

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA STROJNÍ  
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

---

**Otopná soustava u budov s téměř  
nulovou potřebou energie**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Vrbský** Jméno: **Ladislav** Osobní číslo: **419779**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávací katedra/ústav: **Ústav techniky prostředí**  
Studijní program: **Inteligentní budovy**  
Studijní obor: **bez oboru**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Otopná soustava u budov s téměř nulovou potřebou energie**

Název diplomové práce anglicky:

**Heating System for Nearly Zero-Energy Buildings**

Pokyny pro vypracování:

Studie energetické náročnosti vytápění a přípravy teplé vody u třech rodinných domů, které splňují podmínky definice budovy s nízkou potřebou tepla. Rešerše využití možných zdrojů tepla a jejich vzájemné kombinace ve vazbě na otopnou plochu a regulaci.

Seznam doporučené literatury:

- 1) ČSN 73 0540-2: Tepelná ochrana budov ? Část 2: Požadavky. Český normalizační institut. 2011.
- 2) ČSN EN 12 831: Tepelné soustavy v budovách - Výpočet tepelného výkonu. Český normalizační institut. 2005.
- 3) ČSN EN ISO 13 790: Energetická náročnost budov - Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení. Český normalizační institut. 2009.
- 4) Vyhláška č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

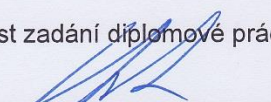
**Ing. Roman Vavříčka, Ph.D., ústav techniky prostředí FS**

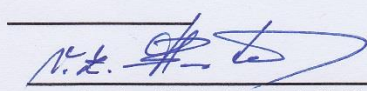
Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

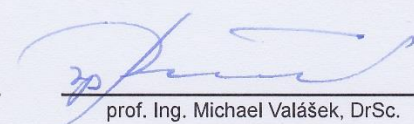
Datum zadání diplomové práce: **26.04.2018**

Termín odevzdání diplomové práce: **04.06.2018**

Platnost zadání diplomové práce:

  
Ing. Roman Vavříčka, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

  
doc. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

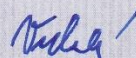
  
prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

26.4.2018

Datum převzetí zadání



Podpis studenta

## **SOUHRN**

První část práce uvádí a popisuje základní standardy energetické náročnosti budov. Dále je provedena rešerše vybraných zdrojů vhodných pro budovy s nízkou potřebou energie. V praktické části je řešena energetická náročnost tří rodinných domů. Každý objekt je posuzován ve čtyřech definovaných variantách, které jsou následně hodnoceny z hlediska vybraných standardů energetické náročnosti budov. Poté jsou navrženy vhodné zdroje tepla a jejich nezbytné součásti pro všechny varianty rodinných domů. V závěrečné části je vyčísleno navýšení investičních výdajů jednotlivých variant rodinných domů vůči základní variantě, investiční výdaje zdrojů tepla a roční výdaje na provoz všech jejich kombinací. Na závěr jsou jednotlivé varianty mezi sebou porovnávány z hlediska reálné doby návratnosti.

## **SUMMARY**

The first part of this thesis sums up the basic standards of building energy performance. The next chapter describes selected heat sources suitable for low-energy buildings. Practical part calculates energy performances of three family houses in four specified variants that are later evaluated based on chosen energy performance standards. Heat sources with basic components suitable for all house variant are proposed. In the final part an increase of investment expenditures of individual variants of family houses compared to the basic variant, investment expenditures of heat sources and annual expenses for operation of heat sources are calculated. Finally, the individual variants are compared with each other in terms of the real payback period.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem: „Otopná soustava u budov s téměř nulovou potřebou energie“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Romana Vavříčky, PhD., s použitím literatury, uvedené na konci mé diplomové práce v seznamu použité literatury.

V Praze 11. 06. 2018

Bc. Ladislav Vrbský

## **Poděkování**

Především bych rád poděkoval Ing. Romanu Vavříčkovi, Ph.D. za vedení mé diplomové práce, čas, který mi při jejím vypracovávání věnoval, pomoc při výběru tématu této diplomové práce a za cenné rady. Dále bych rád poděkoval mé rodině a přítelkyni za podporu při práci na ní.

Děkuji

**Obsah**

Soupis použitého značení .....	9
Seznam zkratek .....	11
Úvod.....	12
1. Vývoj a současnost nízkoenergetických budov .....	13
1.1. Historie .....	13
1.2. Současnost v Evropě a v ČR .....	13
2. Standardy energetické náročnosti .....	14
2.1. Nízkoenergetický standard .....	14
2.2. Pasivní standard.....	15
2.3. Standardy s „nulou“ .....	17
2.3.1. Energeticky nulová budova.....	17
2.3.2. Budova blízka energeticky nulové budově .....	17
2.3.3. Energeticky nezávislá budova.....	18
2.4. Budovy s téměř nulovou potřebou energie.....	18
3. Zdroje tepla .....	20
3.1. Plynový kondenzační kotel .....	20
3.2. Solární kolektory .....	22
3.3. Tepelné čerpadlo .....	23
3.4. Kotel na pelety.....	25
3.5. Regulace zdrojů tepla .....	27
3.5.1. Regulace podle vnitřní teploty vzduchu.....	27
3.5.2. Regulace podle venkovní teploty .....	28
3.5.3. Ekvitermní regulace se zpětnou vazbou na vnitřní teplotu .....	29
3.5.4. Regulace podle zátěže .....	30
3.5.5. Ekvitermní regulace s vlivem zátěže.....	30
4. Zvolené rodinné domy .....	30
4.1. Absolut .....	31
4.2. Orlando .....	31
4.3. Pasiv 20 .....	32
4.4. Umístění a orientace domů.....	32

5.	Varianty jednotlivých domů .....	33
5.1.	Stavební konstrukce .....	33
5.1.1.	Tepelná izolace.....	34
5.2.	Tepelné mosty .....	34
5.3.	Okna a dveře.....	35
5.4.	Rekuperace tepla .....	36
5.5.	Shrnutí vlastností variant.....	36
6.	Studie energetické náročnosti domů.....	37
6.1.	Tepelné ztráty .....	37
6.2.	Potřeba tepla na vytápění .....	39
6.3.	Příprava teplé vody.....	41
6.4.	Energetická náročnost a hodnocení domů.....	42
6.4.1.	Dům Absolut .....	43
6.4.2.	Dům Orlando.....	44
6.4.3.	Dům Pasiv .....	46
6.4.4.	Vyhodnocení variant domů .....	47
7.	Zvolené zdroje tepla.....	48
7.1.	Plynový kondenzační kotel .....	48
7.2.	Plynový kondenzační kotel a solární kolektory .....	50
7.3.	Tepelné čerpadlo vzduch-voda.....	52
7.4.	Kotel na pelety.....	54
7.5.	Kotel na tuhá paliva a solární kolektory.....	55
8.	Ekonomické porovnání z hlediska reálné doby návratnosti .....	56
8.1.	Investiční a provozní výdaje jednotlivých zdrojů tepla v kombinaci se všemi variantami rodinných domů.....	57
8.1.1.	Domy s plynovým kondenzačním kotlem .....	58
8.1.2.	Domy s plynovým kotlem a solárními kolektory.....	59
8.1.3.	Domy s tepelným čerpadlem.....	60
8.1.4.	Domy s kotlem na pelety.....	61
8.1.5.	Domy s kotlem na pelety a solárními kolektory .....	62
8.1.6.	Vyhodnocení investic do kvality stavby u jednotlivých zdrojů tepla. .	63

8.2.	Reálná doba návratnosti zdrojů tepla u variant 1 a 2 rodinných domů .....	63
8.2.1.	Reálné doby návratnosti zdrojů tepla s variantou domů 1 .....	64
8.2.2.	Reálné doby návratnosti zdrojů tepla s variantou domů 2 .....	65
8.2.3.	Porovnání celkových nákladů všech zdrojů tepla u variant domů 1 a 2 66	
8.2.4.	Vyhodnocení investic do zdrojů tepla u variant 1 a 2 rodinných domů 67	
9.	Závěr .....	68
9.1.	Doporučení investorovi .....	69
10.	Použitá literatura .....	71
11.	Seznam příloh .....	77
11.1.	Přílohy uvedené na konci práce.....	77
11.2.	Přílohy na přiloženém CD .....	77



## SOUPIS POUŽITÉHO ZNAČENÍ

ZNAČKA	VELIČINA	JEDNOTKA
$A_k$	Plocha stavební části (k)	[m <sup>2</sup> ]
$COP$	Topný faktor	[-]
$E_A$	Měrná potřeba tepla na vytápění	[kWh/m <sup>2</sup> .rok]
$E_{dod}$	Potřeba elektrické energie záložního zdroje (např. topné patrony)	[kWh]
$E_{pom}$	Potřeba pomocné elektrické energie pro oběhová čerpadla, regulaci a další pomocná zařízení	[kWh]
$E_{T\check{c}}$	Potřeba energie pro pohon tepelného čerpadla	[kWh]
$G$	Celkové sluneční ozáření pro daný sklon a orientaci	[W/m <sup>2</sup> ]
$H$	Měrná tepelná ztráta budovy	[W/K]
$H_{FL}$	Měrná ztráta vztažená k podlahové ploše	[W/m <sup>2</sup> ]
$H_P$	Výhřevnost pelet	[kJ/kg]
$H_{T,ie}$	Součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru (i) do venkovního prostředí (e)	[W/K]
$H_{T,ig}$	Součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru (i) do zeminy (g) v ustáleném stavu	[W/K]
$H_{T,ij}$	Součinitel tepelné ztráty z vytápěného prostoru (i) do sousedního prostoru (j) vytápěného na výrazně jinou teplotu	[W/K]
$H_{T,iue}$	Součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru (i) do venkovního prostředí (e) nevytápěným prostorem (u)	[W/K]
$H_{V,i}$	Součinitel tepelné ztráty větráním	[W/K]
$K$	Faktor vlivu prostorové teploty	[-]
$PE_A$	Měrná potřeba primární energie	[kWh/m <sup>2</sup> .rok]
$P_{el}$	Elektrický příkon kompresoru tepelného čerpadla	[kW]
$Q_{T\check{c}}$	Teplo dodané tepelným čerpadlem pro danou aplikaci	[kWh]
$Q_c$	Skutečná roční potřeba tepla na vytápění a ohřev teplé vody	[kWh/rok]
$Q_H$	Potřeba tepla na vytápění	[kWh/měsíc]
$Q_G$	Celkové tepelné zisky	[kWh/měsíc]
$Q_i$	Vnitřní tepelné zisky	[kWh/měsíc]
$Q_L$	Celková potřeba tepla	[kWh/měsíc]
$Q_s$	Solární tepelné zisky	[kWh/měsíc]
$Q_{TV,d}$	Denní potřeba tepla na přípravu teplé vody	[kWh/den]

