.dakon.cz/produkty/np-pyro/>
- [21] *Nová zelená úsporám - dotace pro úsporné bydlení* [online]. b.r. [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://www.novazelenausporam.cz/>

- [22] *MŽP podpořilo do konce roku 2018 z NZÚ projekty za 4,8 miliardy.* In: FINANCE.cz [online]. b.r. [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://www.finance.cz/522499-mzp-podporilo-do-konce-roku-2018-z-nzu-projekty-za-4-8-miliardy/>
- [23] *Podpořené žádosti NZÚ - Rodinné domy - 3. výzva. Nová zelená úsporám* [online]. b.r. [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://www.novazelenausporam.cz/dokumenty/detail/?id=1922>
- [24] *Roste počet certifikovaných i pasivních budov, daří se i výrobcům izolačních materiálů. Šance pro budovy* [online]. b.r. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://sanceprobudovy.cz/vyrocnitiskovka-2018/>
- [25] *Tab. 19 Dokončené domy podle energetické náročnosti: (kód: 200072-18).* In: Český statistický úřad [online]. b.r. [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: [https://www.czso.cz/documents/10180/84873805/bvzcr090618\\_19.xlsx/88e14464-6578-4f91-a34c-603a09ee7507?version=1.1](https://www.czso.cz/documents/10180/84873805/bvzcr090618_19.xlsx/88e14464-6578-4f91-a34c-603a09ee7507?version=1.1)
- [26] *KORYTÁROVÁ, Jana. CV05 Investování – modul M01.* Studijní opora pro studijní programy s kombinovanou formou studia. Brno, 2009.
- [27] *REJNUŠ, Oldřich. Peněžní ekonomie: (finanční trhy).* Vyd. 2., aktualiz. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-3235-7.
- [28] *VALACH, Josef. Investiční rozhodování a dlouhodobé financování.* 3., přeprac. a rozš. vyd. Praha: Ekopress, 2010, 465 s. : grafy, tab. ISBN 978-80-86929-71-2.
- [29] *ROSS, Westerfield. Fundamentals of Corporate Finance: Sixth Canadian Edition* COM240/COM371. Custom Publication for University of Victoria. Kanada: McGraw Hill Custom Publishing, 2007. ISBN 978-0-07-073990-1.
- [30] *The appraisal of real estate. 14th ed.* Chicago: Appraisal Institute, 2013, xii, 847 s. : il. ISBN 978-1-935328-38-4.
- [31] *BRADÁČ, Albert. Teorie a praxe oceňování nemovitých věcí.* I. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o, 2016, 790 stran : ilustrace ; 30 cm. ISBN 978-80-7204-930-1.