ZNAČKA	VELIČINA	JEDNOTKA
$Q_{TV,r}$	Roční potřeba tepla na ohřev teplé vody	[kWh/rok]
$Q_{VYT,r}$	Roční potřeba tepla na vytápění	[kWh/rok]
$SPF$	Sezónní topný faktor tepelného čerpadla	[-]
$U$	Součinitel prostupu tepla	[W/m <sup>2</sup> .K]
$U_{em}$	Průměrný součinitel prostupu tepla	[W/m <sup>2</sup> .K]
$U_k$	Součinitel prostupu tepla stavební částí (k)	[W/m <sup>2</sup> .K]
$U_{N,20}$	Požadované hodnoty součinitele prostupu tepla	[W/m <sup>2</sup> .K]
$U_{pas,20}$	Doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla pro pasivní budovy	[W/m <sup>2</sup> .K]
$U_{rec,20}$	Doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla	[W/m <sup>2</sup> .K]
$U_w$	Součinitel prostupu tepla oknem	[W/m <sup>2</sup> .K]
$V_{TV,d}$	Průměrná denní potřeba teplé vody	[m <sup>3</sup> /den]
$\dot{V}_i$	Výměna vzduchu ve vytápěném prostoru (i)	[m <sup>3</sup> /s]
$a_1$	Lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru	[W/m <sup>2</sup> .K]
$a_2$	Kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru	[W/m <sup>2</sup> .K <sup>2</sup> ]
$c$	Měrná tepelná kapacita vody	[J/kg.K]
$e_k$	Korekční činitel prostupu tepla plochou stavební konstrukce	[-]
$e_l$	Korekční činitel prostupu tepla lineárními tepelnými mosty	[-]
$f_R$	Redukční činitel požadované základní hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla	[-]
$l_l$	Délka lineárních tepelných mostů (l) mezi vnitřním a venkovním prostředím	[m]
$m$	Spotřeba pelet	[kg/s]
$n$	Intenzita výměny vzduchu v místnosti	[1/h]
$n_{50}$	Neprůvzdušnost obálky budovy	[1/h]
$t$	Délka výpočtového intervalu	[h]
$t_e$	Teplota venkovního vzduchu	[°C]
$t_{i,w}$	Žádaná teplota v prostoru	[°C]
$t_{i,wk}$	Korigovaná žádaná teplota v prostoru	[°C]
$t_{i,x}$	Aktuální teplota v prostoru	[°C]
$t_m$	Střední teplota teplotonosné kapaliny v kolektoru	[°C]
$t_{sv}$	Teplota studené vody	[°C]
$t_{lv}$	Teplota teplé vody	[°C]

ZNAČKA	VELIČINA	JEDNOTKA
$z$	Koeficient tepelné ztráty přípravy TV	[-]
$\Delta e_{p,R}$	Snížení hodnoty neobnovitelné primární energie stanovené pro referenční budovu	[%]
$\eta$	Faktor využitelnosti tepelných zisků pro vytápění	[-]
$\eta_K$	Účinnost zdroje tepla	[-]
$\eta_{op}$	Optická účinnost (účinnost kolektoru při nulovém teplotním rozdílu)	[-]
$\eta_O$	Účinnost regulace	[-]
$\eta_p$	Účinnost kotle	[-]
$\eta_R$	Účinnost rozvodu tepelné energie	[-]
$\eta_{sk}$	Účinnost solárního kolektoru	[-]
$\theta_a$	Teplota vzduchu v obytné místnosti	[°C]
$\theta_e$	Venkovní výpočtová teplota	[°C]
$\theta_i$	Požadovaná vnitřní teplota	[°C]
$\theta_{int,i}$	Vnitřní výpočtová teplota vytápěného prostoru (i)	[°C]
$\rho$	Hustota vody	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\psi_l$	Činitel lineárního prostupu tepla lineárního tep. mostu	[W/m.K]
$\Phi_k$	Tepelný výkon tepelného čerpadla	[kW]
$\Phi_{kp}$	Tepelný výkon kotle na pelety	[kW]
$\Phi_i$	Celková tepelná ztráta vytápěného prostoru (i)	[W]
$\Phi_{T,i}$	Tepelná ztráta prostupem vytápěného prostoru (i)	[W]
$\Phi_{V,i}$	Tepelná ztráta větráním vytápěného prostoru (i)	[W]

### SEZNAM ZKRATEK

ZKRATKA	VÝZNAM
NP	Nadzemní podlaží
NZEB	Budova s téměř nulovou potřebou energie
PHPP	Passive House Planning Package
TV	Teplá voda
TČ	Tepelné čerpadlo

## ÚVOD

Moderní společnost nevnímá dostatečně důsledky svého konzumního způsobu života. Pokud se zásadně nezmění způsob, jakým využíváme zdroje energie, může to mít negativní vliv na prostředí, ve kterém budou žít příští generace. Konzumujeme více energie, než je nám planeta schopna v dlouhodobém horizontu poskytnout a zásoba neobnovitelných zdrojů energie se bude postupně zmenšovat. Při používání fosilních, neobnovitelných zdrojů energie jsou navíc do ovzduší vypuštěny skleníkové plyny, které prokazatelně mění klima na naší planetě. Nejvíce zdrojů v rámci Evropské unie spotřebovávají právě budovy (40 %), dále doprava (33%) a průmysl (27%) [1].

Díky úsporným a dobře navrženým budovám bychom mohli tuto závislost částečně snížit. Pojmy jako nízkoenergetický či pasivní dům, tedy budovy s nízkou energetickou náročností jsou dnes již veřejnosti povědomé a zájem o ně pomalu roste. Hlavním kritériem při rozhodování o budoucí koncepci stavby je také finanční stránka. Investoři se stále více věnují otázce snížení nákladů na provoz budov s ohledem na návratnost této investice.

Tato práce v první části poskytuje přehled energetických standardů dle českých norem a legislativy a definuje pojem budova s nízkou potřebou energie. Dále jsou uvedeny vybrané moderní a ekologické zdroje vhodné pro budovy s nízkou potřebou energie a jejich vlastnosti.

V praktické část je studována energetická náročnost tří různých rodinných domů ve čtyřech definovaných variantách. Varianty se odlišují tepelně technickými vlastnostmi stavebních konstrukcí, kvalitou oken, uvažovaným vlivem tepelných mostů či užitím rekuperace tepla. Tyto varianty jsou hodnoceny z hlediska vybraných standardů energetické náročnosti a pro každou z variant je zároveň vyčísleno navýšení investičních výdajů oproti základní variantě. Následně je u každé z dvanácti variant uvažováno pět konkrétních zdrojů tepla, přičemž jsou pokaždé vyčísleny investiční a provozní výdaje.

V závěrečné části jsou hodnoceny různé míry investic do kvality domu a zdrojů tepla a je sledována reálná doba návratnosti různých investic díky úspoře na provozních výdajích. Touto problematikou je důležité se zabývat trvale, vzhledem k tomu, že kvalitně navržené a postavené budovy, které dnes stavíme, ovlivní i příští generace. Vždy však při našem rozhodování budou finance hrát zřejmě největší roli.

## **1. VÝVOJ A SOUČASNOST NÍZKOENERGETICKÝCH BUDOV**

### **1.1. Historie**

Moderní svět si svou závislost na ropě a energii uvědomil díky prvním ropným krizím v sedmdesátých letech. Nejvíce byly krizí zasaženy Spojené státy americké, jakožto největší světový spotřebitel energie a ropy. To mělo za následek zvýšený tlak na úspory energie.

V oblasti stavebnictví, které je bezesporu jedním z největších spotřebitelů energie se začalo experimentovat s výstavbou úsporných domů se zaměřením na využití solární energie.

Ve spojených státech začaly vznikat stavby spoléhající se na energii získanou prosklenými stěnami nebo ze solárních kolektorů ukládanou ve velkých akumulacích zásobnicích. Charakteristické pro tyto první nízkoenergetické domy byla skutečnost, že kladly důraz na výkonný zdroj tepla a podceňovali izolační schopnosti stavby [2]. To způsobovalo velké ztráty tepelné energie zejména ve dnech s velkou oblačností nebo v noci.

Evropa byla zasažena ropnými krizemi méně. Nízkoenergetické budovy se zde však nadále rozvíjely. Základem těchto úporných staveb byly spíše tradiční materiály a kvalitní detail a podstatně vyšší životnost staveb při porovnání s USA. Postupem času vývoj dospěl k nízkoenergetickým stavbám druhé generace, které již měli zvýšenou tepelnou izolaci a kvalitní, těsná okna. Začínali se také využívat nové, dnes běžně dostupné technologie jako solární kolektory, tepelná čerpadla, větrací jednotky s rekuperací. Dalším vývojovým stupněm nízkoenergetický domů se staly pasivní domy, které si ideálně měly pro vytápění vystačit pouze s pasivními zisky vnějšími ze slunečního záření a vnitřními z provozu domu. Pasivní dům definoval Dr. W. Feist, tím že v roce 1991 v německém Darmstadtu postavil první pasivní dům. Vývojem těchto domů se dodnes v tomto městě zabývá Pasivhaus Institut [3].

### **1.2. Současnost v Evropě a v ČR**

Budovy jsou zodpovědné za spotřebu zhruba asi 40 % celkové spotřebované energie v Evropě a 36 % se podílejí na celkové produkci oxidu uhličitého v EU. Cílem evropské unie je snížit toto číslo rekonstrukcí starších domů (Zhruba třetina domů je starší 50 let, přičemž po jejich rekonstrukci by spotřeba celkové energie klesnout o 5- 6 % a produkce emisí oxidu uhličitého o 5%) a snížit nebo jej nezvyšovat stavbou

nových domů, od roku 2020 by měly všechny nové budovy splňovat národní požadavky na budovy s téměř nulovou spotřebou energie [4].

Česká republika se podílem pasivních domů na nově postavených domech řadí do evropské špičky společně s Belgií, Rakouskem a Německem, kde je počet pasivních domů nejvyšší.

V roce 2017 tvořil podíl pasivních domů na celkovém počtu dokončených domů asi 6,5 %, což je dva procentní body více než v roce předchozím. V současnosti je v České republice asi 5000 pasivních domů, v minulém roce jich bylo dokončeno asi 1000. Přesný údaj však neznáme, protože doposud neexistuje žádná evidence těchto domů. Známe pouze ty pasivní domy, které byly postaveny za přispění dotačního programu Ministerstva životního prostředí Zelená úsporám, který podpořil zájem o tyto domy. Ostatní domy postavené mimo tento dotační program v údaji zahrnuté nejsou. Podle českého statistického úřadu bylo v minulém roce dokončeno 15 172 rodinných domů [5].

## **2. STANDARDY ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI**

### **2.1. Nízkoenergetický standard**

Nízkoenergetický standart je jedním z prvních standardů, který se v České republice začal objevovat a může být tak považován za předchůdce standardu pasivního. Domy v tomto standardu se vyznačují nízkou potřebou tepla na vytápění dosaženou především optimalizovaným řešením obálky budovy. Tento standart je v českém prostředí definován normou *ČSN 73 0540*, pomocí měrné potřeby tepla na vytápění  $E_A$ , která nesmí překročit hodnotu 50 kWh/m<sup>2</sup>.rok. Dále jej zmiňuje například technická normalizační informace *TNI 73 0329*, která zavádí další doporučené hodnoty například pro součinitele prostupu tepla nebo neprůvzdušnost obálky. Standart však není nikterak legislativně závazný. Vzhledem k technickému pokroku a kvalitě stavebních materiálů, je možné, že většina dnešních domů se již dnes staví v tomto standardu bez vědomí jejich majitelů. Při návrhu nízkoenergetického domu, by mělo převážné většině případů stačit, aby se projektant řídil doporučenými součiniteli prostupu tepla, které jsou uvedeny v normě *ČSN 73 0540* [6].

## 2.2. Pasivní standard

Dalším vývojovým stupněm nízkoenergetického domu je pasivní dům. Jeho tepelné ztráty jsou z velké míry pokryty solárními zisky, vnitřními tepelnými zisky z provozu zařízení budovy, metabolickým teplem osob a rekuperací tepla. S využitím moderních technologií a optimálním stavebním řešením je tak možné u pasivních domů minimalizovat potřebu energie na zajištění požadovaného stavu vnitřního prostředí budovy a minimalizovat potřebu primární energie z neobnovitelných zdrojů [6].

Nedílnou součástí pasivního domu je i vzduchotechnická jednotka s rekuperací tepla, která je významná pro dosažení požadovaných parametrů pasivního domu. Ta díky zpětnému získávání tepla značně snižuje tepelné ztráty větráním. Mimo to má i další výhody, protože díky stálému přívodu čerstvého vzduchu nejsou překračovány hranice koncentrace CO<sub>2</sub> v místnostech. Přiváděný vzduch je filtrován a vstupuje do objektu bez znečištění prachem a pyly. Přiváděný teplý vzduch neovlivňuje negativně tepelnou pohodu, větrání díky zavřeným oknům probíhá bezhlučně a zároveň dochází ke kontinuálnímu odvodu vlhkosti [7].

Hodnotit pasivní domy lze dle normy ČSN 73 0540 (viz následující Tab. 2.1), dle technické normalizační informace *TNI 73 03 30* nebo dle PHPP (Passive House Planning Package). Poslední jmenovaný způsob hodnocení byl vytvořen německým institutem Passivhaus Institute, který byl u počátků výstavby pasivních domů v Evropě. PHPP má poněkud přísnější požadavky oproti českým normám z hlediska tepelně technické stránky budovy a požaduje i efektivnější využívání energie. Budovy musí splnit přísnější požadavky měrné potřeby tepla na vytápění, na měrnou tepelnou ztrátu vztaženou k podlahové ploše i na potřebu neobnovitelné primární energie. Požadavky jsou uvedeny v Tab. 2.2 [8].

Tab. 2.1 Základní charakteristiky pasivních budov dle ČSN 73 0540

Typ budovy	Průměrný součinitel prostupu tepla $U_{em}$	Měrná potřeba tepla na vytápění $E_A$	Měrná potřeba energie na chlazení	Měrná potřeba primární energie $PE_A$
	[W/m <sup>2</sup> .K]	[kWh/m <sup>2</sup> .rok]	[kWh/m <sup>2</sup> .rok]	[kWh/m <sup>2</sup> .rok]
<b>Rodinný dům</b>	0,25 požadováno < 0,20 doporučeno	20 požadováno < 15 doporučeno	0*	< 60
<b>Bytový dům</b>	< 0,35 požadováno < 0,30 doporučeno	< 15	0*	< 60

\* Stavební řešení musí být takové, aby strojní chlazení nebylo potřebné. Pokud by výjimečně bylo dodatečně použito, musí být odpovídajícím způsobem zahrnuto do hodnocení primární energie, a to i kdyby se jednalo o individuální jednotky považované za elektrické spotřebiče.

Tab. 2.2 Základní charakteristika pasivních domů dle PHPP [8]

Kritérium	Značení	Hodnota	Jednotky	Poznámka
<b>Měrná potřeba tepla na vytápění</b>	$E_A$	<15	[kWh/m <sup>2</sup> .rok]	
<b>Měrná ztráta</b>	$H_{FL}$	<10	[W/m <sup>2</sup> ]	Vztažená k podlahové ploše
<b>Potřeba primární energie z neobnovitelných zdrojů</b>	$PE_A$	<120	[kWh/m <sup>2</sup> .rok]	Zahrnuje vytápění, přípravu teplé vody, technické systémy v budově a uživatelskou energii
<b>Neprůvzdušnost obálky budovy</b>	$n_{50}$	<0,6	[1/h]	
<b>Teplota vzduchu v pobytové místnosti</b>	$\theta_a$	>25	[°C]	Pouze 10% hodin v roce



### 2.3. Standardy s „nulou“

Když se v názvu energetického standardu objeví nula, přirozeně to evokuje představu, že se jedná o nulovou potřebu tepla na vytápění. Teplo dodávané systémem vytápění nelze nikdy zcela nahradit neregulovatelnými tepelnými zisky (solárními či vnitřními). Všechny přísnější standardy, nežli je pasivní standard se od něj neliší v otázce kvality stavebního návrhu, ale jsou spíše otázkou technologického vybavení budovy, hlavně zdrojů energie.

Energetické standardy, které mají ve svém názvu slovo nula, jsou v české republice uvedeny například v ČSN 730540 2, či v TNI 730329 a TNI 730330.

#### 2.3.1. Energeticky nulová budova

Je popsána jako budova, jejíž součástí je také zařízení na produkování energie a jejíž roční bilance dodané a vyprodukované energie vyjádřené v hodnotách primární energie je rovná nule. Není zohledněno, zda se vyprodukovaná energie spotřebovává přímo v budově, či nikoliv [9].

Primární energie je definována jako energie, která neprošla žádným procesem přeměny. Z toho vyplývá, že budova, která výše uvedenou podmínku splňuje, nemusí zvládnout vyprodukovat dostatečné množství energie pro svou vlastní potřebu [9].

Vzhledem k tomu, že pro dodání elektrické energie do budovy je potřeba přibližně třikrát více primárních zdrojů nežli pro zajištění dodání zemního plynu, stačí, aby fotovoltaická elektrárna, umístěná na střeše budovy, vyprodukovala třikrát méně elektrické energie, než je dodávka zemního plynu do budovy a celková bilance v hodnotách primární energie bude rovna nule. U spotřebované energie už to však neplatí, to znamená, že náklady na energii nebudou nulové a zároveň tato rovnice neplatí v každém časovém období, protože se jedná o roční bilanci. V drtivé většině případů je budova stále napojená na energetické síť [9] [10].

#### 2.3.2. Budova blízka energeticky nulové budově

Normy také zavádí standart blízký energeticky nulovému. Ten je popsán podobně jako energeticky nulová budova, nicméně v bilanci primárních energií připouští nenulovou hodnotu. Mezní hodnota je definována ve dvou úrovních v závislosti na započítání spotřeby elektrické energie na provoz domácích spotřebičů.

Přehled požadavků pro energeticky nulové budovy a budovy jim blízké je uveden v Tab. 2.3 [11].

Tab. 2.3 *Definice energeticky nulové budovy a budovy jí blízké dle ČSN 73 0540*

Závaznost kritéria		Požadovaná hodnota	Doporučená hodnota	Požadovaná hodnota podle zvolené úrovně	
		Průměrný součinitel prostupu tepla $U_{em}$ [W/m <sup>2</sup> .K]	Měrná potřeba tepla na vytápění $E_A$ [kWh/m <sup>2</sup> .rok]	Měrná potřeba primární energie $PE_A$ [kWh/m <sup>2</sup> .rok]	
				Úroveň A	Úroveň B
Obytné budovy	Nulový	Rodinné domy $\leq 0,25$ Bytové domy $\leq 0,35$	Rodinné domy $\leq 20$ Bytové domy $\leq 15$	0	0
	Blízký nulovému			80	30
Neobytné budovy	Nulový	$\leq 0,35$	$\leq 30$	0	0
	Blízký nulovému			120	90

### 2.3.3. Energeticky nezávislá budova

Energeticky nezávislá budova je autonomní budova někdy také označovaná jako ostrovní. Taková budova si v každém okamžiku dokáže z vlastních zdrojů vyrobit dostatečné množství energie pro svou potřebu. Činí tak minimalizací svých potřeb energií a jejich hrazením obnovitelnými zdroji. Tato budova nemusí být napojena na veřejné rozvodné sítě [9].

### 2.4. Budovy s téměř nulovou potřebou energie

Budova s téměř nulovou potřebou energie neboli NZEB (nearly zero energy building) je v české republice legislativně závazný pojem. Primárně tento pojem vychází ze *směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU* o energetické náročnosti budov. V České republice jsou požadavky této směrnice implementovány do *zákona 406/2000 Sb.* o hospodaření energií. Technické parametry jsou pak specifikovány *vyhláškou 78/2013 Sb.* o energetické náročnosti budov (s částečnou změnou *230/2015 Sb.*) [9].

*Vyhláška č. 78/2013 Sb.* pro hodnocení budov nestanovuje požadavky absolutními hodnotami (např. měrnou potřebou tepla na vytápění) ale požadavky se pro každou budovu liší. K hodnocení se používá tzv. referenční budova, tedy budova o stejné geometrii a orientaci, ale s legislativně definovanými vstupními parametry, které jsou uvedeny v této vyhlášce. Budova, která je hodnocená, musí mít spotřebu energie nižší než budova referenční.

Jedním z kritérií pro NZEB uvedených ve vyhlášce, je redukční činitel požadované základní hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla  $f_R = 0,7$  (viz Tab. 2.4). Ten ovlivňuje přísnější požadavky na tepelně izolační vlastnosti obálky budovy. V praxi to znamená, že součinitel prostupu tepla konstrukcí musí být blízký doporučeným hodnotám uvedeným v ČSN 730540.

Dalším požadavkem je snížení hodnoty neobnovitelné primární energie stanovené pro referenční budovu  $\Delta e_{p,R}$  o 10 – 25 % podle druhu budovy, jak ukazuje Tab. 2.5. K dosažení těchto hodnot vyhláška předpokládá využití obnovitelných zdrojů energie nebo zlepšení parametrů stavebních prvků obálky budovy a technických systémů budovy.

Nové budovy s téměř nulovou potřebou energie musí splnit kromě předchozích dvou požadavků ještě třetí požadavek, který říká, že hodnota celkové dodané energie posuzované budovy musí být menší než hodnota celkové dodané energie její referenční budovy [1].

Tab. 2.4 – Požadovaný redukční činitel průměrného součinitele prostupu tepla dle vyhlášky č. 78/2013 Sb.