- [32] TYPLTOVÁ, Hana a Alena POVOLNÁ. *PASIVNÍ DOMY*. Pasivní domy 2012 = [Pasívne domy 2012]. 1. vyd. Brno: Centrum pasivního domu, 2012, 342 s. : il. ISBN 978-80-904739-2-8.
- [33] GALVIN, Ray. *Are passive houses economically viable? A reality-based, subjectivist approach to cost-benefit analyses*. Energy and Buildings. 2014, 2014(80), 149-157.
- [34] SHIM, Jisoo, Doosam SONG a Joowook KIM. The Economic Feasibility of Passive Houses in Korea. *Sustainability* [online]. Center for Built Environment, Sungkyunkwan University, 2018, **2018**(10) [cit. 2019-05-22].
- [35] MAJER, Filip. *Novostavba pasivního domu*. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební, 2014.
- [36] Slavona - modelové řady oken. *Slavona* [online]. b.r. [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://www.slavona.cz/drevena-eurookna/#srovnacitabulka>
- [37] *Rekuperační jednotka VENUS Comfort, 700m3/h, AC motory, přehřev, filtr M5/G4*. Luftuj.cz [online]. b.r. [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://www.luftuj.cz/p/rekuperacni-jednotka-venus-comfort-700m3-h-ac-predehrev/>
- [38] *Rekuperační jednotka VENUS Comfort, 700m3/h, AC, přehřev*. Luftuj.cz [online]. b.r. [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://www.luftuj.cz/gallery/products/middle/2294.jpg>
- [39] *Buderus - doporučené ceny kotlů pro byty a rodinné domy*. Buderus.cz [online]. b.r. [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: [https://www.buderus.com/cz/media/country\\_pool/service/price\\_list/2019/new\\_buderus\\_cenik\\_rd\\_06\\_03\\_2019\\_web.pdf](https://www.buderus.com/cz/media/country_pool/service/price_list/2019/new_buderus_cenik_rd_06_03_2019_web.pdf)
- [40] *Buderus Logamax plus GB062*. Buderus.cz [online]. b.r. [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: [https://www.buderus.com/ocsmedia/optimized/372x372/o347906v295\\_666586\\_p1\\_Logamax\\_plus\\_GB062.jpg](https://www.buderus.com/ocsmedia/optimized/372x372/o347906v295_666586_p1_Logamax_plus_GB062.jpg)
- [41] *Technický list IVT AIR X. Tepelná čerpadla IVT* [online]. b.r. [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: [https://www.cerpadla-ivt.cz/?download=technicky\\_list\\_ivt\\_air\\_x-q.pdf](https://www.cerpadla-ivt.cz/?download=technicky_list_ivt_air_x-q.pdf)

- [42] *Ceník vzduch/voda IVT AIR X. Tepelná čerpadla IVT* [online]. b.r. [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: [https://www.cerpadla-ivt.cz/?download=/\\_ceny-tc/akcni\\_cenik\\_air\\_x\\_2019-3.pdf](https://www.cerpadla-ivt.cz/?download=/_ceny-tc/akcni_cenik_air_x_2019-3.pdf)
- [43] *Tepelné čerpadlo vzduch/voda AIR X. In: Tepelná čerpadla IVT* [online]. b.r. [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: [https://www.cerpadla-ivt.cz/img/\\_/air-x/tepelne-cerpadlo-vzduch-voda-air-x.jpg](https://www.cerpadla-ivt.cz/img/_/air-x/tepelne-cerpadlo-vzduch-voda-air-x.jpg)
- [44] *Solární elektrárna 4,5 kWp od 129 000 Kč. In: Solární kalkulačka* [online]. b.r. [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <http://www.solarnikalkulacka.cz/elektrarna-4/t1054>
- [45] *Porovnání nákladů na vytápění, teplou vodu a elektrickou energii* [online]. b.r. [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/138-porovnani-nakladu-na-vytapani-teplou-vodu-a-elektrickou-energii-tzb-info>
- [46] *Ceny paliv a energií. Tzbinfo* [online]. b.r. [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energii>
- [47] *Fincentrum Hypoindex - vývoj. Hypoindex.cz* [online]. b.r. [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://www.hypoindex.cz/hypoindex-vyvoj/>