Parametr	Označení	Jednotky	Referenční hodnota		
			Dokončená budova a její změna	Nová budova	Budova s téměř nulovou spotřebou energie
Redukční činitel požadované základní hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla	$f_R$	[-]	1	0,8	0,7

Tab. 2.5 Požadavky na snížení hodnoty neobnovitelné primární energie dle vyhlášky č. 78/2013 Sb.

Parametr	Označení	Jednotky	Druh budovy nebo zóny	Referenční hodnota		
				Dokončená budova a její změna po 01.01.2015	Nová budova po 1. 1. 2015	Budova s téměř nulovou spotřebou energie
Snížení hodnoty neobnovitelné primární energie stanovené pro referenční budovu	$\Delta e_{p, R}$	%	Rodinný dům	3	10	25
			Bytový dům	3	10	20
		%	Ostatní budovy	3	8	10

### 3. ZDROJE TEPLA

Budovy využívají zdroje tepla k vytápění, ohřevu větracího vzduchu a přípravě teplé vody. Při návrhu nízkoenergetických domů se doporučuje využít takové zdroje tepla, které minimalizují potřebu primární energie, tedy obnovitelné zdroje tepla (solární tepelné soustavy, tepelná čerpadla, kotle na spalování biopaliv) nebo takové, které maximálně využívají primární paliva, jako například plynové kondenzační kotle [6].

V následujících kapitolách jsou uvedeny vybrané moderní a ekologické zdroje tepla.

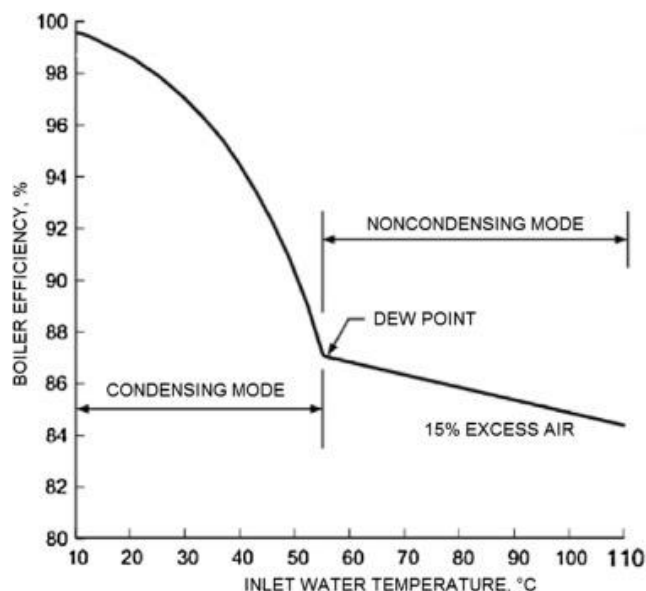
#### 3.1. Plynový kondenzační kotel

Jako palivo pro plynové kotle je využíván především zemní plyn, který je tvořen ze 98 % metanem a je rozváděn sítí plynovodů. Jde o plynné fosilní palivo, které se nachází v samostatných ložiscích nebo společně s ropou či černým uhlím. Ze všech fosilních paliv při spalování produkuje nejméně CO<sub>2</sub> na jednotku uvolněné energie, a proto bývá označován za „ekologické“ fosilní palivo [12].

Při spalování zemního plynu se chemická energie paliv po sloučení s kyslíkem převede na tepelnou energii za vzniku vody, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> a případně dalších emisních látek, v závislosti na složení konkrétního paliva [6].

Kondenzační kotle ochlazují spaliny pod teplotu rosného bodu vodní páry v nich obsažené, ta kondenzuje a uvolňuje latentní teplo. To zvyšuje výkon kondenzačních kotlů oproti klasickým plynovým kotlům. Kondenzát musí být trvale odváděn. Protože je teplota spalin kotle je nízká (40 až 90 °C) a nestačí na vytvoření dostatečného tahu v komíně, musí být kondenzační kotel vybaven vzduchovým nebo spalinovým ventilátorem [13].

Rosný bod spalin se u plynových kotlů spalujících zemní plyn pohybuje mezi teplotami 50 a 55 °C. Ke kondenzaci dochází, pokud se teplota vratné vody pohybuje pod touto teplotou, což je důvodem, proč jsou kondenzační kotle vhodné pro otopné soustavy s nízkým teplotním rozdílem, například pro podlahové vytápění, stěnové vytápění, nebo otopná tělesa s velkou plochou [14].



Obr. 3.1 Závislost účinnosti plynového kondenzačního kotle na teplotě zpátečky [15]

Pokud je účinnost či stupeň využití kondenzačního plynového kotle vztažen k výhřevnosti, může tato hodnota přesáhnout 100 %. Vhodnější je proto tyto hodnoty vztahovat ke spalnému teplu, které poskytuje širší měřítko [16].

Právě vysoká účinnost (pokud je otopná soustava správně navržena) je jedna z výhod kondenzačních kotlů. Pokud je v dané lokalitě možnost připojit se na plynovou přípojku, odpadají starosti se skladováním paliva a zásobování je nepřetržité po celý rok. Dalšími výhodami jsou rychlá regulace výkonu a automatický provoz. Nevýhodou může být závislost na plynové přípojce, či nutný odvod spalin [16].

### 3.2. Solární kolektory

Princip solárních kolektorů spočívá v přeměně energie slunečního záření na energii tepelnou. Tento jev se nazývá fototermální přeměna a je jedním z nejjednodušších způsobů využití solární energie. Důležitým prvkem kolektoru je tedy absorpční plocha, na jejímž povrchu dochází k přeměně slunečního záření na teplo, které je odváděno teplotonosnou látkou (nemrznoucí směsí, vodou) k dalšímu využití nebo k akumulaci [17].

Solární kolektory se dělí na zasklené a nezasklené, přičemž nezasklené se používají především při sezónních aplikacích, jako je ohřev bazénové vody, protože jejich tepelné ztráty jsou do značné míry ovlivněny okolním prostředím. Ze zasklených kolektorů se nejčastěji využívají ploché atmosférické kolektory a trubkové vakuové kolektory [17].

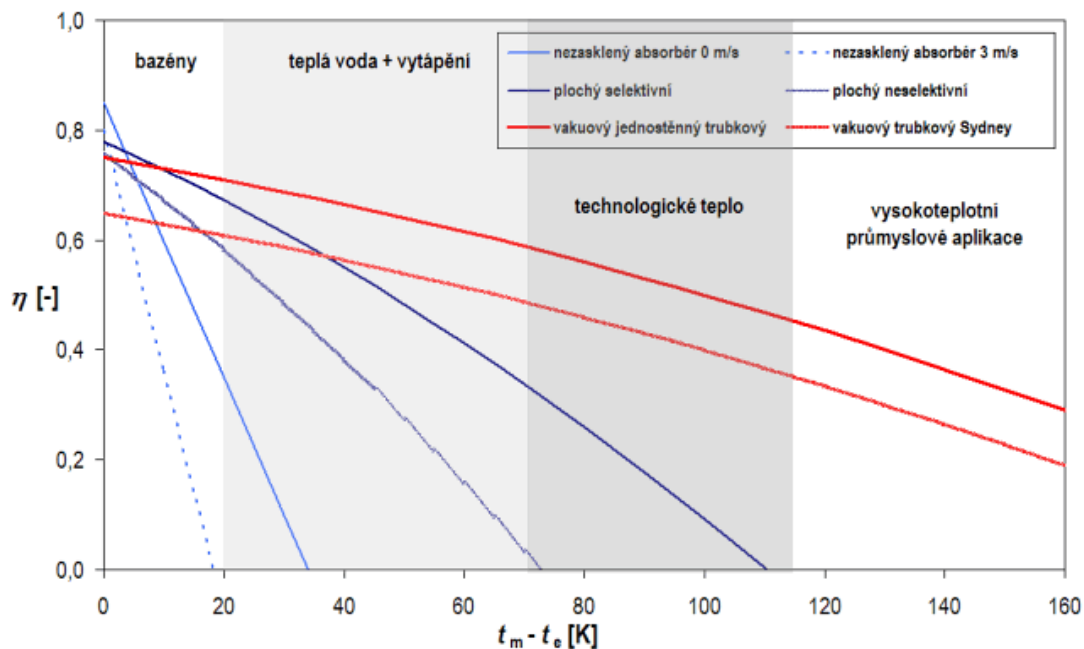
Účinnost solárních kolektorů  $\eta_{sk}$  [-], kterou popisuje vztah (3-1), je ovlivněna fyzikálními vlastnostmi konstrukčních částí kolektoru (absorbéru, zasklení, rámu a izolace), klimatickými podmínkami (slunečním ozářením, rychlostí proudění vzduchu, teplotou vzduchu) a provozními podmínkami (průtokem a teplotou teplotonosné látky) [17].

$$\eta_{sk} = \eta_{op} - a_1 \cdot \frac{t_m - t_e}{G} - a_2 \cdot G \cdot \left( \frac{t_m - t_e}{G} \right)^2 \quad (3-1)$$

Kde,

- $\eta_{op}$  optická účinnost (účinnost kolektoru při nulovém teplotním rozdílu) [-];
- $a_1$  lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ ];
- $a_2$  kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}^2$ ];
- $t_m$  střední teplota teplotonosné kapaliny v kolektoru [ $^{\circ}\text{C}$ ];
- $t_e$  teplota venkovního vzduchu [ $^{\circ}\text{C}$ ];
- $G$  celkové sluneční ozáření pro daný sklon a orientaci [ $\text{W}/\text{m}^2$ ].

Pro rodinné doby se v největší míře používají ploché kapalinové a vakuové trubkové kolektory, používané především pro přípravu teplé vody. Obr. 3.2 porovnává solární kolektory pomocí křivek účinnosti a znázorňuje jejich vhodné uplatnění [17].



Obr. 3.2 Křivky účinnosti různých druhů solárních kolektorů [17]

### 3.3. Tepelné čerpadlo

Tepelná čerpadla (TČ) mohou cíleně odebírat tepelnou energii z prostředí o nízké teplotě a předávat ji do prostředí o vyšší teplotě, kde ji je možné využívat pro přípravu teplé vody nebo vytápění [17].

Prostředí, ze kterého je odebírána tepelná energie může být typicky vzduch, zemský masiv nebo vodní plochy a toky. Nejčastějším typem tepelných čerpadlem pro naši zeměpisnou šířku jsou tepelná čerpadla vzduch/vzduch a vzduch/voda. Nízkopotenciálním zdrojem je tedy okolní vzduch, jenž je dostupný kdekoli a zdarma. Dalšími výhodami těchto typů je, snadná instalace i možnost umístit je prakticky kamkoliv) [17].

Jejich výkon, je značně závislý na teplotě prostředí, ze kterého odebírají teplo a na výstupní teplotě prostředí do kterého teplo předávají. Obecně můžeme říct, že se zmenšujícím se rozdílem mezi teplotními hladinami se zvyšuje efektivita přenosu tepla a snižuje se potřebná elektrická energie na provoz TČ. To vyjadřuje vztah (3-2), který

popisuje výpočet topného faktoru COP [-], který vypovídá o míře efektivity přečerpávání tepla [18].

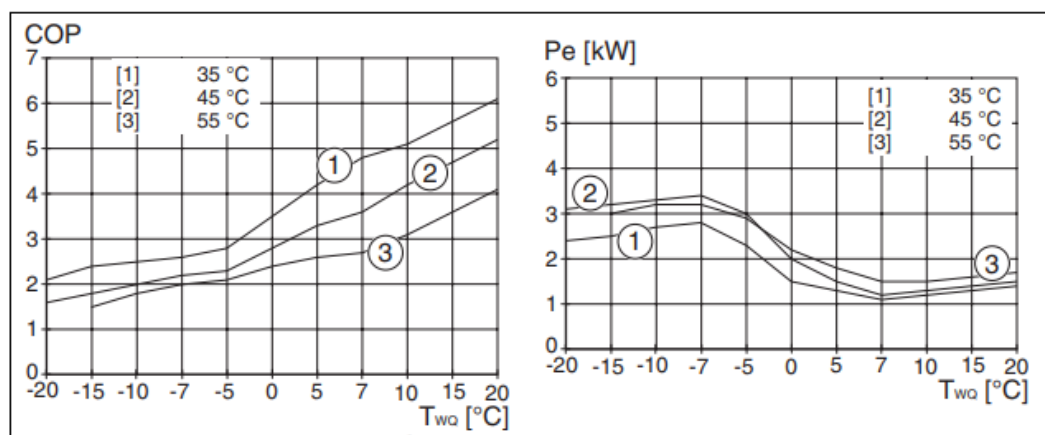
$$COP = \frac{\phi_k}{P_{el}} \quad (3-2)$$

kde:

$\phi_k$  Tepelný výkon tepelného čerpadla [kW];

$P_{el}$  Elektrický příkon kompresoru tepelného čerpadla [kW].

Konkrétní příklad závislosti topného faktoru a příkonu tepelného čerpadla značky Logatherm na venkovní teplotě vzduchu je na Obr. 3.3.



Obr. 3.3 Závislost topného faktoru a příkonu TČ Logatherm [19]

U navržené nebo již realizované tepelné soustavy pro vytápění a přípravu teplé vody u konkrétního domu s tepelným čerpadlem se jeho efektivita vyjadřuje sezónním topným faktorem  $SPF$  [-] [206]. Sezónní topný faktor stanovený za hodnocený časový úsek, například měsíc nebo rok, je definován v následujícím vztahu.



$$SPF = \frac{Q_{T\check{c}}}{E_{T\check{c}} + E_{pom} + E_{dod}} \quad (3-3)$$

kde:

- $Q_{T\check{c}}$  teplo dodané tepelným čerpadlem pro danou aplikaci [kWh];  
 $E_{T\check{c}}$  potřeba energie pro pohon tepelného čerpadla [kWh];  
 $E_{pom}$  potřeba pomocné elektrické energie pro oběhová čerpadla, regulaci a další pomocná zařízení [kWh];  
 $E_{dod}$  potřeba elektrické energie záložního zdroje (např. topné patrony) [kWh].

### 3.4. Kotel na pelety

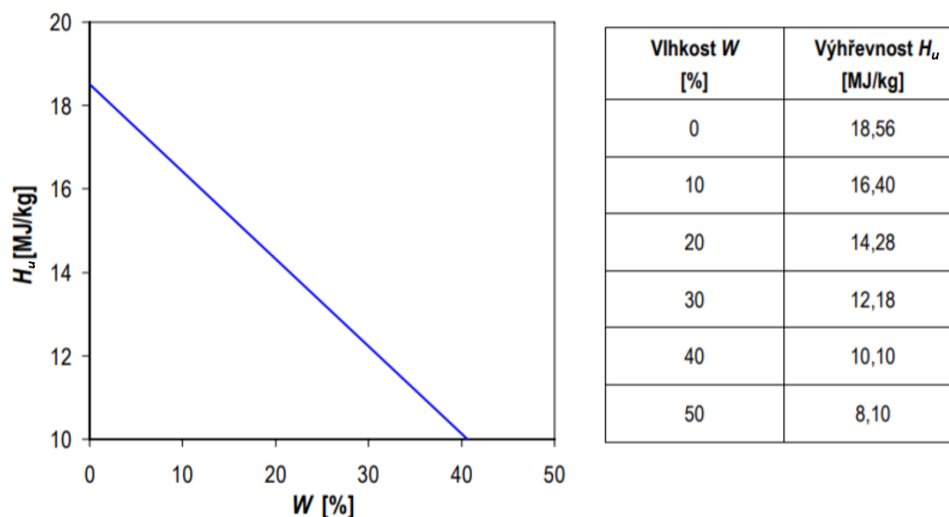
Kotle na pelety patří mezi automatické kotle na tuhá paliva. Jedná se o automatizovaná zařízení s dobrými spalovacími vlastnostmi a nízkými emisemi. Jde tedy o ekologicky šetrné kotle s komfortní obsluhou [21].

Kotle spalují dřevěné nebo konopné pelety, které jsou vyrobeny z lisovaného dřevěného odpadu či pilin, které vznikají jako vedlejší produkt např. v dřevovýrobě nebo lesnictví. Vyrábějí se ve standardizovaných rozměrech o průměru 4-10 mm a maximální délce 50 mm [22].

Při dokonalém spalování se do atmosféry uvolňuje oxid uhličitý ( $CO_2$ ) a to ve stejném množství, ve kterém bylo při růstu rostlin pohlceno, nebo se uvolnilo přirozeným rozkladem v přírodě [23].

Výhřevnost pelet se pohybuje kolem 18MJ/kg, a tak v určitých případech předčí i některé druhy hnědého uhlí [21]. Je ale nutné podotknout, že takové to výhřevnosti dosahují pouze dokonale suché pelety. S rostoucí vlhkostí pelet se jejich výhřevnost dramaticky snižuje. V běžný peletách se obsah vlhkosti pohybuje mezi 7-10 %, přičemž hodnota jejich výhřevnosti je přibližně 17,1 MJ/kg [23].

Na následujícím obrázku je znázorněn vliv vlhkosti na výhřevnost pelet.



Obr. 3.4 Vliv vlhkosti na výhřevnost pelet [23]

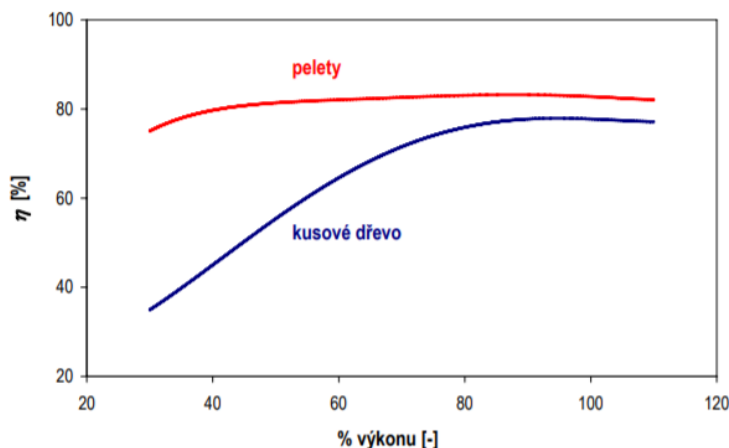
Kotle na pelety mohou být vybaveny systémem samočinného podávání paliva do spalovacího prostoru, příp. i automatickým zapalováním paliva [23].

Díky tomu mohou přísunem paliva regulovat svůj výkon. Regulační schopnost je v rozsahu 25 % až 100 % bez výrazného poklesu účinnosti. Hodnota účinnosti těchto kotlů může dosáhnout až 92 % v závislosti na přísunu paliva a jeho výhřevnosti [24]. Účinnost kotle  $\eta_p$  [-] se vyjadřuje vztahem:

$$\eta_p = \frac{Q_k}{m \cdot H_p} \quad (3-4)$$

kde:

- $\eta_p$  účinnost kotle [-];
- $Q_k$  výkon kotle [kW];
- $m$  spotřeba pelet [kg/s];
- $H_p$  výhřevnost pelet [kJ/kg].



Obr. 3.5 Závislost účinnosti kotle na regulaci výkonu [23]

Mezi výhody kotlů na pelety patří zmíněná regulovatelnost výkonu, schopnost pracovat několik dní bez obsluhy, nízká údržba a minimální tvorba popela. Nevýhodou může naopak být vysoká pořizovací cena jak samotného kotle, tak i paliva, nutnost skladování paliva a větší rozměry kotle [25].

### 3.5. Regulace zdrojů tepla

V objektech můžeme používat různé typy regulace. V této kapitole jsou shrnuty její základní typy a identifikován vhodný typ pro aplikaci v této práci. Obecně je při výběru regulace vždy nutné brát v potaz velikost a druh budovy, případně její tepelně akumulaciční vlastnosti. Velmi významný je také vliv vnějších klimatických vlivů (orientace ke světovým stranám, nápory větru a vliv oslunění) a vnitřních mikroklimatických podmínek (osvětlení, počet osob a další zdroje tepla). V neposlední řadě také projektant musí brát zřetel na investiční náklady a požadavky investora [26].

#### 3.5.1. Regulace podle vnitřní teploty vzduchu

Regulace je provedena na základě snímání vnitřní teploty vzduchu vytápěného prostoru a hodnota je pak vyslána jako řídicí veličina do regulátoru. Snímač teploty vnitřního vzduchu je umístěn v referenční místnosti. Na základě regulační odchylky v referenční místnosti regulátor reguluje teplotu přívodní vody. Ta však ovlivní i teplotu v ostatních místnostech, ve kterých tento zásah nemusí být třeba. Tento jev je nepříznivý u velkých a rozlehlých bytů, a proto se tento typ regulace nepoužívá u vícegeneračních domů. Čidlo vnitřní teploty vzduchu, musí být umístěno tak,

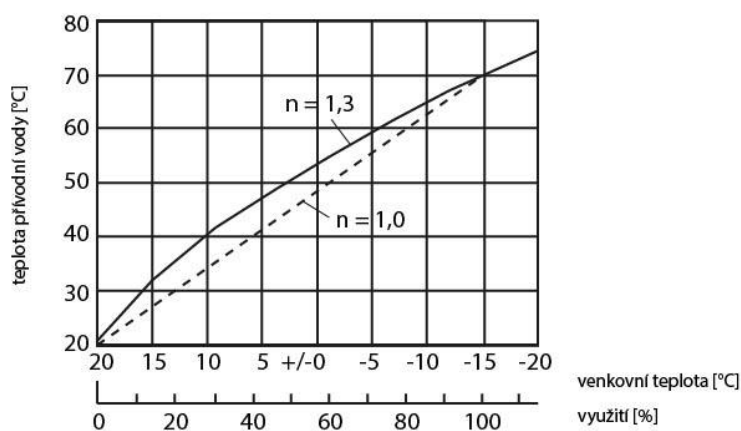
aby nebylo ovlivněno místními zdroji tepla. Dopravní zpoždění, které tato regulace vykazuje, se musí udržovat co nejmenší. Obvykle se používají regulátory s  $P$  a  $PI$  chováním, dvoupolohové se zpětnou vazbou, případně kaskádová regulace. Osazení systému termostatickými regulačními ventily může přinést dodatečnou úsporu tepla [26] [27].