## SEZNAM TABULEK

Tab. č. 1 – Základní rozdělení budov podle potřeby tepla na vytápění a potřeby energie na provoz [6].....	18
Tab. č. 2 – Požadavky na pasivní rodinný dům [12].....	22
Tab. č. 3 – Porovnání metodik hodnocení PD [14].....	23
Tab. č. 4 – Požadované parametry budovy v oblasti podpory B [21].....	32
Tab. č. 5 – Požadované parametry budovy v oblasti podpory B [21].....	32
Tab. č. 6 – Cena stavebního objektu (kalkulační vzorec) [30].....	38
Tab. č. 7 – Detail stavebních rozdílů mezi posuzovanými variantami a jejich ceny [vlastní].....	47
Tab. č. 8 – Tepelná čerpadla vzduch/voda pro jednotlivé posuzované varianty domu [vlastní].....	50
Tab. č. 9 – Specifikace fotovoltaické elektrárny [43].....	52
Tab. č. 10 – Srovnání ročních nákladů spotřeby energie posuzovaných variant domů [vlastní].....	54
Tab. č. 11 – Předpoklady pro provedené výpočty [vlastní].....	56
Tab. č. 12 NED - Posouzení přidání rekuperace při stabilních cenách energií [vlastní].....	58
Tab. č. 13 NED - Posouzení přidání rekuperace při rostoucích cenách energií [vlastní].....	59
Tab. č. 14 NED - Posouzení použití TČ vzduch/voda místo kondenzačního kotle bez rekuperace při stabilních cenách energií [vlastní].....	59
Tab. č. 15 NED - Posouzení použití TČ vzduch/voda místo kondenzačního kotle bez rekuperace při rostoucích cenách energií [vlastní].....	59
Tab. č. 16 NED - Posouzení použití TČ vzduch/voda místo kondenzačního kotle a rekuperace při stabilních cenách energií [vlastní].....	60
Tab. č. 17 NED - Posouzení použití TČ vzduch/voda místo kondenzačního kotle a rekuperace při rostoucích cenách energií [vlastní].....	60
Tab. č. 18 PD - Posouzení POUZE stavebních změn (NED vč. rekuperace -> PD vč. rekuperace) při stabilních cenách energií [vlastní].....	62
Tab. č. 19 PD - Posouzení POUZE stavebních změn (NED vč. rekuperace -> PD vč. rekuperace) při rostoucích cenách energií [vlastní].....	62
Tab. č. 20 PD - Posouzení stavebních změn (NED -> PD) a přidání rekuperace při stabilních cenách energií [vlastní].....	63
Tab. č. 21 PD - Posouzení stavebních změn (NED -> PD) a přidání rekuperace při rostoucích cenách energií [vlastní].....	63
Tab. č. 22 PD - Posouzení stavebních změn (NED -> PD), přidání rekuperace při stabilních cenách energií s využitím dotací [vlastní].....	64
Tab. č. 23 PD - Posouzení stavebních změn (NED -> PD), přidání rekuperace při rostoucích cenách energií s využitím dotací [vlastní].....	64
Tab. č. 24 PD - Posouzení stavebních změn (NED -> PD), přidání rekuperace a použití TČ vzduch/voda místo kondenzačního kotle při stabilních cenách energií [vlastní].....	65
Tab. č. 25 PD - Posouzení stavebních změn (NED -> PD), přidání rekuperace a použití TČ vzduch/voda místo kondenzačního kotle při rostoucích cenách energií [vlastní].....	65