Výhodou tohoto typu regulace může být chování při omezeném provozu otopné soustavy, kdy například při nočním provozu je možné snížit dodávku tepla, aby bylo dosaženo snížení vnitřní teploty [26].

### 3.5.2. Regulace podle venkovní teploty

Nazývá se také ekvitermní regulace. Vzhledem k tomu, že je potřeba tepla budovy závislá na venkovní teplotě, je na vnější fasádě umístěno čidlo teploty, které informaci o venkovní teplotě předává regulátoru. Regulátor se pak řídí dle zadané otopné křivky.

Jde tedy o proporcionální regulaci potřeby tepla vzhledem k venkovní teplotě. Otopná křivka musí být nastavena v souladu s danou soustavou a objektem, je upravována dle použitých otopných těles (například jejich plochou je ovlivněno prohnutí křivky, tedy exponent  $n$  mocninné funkce). Pro danou soustavu se dále křivka přizpůsobuje jejím náklonem či posunem. Výhodou je rychlá regulace přívodní vody s malým dopravním zpožděním. Na obrázku Obr. 3.6 je příklad otopné křivky pro minimální venkovní teplotu  $-15\text{ °C}$ , maximální teplotu přívodní vody  $70\text{ °C}$  a  $n=1,3$ . Teplota vody se mění pro celou soustavu stejně, proto je nutná ve vytápěných prostorách ještě místní regulace termostatickými regulačními ventily [26] [27].



Obr. 3.6 Příklad otopné křivky [27]

Ekvitermní regulace silně závisí na správné volbě a nastavení otopné křivky. Ta však není schopná zahrnout tepelné zisky, které obzvláště u domů s nízkou potřebou tepla mají velký vliv na vytápění [26] [27].

### 3.5.3. Ekvitermní regulace se zpětnou vazbou na vnitřní teplotu

Tento způsob regulace vychází z ekvitermní regulace popsané výše, nicméně do regulátoru navíc přichází informace o aktuální teplotě v referenční místnosti. Tím je uvažován i vliv vnějších a vnitřních tepelných zisků. Jedná se tedy o ekvitermní řízení se zpětnou vazbou na vnitřní teplotu. Měřená vnitřní teplota pak může ovlivňovat systém:

- Dlouhodobě – adaptivní regulací dokáže regulace na základě zpětné vazby z prostoru přizpůsobit otopnou křivku
- Krátkodobě – dle teplotní odchylky se regulátor snaží korigovat žádanou prostorovou teplotu dle vzorce (3-5) [26] [27].

$$t_{i,wk} = t_{i,w} + \frac{K}{2} \cdot (t_{i,w} - t_{i,x}) \quad (3-5)$$

- $t_{i,wk}$  korigovaná žádaná teplota v prostoru [°C];  
 $t_{i,w}$  žádaná teplota v prostoru [°C];  
 $t_{i,x}$  aktuální teplota v prostoru [°C];  
 $K$  faktor vlivu prostorové teploty [-].

Když měřená veličina odpovídá žádané teplotě, platí  $t_{i,wk} = t_{i,w}$ . V jiném případě dojde k posunu otopné křivky a tím i ke změně teploty otopné vody. Tím dojde ke snížení odchylky. Faktor  $K$  může zvýšit či snížit vliv teploty prostoru. Má-li objekt více otopných okruhů, připravuje kotel vodu dle nejvyššího požadavku s jistým navýšením teploty udané ekvitermní křivkou, které je důležité z hlediska dalšího směšování [26] [27].

Při správně vyladěné otopné křivce zajišťuje ekvitermní regulace rovnováhu mezi výrobou a spotřebou tepla.

Ekvitermní regulace s vazbou na vnitřní teplotu je pak vhodná pro použití u budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění, tedy i budov v této práci, právě proto, že zohledňuje vliv vnějších a vnitřních tepelných zisků, přičemž je schopná provádět změny v relativně krátkém čase [26] [27].

#### **3.5.4. Regulace podle zátěže**

Teplota otopné vody je řízena pouze v závislosti na potřebě tepla, bez užití venkovních či prostorových čidel teploty. Při této regulaci se využívá křivky zátěže nebo křivky potřeby tepla. Regulátor počítá potřebu tepla z poměru doby chodu hořáku ve spínacím intervalu a doby spínacího intervalu. Podmínky pro smysluplné uplatnění této regulace jsou tyto:

- dobré tepelně izolační vlastnosti budovy,
- jedno stupňový hořák u zdroje tepla,
- přímo připojený otopný okruh,
- užití termostatických regulačních ventilů,
- instalace je bez vnitřních a venkovních čidel,
- spotřebitel se chová rozumně a neprovádí přenastavení v krátkém časovém rozmezí termostatickými regulačními ventily,
- snaha o využití tepelných zisků [26] [27].

#### **3.5.5. Ekvitermní regulace s vlivem zátěže**

Jedná se o kombinaci ekvitermní regulaci se zohledněním aktuální potřeby tepla (regulace podle zátěže). Požadovaná teplota přírodní otopné vody je vypočítána jako střední hodnota z otopné a zátěžové křivky [26].

### **4. ZVOLENÉ RODINNÉ DOMY**

Pro tuto práci byly zvoleny 3 různé domy, které se liší různými tvary a rozměry, počtem podlaží četností a velikostí oken apod. Jako předloha k jednotlivým domům byly použity obrázky projektů tří rodinných domů Absolut, Pasiv 20 a Orlando projekční kanceláře GSSERVIS, ze kterých byl převzat tvar a rozměry jednotlivých domů [28]. Z nich byly v BIM aplikaci Autodesk Revit vytvořeny 3D modely a výkresová dokumentace jednotlivých domů přiložená k této práci.

#### 4.1. Absolut

Prvním z domů je dvoupodlažní dům Absolut. Zastavěná plocha stavby tohoto domu je 180 m<sup>2</sup> a jeho celková energeticky vztažná plocha je 330 m<sup>2</sup>. Dům má velmi mnoho prosklených ploch a jeho tvar je poměrně členitý, což jistě negativně ovlivní tepelné ztráty. Předloha domu je na Obr. 4.1.



Obr. 4.1 Vizualizace domu Absolut [28]

#### 4.2. Orlando

Druhým zvoleným domem je dům s názvem Orlando, který je jako jediný jednopodlažný. Jeho zastavěná plocha stavby je 208 m<sup>2</sup> a energeticky vztažná plocha 197 m<sup>2</sup>. Tento dům se nejméně ohlíží na využití zastavěné plochy, nicméně jeho kladnou stránkou může být například to, že je možné dům postavit jako kompletně bezbariérový. Vizualizace domu je na Obr. 4.2.



Obr. 4.2 Vizualizace domu Orlando [28]

### 4.3. Pasiv 20

Třetím a posledním zvoleným domem je dům Pasiv 20 (dále jen Pasiv). Dle názvu a tvaru byla při návrhu domu Pasiv prioritní minimalizace tepelných ztrát. Dům má velmi kompaktní tvar a drtivá část prosklených ploch je umístěna na jižní straně fasády z důvodu dosažení maximálních solárních tepelných zisků. Celková energeticky vztažná plocha domu Pasiv je 210 m<sup>2</sup>, přičemž zastavěná plocha stavby je 105 m<sup>2</sup>. Předloha domu je na Obr. 4.3..



Obr. 4.3 Vizualizace domu Pasiv 20 [28]

### 4.4. Umístění a orientace domů

Objekty jsou uvažovány na území hlavního města Prahy v nadmořské výšce 250 m n. m. Každá z budov stojí samostatně, bez jakéhokoliv stínění, v oblasti nejsou typické intenzivní větry. Jako podloží všech staveb je uvažována hlinitá či jílovitá půda. Orientace budov uvedená v příložené výkresové dokumentaci, je navržena tak, aby nejvíce prosklená část fasády byla situována jižním směrem. Venkovní výpočtová teplota  $\theta_e$  [°C] je v dané oblasti dle normy ČSN EN 12 831, rovna -12 °C.



## 5. VARIANTY JEDNOTLIVÝCH DOMŮ

Každý z domů je navržen ve čtyřech variantách označených čísly 0 až 3. Zjednodušeně řečeno má dům ve variantě 0 ze všech variant nejhorší vlastnosti a je nejlevnější. Naopak dům ve variantě 3 má vlastnosti nejlepší a má také nejvyšší investiční výdaje.

Varianty se od sebe liší tloušťkou izolace obálky budovy, uvažovaným vlivem tepelných mostů, kvalitou průteplivých konstrukcí (oken) a využíváním systému nuceného větrání s rekuperací tepla. Parametry jednotlivých variant jsou shrnuty na konci této kapitoly a jsou pro všechny domy shodné.

### 5.1. Stavební konstrukce

Práce se zabývá stavebními konstrukcemi, které jsou ve styku s vnějším prostředím na stanovené hranici obálky budovy. Tuto stanovenou hranici u všech budov tvoří spodní strana podlahy nejnižšího podlaží, vnější povrch obvodových stěn a strop nejvyššího podlaží.

Obvodové stěny jsou složeny z cihelných bloků Porotherm o tloušťce 440 mm. Složení střechy, stropu a podlahy je popsáno ve výpočtovém souboru na příloženém CD. Na výslednou hodnotu součinitele prostupu tepla jednotlivých stavebních konstrukcí  $U$  [ $W/m^2.K$ ], jehož výpočet byl proveden dle normy *ČSN EN ISO 6946*, má zásadní vliv tloušťka tepelné izolace. Zvolená izolace je popsána v následující kapitole.

Skladba stavebních konstrukcí, respektive tloušťka tepelné izolace jednotlivých variant domů je navržena tak, aby součinitel prostupu tepla jednotlivých konstrukcí odpovídal různým doporučeným hodnotám normy *ČSN 73 0540* (Tab. 5.1). U domů varianty 0 a 1 odpovídají stavební konstrukce z hlediska součinitele prostupu tepla doporučeným hodnotám  $U_{rec,20}$ , u varianty s číslem 2 jsou shodné s horní hranicí doporučených hodnot pro pasivní budovy  $U_{pas,20}$ . U varianty 3 jsou totožné s dolní hranicí těchto hodnot pro pasivní budovy  $U_{pas,20}$ .

Tab. 5.1 - Souhrn normových hodnot součinitelů prostupu tepla dle ČSN 73 0540

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla [W/m <sup>2</sup> .K]		
	Požadované hodnoty	Doporučené hodnoty	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy
	U <sub>N,20</sub>	U <sub>rec,20</sub>	U <sub>pas,20</sub>
<b>Stěna vnější</b>	0,3	0,25	0,18 až 0,12
<b>Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně</b>	0,24	0,16	0,15 až 0,10
<b>Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině</b>	0,45	0,3	0,22 až 0,15
<b>Výplň otvoru ve vnější stěně a strmé střeše, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí, kromě dveří</b>	1,5	1,2	0,8 až 0,6
<b>Dveřní výplň otvoru z vytápěného prostoru do venkovního prostředí (včetně rámu)</b>	1,7	1,2	0,9

### 5.1.1. Tepelná izolace

Jako tepelná izolace byl vybrán pěnový polystyren. Tento materiál je při zateplování rodinných domů nejvíce používán. Má výborné tepelně izolační vlastnosti a velmi dobře se s ním pracuje, díky tomu, že je tvarově stabilní a hygienicky nezávadný [1]. Byla provedena rešerše cen a vlastností podlahových, stropních a fasádních polystyrenových izolací, na základě, které byl vybrán konkrétní typ od firem *Bachl* a *Styrotrade* [29] [30] použitý v této práci. Vybraná tepelná izolace a její vlastnosti jsou společně s rešerší dostupné ve výpočtovém souboru na přiloženém CD.

### 5.2. Tepelné mosty

Vliv tepelných mostů je pro energeticky úsporné budovy a pasivní domy je značný. Při použití konstrukcí a materiálů s mimořádnými izolačními vlastnostmi, mají tepelné mosty relativně velký vliv na spotřebu tepla. Podíl tepelné ztráty tepelnými mosty se pak může na celkové tepelné ztrátě tepla prostupem dosahovat až několik desítek procent.

Pro výpočet tepelných mostů, uvedený v kapitole 6.1, byly použity orientační hodnoty činitelů lineárních prostupů tepla lineárními tepelnými mosty uvedené v normě ČSN ISO 14683. Tyto hodnoty se však v praxi mohou jevit jako nejvyšší hodnoty a mohou mírně nadhodnocovat vliv tepelných mostů.

Po poradě s vedoucím práce byla v každé variantě rodinného domu uvažována jiná procentuální část těchto hodnot, která byla stanovena s ohledem na praxi ověřené hodnoty. Vycházíme z předpokladu, že se bude se zvyšujícím se číslem domu dbát více na kvalitu provedení stavby, provedenou dle správných technologických postupů a tím snížení vlivu tepelných mostů. Pro variantu 0 je uvažováno s 50 % padesáti procentním podílem těchto orientačních hodnot, pro variantu 1 je uvažováno s 20 % podílem těchto hodnot, pro variantu 2 je uvažováno s 10 % podílem těchto hodnot a pro variantu 3 je uvažován 5 % podíl. Předpokládáme, že čím více je dům zateplený, tím menší je uvažovaný vliv tepelných vazeb. Nelineární tepelné mosty nejsou v této práci uvažovány.

### 5.3. Okna a dveře

V práci jsou uvažovány 2 typy oken pro různé varianty jednotlivých domů. Okna byla vybrána na základě požadavku na součinitel prostupu tepla celého okna  $U_w$ , který by pro nízkoenergetické domy neměl přesáhnout hodnotu  $1,2 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  a pro pasivní domy má být nižší nebo roven  $0,8 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  [1]. Na základě tohoto požadavku byla vybrána okna *VEKA SOFTLINE70* a *VEKA SOFTLINE80*, která při porovnání s okny s podobnými vlastnostmi jiných firem měla cenu uprostřed intervalu definovaného těmito dvěma dalšími firmami [31] [32].

*VEKA SOFTLINE70* jsou běžná okna se standartním rámem a běžně užívaným dvojitým zasklením. *VEKA SOFTLINE80* jsou vhodná pro pasivní dům, mají rám s nejlepšími nabízenými vlastnostmi a trojsklo. Uvažovaná hodnota součinitele prostupu tepla celého okna je pro oba typy oken uvedena v Tab. 5.2.

Tab. 5.2 – *Součinitel prostupu tepla použitých oken* [33]

Typ	Název	$U_w$ [ $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ ]
1	VEKA SOFTLINE70	1,1
2	VEKA SOFTLINE80	0,7

Pro získání přesných cen oken byla použita internetová kalkulace podle jednotlivých domů [34]. Ceny oken jsou uvažovány bez barvy a dalšího příslušenství, protože jeho cena je pro obě varianty shodná. Ceny oken jednotlivých variant domů jsou uvedeny v elektronických přílohách.

Venkovní dveře jsou pro všechny varianty shodné. Byly vybrány tak, aby jejich celkový součinitel prostupu tepla byl na úrovni doporučených hodnot dle ČSN 73 0540 uvedených v Tab. 5.1.

#### 5.4. Rekuperace tepla

Ve variantách domů 2 a 3 je uvažována s rekuperace tepla. Pro tento účel byla zvolena rekuperační jednotka, která je vhodná pro všechny tři domy. Konkrétně se jedná o Atrea Duplex 170 EC5-CP od české firmy Atrea, která dle grafu v produktového listu pro tuto aplikaci dosahuje účinnosti 80 %. Pořizovací cena je uvedena v přílohách této práce, produktový list je dostupný v elektronické podobě na přiloženém CD [35].

#### 5.5. Shrnutí vlastností variant

V následující tabulce jsou shrnuty uvažované odlišnosti jednotlivých variant domů popsané v této kapitole.

Tab. 5.3 Přehled vlastností variant domů

Varianta domu	0	1	2	3
Vliv tepelných mostů	50%	20%	10%	5%
Účinnost rekuperační jednotky	0%	0%	80%	80%
Cílená hodnota součinitelů tepla jednotlivých konstrukcí	dop. hodnoty dle ČSN 73 0540	dop. hodnoty dle ČSN 73 0540	horní mez intervalu dop. hodnot pro pasivní domy dle ČSN 73 0540	dolní mez intervalu dop. hodnot pro pasivní domy dle ČSN 73 0540
Tloušťka izolace podlahy [m]	0,1	0,1	0,14	0,2
Tloušťka izolace střechy/stropu [m]	0,2	0,2	0,2	0,3
Tloušťka izolace obvodové zdi [m]	0	0	0,06	0,16
Součinitel prostupu tepla celého okna [W/m <sup>2</sup> .K]	1,1	1,1	0,7	0,7

Pro všechny domy a jejich varianty je vyčísleno navýšení výdajů variant oproti variantě 0, které pak slouží k ekonomickému srovnání variant z hlediska reálné doby návratnosti v závěrečných kapitolách práce. Investiční výdaje jednotlivých variant všech domů jsou uvedeny v elektronických přílohách této práce.

## 6. STUDIE ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI DOMŮ

### 6.1. Tepelné ztráty

Měrná tepelná ztráta a celková tepelná ztráta jednotlivých domů a jejich variant byla stanovena obálkovou metodou dle normy ČSN EN 12 831. Dle měrné tepelné ztráty budovy byly dále počítány jednotlivé potřeby tepla na vytápění domu a na základě celkové tepelné ztráty byly navrženy zdroje tepelné energie tak, aby v dané lokalitě i v nejnepříznivějších podmínkách zajistili tepelnou pohodu. Celková tepelná ztráta vytápěného prostoru (i)  $\phi_i$  [W] je dle vztahu (6-1) vyjádřena jako součet tepelné ztráty prostupem tepla a tepelné ztráty větráním.

$$\phi_i = \phi_{T,i} + \phi_{V,i} \quad (6-1)$$

kde:

$\phi_{T,i}$  tepelná ztráta prostupem vytápěného prostoru (i) [W];

$\phi_{V,i}$  tepelná ztráta větráním vytápěného prostoru (i) [W].

Tepelná ztráta prostupem tepla vytápěného prostoru (i)  $\phi_{T,i}$  [W] závisí na tepelně technických vlastnostech stavební konstrukce a vyjadřuje množství tepla, které při daných podmínkách prochází stavební konstrukcí, vlivem rozdílných teplot na opačných stranách této konstrukce. Je popsána vztahem (6-2):

$$\phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad (6-2)$$

kde:

$H_{T,ie}$  součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru (i) do venkovního prostředí (e) [W/K];

$H_{T,iue}$	součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru (i) do venkovního prostředí (e) nevytápěným prostorem (u) [W/K];
$H_{T,ig}$	součinitel tepelné ztráty prostupem do zeminy z vytápěného prostoru (i) do zeminy (g) v ustáleném stavu [W/K];
$H_{T,ij}$	součinitel tepelné ztráty z vytápěného prostoru (i) do sousedního prostoru (j) vytápěného na výrazně jinou teplotu [W/K];
$\theta_{int,i}$	vnitřní výpočtová teplota vytápěného prostoru [°C];
$\theta_e$	venkovní výpočtová teplota [°C].

V rovnici (6-2) má největší podíl ze všech součinitelů součinitel  $H_{T,ie}$  [W/K]. V práci je pro jeho výpočet použit vztah (6-3), který zahrnuje všechny stavební části a lineární tepelné mosty.

$$H_{T,ie} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot e_k + \sum_l \Psi_l \cdot l_l \cdot e_l \quad (6-3)$$

kde:

$A_k$	plocha stavební části (k) [m <sup>2</sup> ];
$e_k; e_l$	korekční činitel vystavení povětrnostním vlivům při uvažování klimatických vlivů jako je různé oslunění, pohlcování vlhkosti stavebními díly, rychlost větru a teplota [-];
$U_k$	součinitel prostupu tepla stavební částí (k) [W/m <sup>2</sup> .K];
$l_l$	délka lineárních tepelných mostů (l) mezi vnitřním a venkovním prostředím [m];
$\Psi_l$	činitel lineárního prostupu tepla lineárního tepelného mostu [W/m.K].

Tepelná ztráta větráním  $\phi_{V,i}$  [W] představuje výkon potřebný na ohřev venkovního vzduchu, který je přiváděn do místnosti.

$$\phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad (6-4)$$

kde:

$H_{V,i}$	součinitel tepelné ztráty větráním [W/K];
$\theta_{int,i}$	vnitřní výpočtová teplota vytápěného prostoru [°C];

$\theta_e$  venkovní výpočtová teplota [ $^{\circ}\text{C}$ ].