Tab. č. 26 PD - Posouzení stavebních změn (NED -> PD), přidání rekuperace a použití TČ vzduch/voda místo kondenzačního kotle při stabilních cenách energií s využitím dotací [vlastní]	66
Tab. č. 27 PD - Posouzení stavebních změn (NED -> PD), přidání rekuperace a použití TČ vzduch/voda místo kondenzačního kotle při stabilních cenách energií s využitím dotací [vlastní]	66
Tab. č. 28 PD - Posouzení stavebních změn (NED -> PD), přidání rekuperace, použití TČ vzduch/voda místo kondenzačního kotle a použití FVE při stabilních cenách energií [vlastní]	67
Tab. č. 29 PD - Posouzení stavebních změn (NED -> PD), přidání rekuperace, použití TČ vzduch/voda místo kondenzačního kotle a použití FVE při rostoucích cenách energií [vlastní]	67
Tab. č. 30 PD - Posouzení stavebních změn (NED -> PD), přidání rekuperace, použití TČ vzduch/voda místo kondenzačního kotle a použití FVE při stabilních cenách energií s dotací [vlastní]	68
Tab. č. 31 PD - Posouzení stavebních změn (NED -> PD), přidání rekuperace, použití TČ vzduch/voda místo kondenzačního kotle a použití FVE při rostoucích cenách energií s dotací [vlastní]	68
Tab. č. 32 AD - Posouzení POUZE stavebních změn (NED vč. rekuperace -> AD vč. rekuperace) při stabilních cenách energií [vlastní]	70
Tab. č. 33 AD - Posouzení POUZE stavebních změn (NED vč. rekuperace -> AD vč. rekuperace) při rostoucích cenách energií [vlastní]	70
Tab. č. 34 AD - Posouzení POUZE stavebních změn (PD vč. rekuperace -> AD vč. rekuperace) při stabilních cenách energií [vlastní]	71
Tab. č. 35 AD - Posouzení POUZE stavebních změn (PD vč. rekuperace -> AD vč. rekuperace) při rostoucích cenách energií [vlastní]	71
Tab. č. 36 AD - Posouzení stavebních změn (NED -> AD) a přidání rekuperace při stabilních cenách energií s dotací [vlastní]	72
Tab. č. 37 AD - Posouzení stavebních změn (NED -> AD) a přidání rekuperace při rostoucích cenách energií [vlastní]	72
Tab. č. 38 AD - Posouzení stavebních změn (NED -> AD) a přidání rekuperace při stabilních cenách energií s dotací [vlastní]	73
Tab. č. 39 AD - Posouzení stavebních změn (NED -> AD) a přidání rekuperace při rostoucích cenách energií [vlastní]	73
Tab. č. 40 AD - Posouzení stavebních změn (NED -> AD), přidání rekuperace a použití TČ vzduch/voda místo kondenzačního kotle při stabilních cenách energií [vlastní]	74
Tab. č. 41 AD - Posouzení stavebních změn (NED -> AD), přidání rekuperace a použití TČ vzduch/voda místo kondenzačního kotle při rostoucích cenách energií [vlastní]	74
Tab. č. 42 AD - Posouzení stavebních změn (NED -> AD), přidání rekuperace a použití TČ vzduch/voda místo kondenzačního kotle při stabilních cenách energií s dotací [vlastní]	75
Tab. č. 43 AD - Posouzení stavebních změn (NED -> AD), přidání rekuperace a použití TČ vzduch/voda místo kondenzačního kotle při rostoucích cenách energií s dotací [vlastní]	75
Tab. č. 44 AD - Posouzení stavebních změn (NED -> AD), přidání rekuperace, použití TČ vzduch/voda místo kondenzačního kotle a použití FVE při stabilních cenách energií [vlastní]	76
Tab. č. 45 AD - Posouzení stavebních změn (NED -> AD), přidání rekuperace, použití TČ vzduch/voda místo kondenzačního kotle a použití FVE při rostoucích cenách energií [vlastní]	76
Tab. č. 46 AD - Posouzení stavebních změn (NED -> AD), přidání rekuperace, použití TČ vzduch/voda místo kondenzačního kotle a použití FVE při stabilních cenách energií [vlastní]	77

Tab. č. 47 AD - Posouzení stavebních změn (NED -> AD), přidání rekuperace, použití TČ vzduch/voda místo kondenzačního kotle a použití FVE při rostoucích cenách energií [vlastní].....	77
Tab. č. 48 Porovnání výsledků vnitřních výnosových procent všech variant [vlastní].....	79

## SEZNAM GRAFŮ

Graf č. 1 – Srovnání běžně používaných energetických standardů v ČR [9].....	19
Graf č. 2 – Dokončené rodinné domy podle energetické náročnosti [24].....	33
Graf č. 3 – Ceny posuzovaných variant domů a rozdíly v nich dle stavebních rozpočtů [vlastní] ...	46
Graf č. 4 – Historický vývoj cen elektřiny a plynu [vlastní] .....	55
Graf č. 5 – Vyhodnocení posuzovaných změn a přidání technologií u NED [vlastní] .....	80
Graf č. 6 – Vyhodnocení posuzovaných změn a přidání technologií u PD [vlastní].....	82
Graf č. 7 – Vyhodnocení posuzovaných změn a přidání technologií u AD [vlastní].....	84
Graf č. 8 – Vyhodnocení stavebních změn z NED na PD a AD [vlastní] .....	86
Graf č. 9 – Vyhodnocení stavebních změn u PD a AD a přidání technologií [vlastní].....	87
Graf č. 10 – Vyhodnocení stavebních změn u PD a AD a přidání technologií s dotacemi [vlastní]	88

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. č. 1 – Rozdělení domů dle jejich roční potřeby energie [7] .....	18
Obr. č. 2 – Posuzovaný objekt - pohled jihozápadní [34].....	42
Obr. č. 3 – Posuzovaný objekt - pohled severozápadní [34].....	42
Obr. č. 4 – Posuzovaný objekt - pohled severovýchodní [34].....	43
Obr. č. 5 – Posuzovaný objekt - pohled jihovýchodní [34].....	43
Obr. č. 6 – Posuzovaný objekt - studie dispozice přízemí [34] .....	44
Obr. č. 7 – Posuzovaný objekt - studie dispozice podkroví [34].....	45
Obr. č. 8 – Rekuperační jednotka VENUS Comfort, 700m <sup>3</sup> /h, AC, předehřev [37].....	49
Obr. č. 9 – Buderus Logamax plus GB062 [39].....	50
Obr. č. 10 – Tepelné čerpadlo vzduch/voda IVT AIR X – venkovní a vnitřní jednotka [42].....	51

## SEZNAM VZORCŮ

(1) Prostá doba návratnosti .....	35
(2) Diskontovaná doba návratnosti .....	35
(3) Čistá současná hodnota .....	36
(4) Index rentability .....	36
(5) Vnitřní výnosové procento .....	37

## SEZNAM ZKRATEK

AD.....	aktivní dům
EU .....	Evropská unie
ENB.....	energetická náročnost budovy
FVE.....	fotovoltaická elektrárna
NED ....	nízkoenergetický dům
PD .....	pasivní dům
TČ.....	tepelné čerpadlo
VVP .....	vnitřní výnosové procento

## SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha č. 1: PD - Položkový rozpočet stavby
- Příloha č. 2: NED - Položkový rozpočet stavby
- Příloha č. 3: AD - Položkový rozpočet stavby
- Příloha č. 4: PD - Výpočet ENB a průměrného součinitele prostupu tepla
- Příloha č. 5: NED bez rekuperace - Výpočet ENB a průměrného součinitele prostupu tepla
- Příloha č. 6: NED s rekuperací - Výpočet ENB a průměrného součinitele prostupu tepla
- Příloha č. 7: AD - Výpočet ENB a průměrného součinitele prostupu tepla
- Příloha č. 8: PD - Roční spotřeby a náklady vč. ohřevu vody
- Příloha č. 9: NED bez rekuperace - Roční spotřeby a náklady vč. ohřevu vody
- Příloha č. 10: NED s rekuperací - Roční spotřeby a náklady vč. ohřevu vody
- Příloha č. 11: AD - Roční spotřeby a náklady vč. ohřevu vody dle technologií pomocí TZBinfo
- Příloha č. 12: Rekuperace VENUS comfort a kotel Buderus - ceny
- Příloha č. 13: Tepelná čerpadla IVT AIR\_X - specifikace a ceník
- Příloha č. 14: FVE - výpočet korekce efektivity pro lokalitu a instalaci
- Příloha č. 15: Izolace ICYNENE - cenová nabídka
- Příloha č. 16: Okna Slavona - cenová nabídka
- Příloha č. 17: Vstupní data pro výpočty
- Příloha č. 18: Výpočty ekonomické efektivity pro NED
- Příloha č. 19: Výpočty ekonomické efektivity pro PD
- Příloha č. 20: Výpočty ekonomické efektivity pro AD
- Příloha č. 21: Průměrný růst cen elektřiny a plynu
- Příloha č. 22: Výkresy posuzovaného RD