Součinitel návrhové tepelné ztráty při uvažování konstantní hustoty a měrné tepelné kapacity vzduchu závisí na průtoku vzduchu dle vztahu (6-5).

$$H_{V,i} = 0,34 \cdot \dot{V}_i \quad (6-5)$$

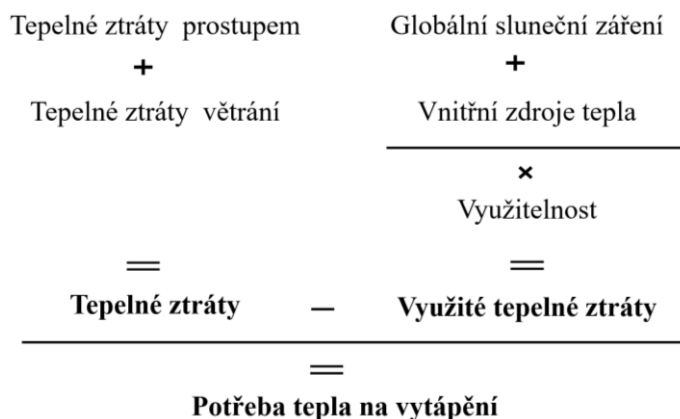
kde:

$\dot{V}_i$  výměna vzduchu ve vytápěném prostoru (i) [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

Tepelné ztráty jednotlivých místností každého domu a jeho variant jsou shrnuty v tabulce v elektronických přílohách.

## 6.2. Potřeba tepla na vytápění

Množství tepla potřebné k dosažení vnitřní požadované teploty se nazývá potřeba tepla na vytápění. Tato hodnota vypovídá o tepelně izolačních vlastnostech budovy a je z ní počítána hodnota měrné potřeby tepla na vytápění, pomocí které se budovy řadí do energetických kategorií. Postup výpočtu potřeby tepla na vytápění je graficky znázorněn na Obr. 6.1.



Obr. 6.1 Grafické znázornění výpočtu potřeby tepla na vytápění

Při výpočtu potřeby tepla na vytápění třech rodinných domů byly použity vztahy uvedené v normě ČSN EN ISO 13 790. Potřeba tepla na vytápění  $Q_H$  [ $\text{kWh}/\text{měsíc}$ ] je vypočítána pomocí vztahu (6-6).

$$Q_H = Q_L - \eta \cdot Q_G \quad (6-6)$$

kde:

$Q_L$	celková potřeba tepla [kWh/měsíc];
$\eta$	faktor využitelnosti tepelných zisků pro vytápění [-];
$Q_G$	celkové tepelné zisky [kWh/měsíc].

Tepelná ztráta  $Q_L$  [kWh/měsíc] vychází ze součinu měrné tepelné ztráty budovy, rozdílem teplot mezi vnitřním a venkovním prostředím a délkou výpočtového intervalu v daném kroku (počet hodin v měsíci).

$$Q_L = H \cdot (\theta_i - \theta_e) \cdot t \quad (6-7)$$

kde:

$H$	měrná tepelná ztráta budovy [W/K];
$\theta_i$	požadovaná vnitřní teplota [°C];
$\theta_e$	venkovní výpočtová teplota [°C];
$t$	délka výpočtového intervalu [h].

Měrná tepelná ztráta je dána součtem měrné tepelné ztráty prostupem tepla a měrné tepelné ztráty větráním. Součinitel měrné tepelné ztráty větráním je stanoven pro typické užívání, konkrétní uvažované hodnoty větrání jsou pro každou místnost definovány v příloze této práce a ve výpočtovém programu na příloženém CD. Návrh větrání v této práci vychází z normy ČSN EN 15665 a ČSN 73 0540. Pro každý výpočtový interval (jeden měsíc) byla uvažována individuální venkovní výpočtová teplota.

Pro tepelnou bilanci jsou nezanedbatelné celkové tepelné zisky  $Q_G$  [kWh/měsíc]. Ty zahrnují vnitřní tepelné zisky (metabolické teplo osob, osvětlení, teplo od spotřebičů, tepelné ztráty technických rozvodů) a solární (vnější) tepelné zisky. To popisuje vztah (6-8).



$$Q_G = Q_i + Q_s \quad (6-8)$$

$Q_i$  vnitřní tepelné zisky [kWh/měsíc];

$Q_s$  solární tepelné zisky [kWh/měsíc];

Vnitřní tepelné zisky uvažují při výpočtu v objektu čtyři osoby, se 70 % přítomností, každou s tepelným výkonem 100 W. K tomu je ještě přičteno 100 W, které jsou uvažovány jako teplo uvolněné do prostoru provozem domácích spotřebičů.

Solární tepelné zisky, které tvoří podstatnou část tepelných zisků, závisí na energii solárního záření v dané lokalitě, orientaci sběrných ploch, trvalém stínění a charakteristikách solární propustnosti a pohltivosti sběrných ploch. Výpočet solárních tepelných zisků jednotlivých domů, který byl proveden dle ČSN EN ISO 13 790 a TNI 73 0329, je dostupný ve výpočtovém souboru na přiloženém CD.

### 6.3. Příprava teplé vody

Pro všechny rodinné domy byla uvažována stejná spotřeba teplé vody, teplá voda je ohřívána zdrojem tepla a skladována v zásobníku teplé vody. Potřeba tepla na přípravu teplé vody  $Q_{TV,d}$  [kWh/den] byla vypočítána pomocí vztahu (6-9).

$$Q_{TV,d} = \frac{V_{TV,d} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{tv} - t_{sv})}{3\,600\,000} \cdot (1 + z) \quad (6-9)$$

kde:

$V_{TV,d}$  průměrná denní potřeba teplé vody [m<sup>3</sup>/den];

$\rho$  hustota vody [kg/m<sup>3</sup>];

$c$  měrná tepelná kapacita vody [J/kg.K];

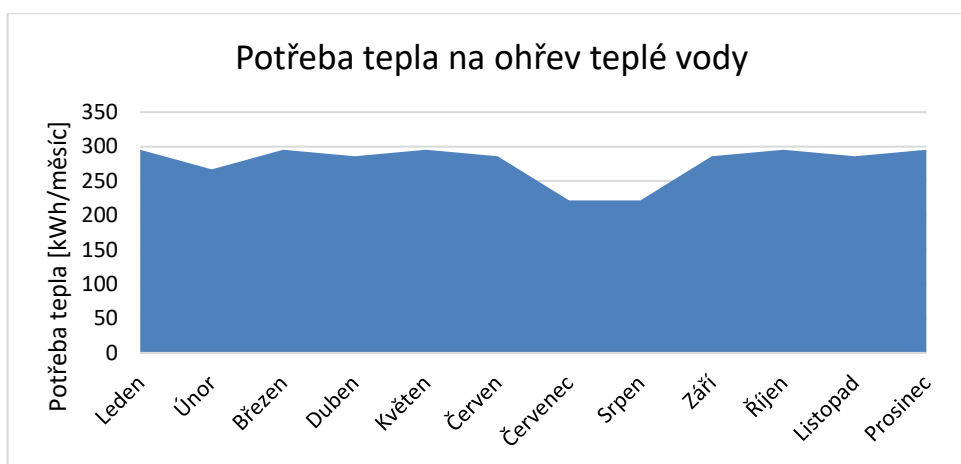
$t_{tv}$  teplota teplé vody [°C];

$t_{sv}$  teplota studené vody [°C];

$z$  koeficient tepelné ztráty přípravy TV [-].

Výpočet předpokládá, že každá osoba spotřebuje denně 40 l teplé vody (v této práci uvažujeme 4 osoby). Ztrátový součinitel navyšuje celkovou potřebu tepla o 30 %

[113], což je hodnota pro standardně navržené tloušťky tepelné izolace, délky rozvodů teplé vody v rodinném domě a standardním časovým profilům odběru. Hodnota celkové roční potřeby tepla na ohřev teplé vody uvažuje ještě snížení potřeby vody o 25 % v červenci a srpnu, které vychází z dlouhodobých měření spotřeby teplé vody v létě [36]. Graf potřeby tepla na ohřev teplé vody je na Obr. 6.2. Hodnota teoretické roční potřeby tepla na přípravu teplé vody je 3,33 MWh/rok a je uvažována pro všechny domy shodná.



Obr. 6.2 Potřeba tepla na ohřev na ohřev teplé vody v průběhu roku

#### 6.4. Energetická náročnost a hodnocení domů

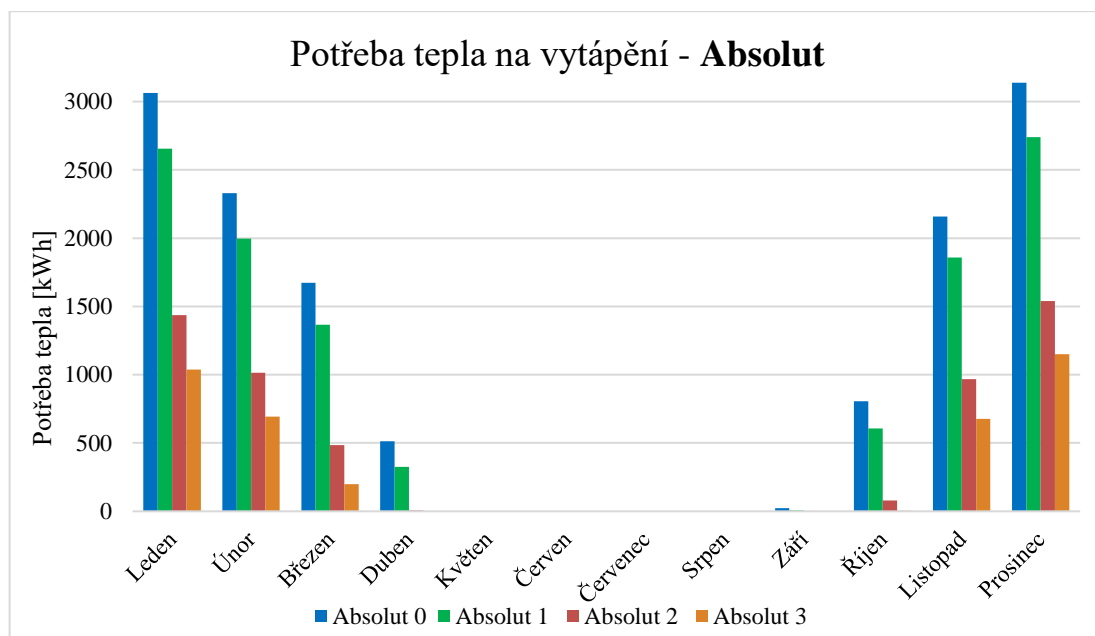
V této kapitole jsou pro jednotlivé domy graficky znázorněny potřeby tepla na vytápění jednotlivých měsíců v roce pro jednotlivé varianty třech rodinných domů. Dále jsou v tabulkách pod nimi uvedeny vypočtené základní tepelně technické parametry. Konkrétně tepelná ztráta, potřeba tepla na vytápění, měrná potřeba tepla na vytápění a průměrný součinitel prostupu tepla.

Tabulky také hodnotí, zda jednotlivé varianty splňují podmínky dle ČSN 73 0540 pro nízkoenergetický nebo pasivní dům uvedené v kapitolách 2.1 a 2.2. Nízkoenergetický dům je hodnocen z hlediska měrné potřeby tepla na vytápění. Pasivní dům je detailně hodnocen z hlediska měrné potřeby tepla na vytápění a průměrného součinitele prostupu tepla. Při výpočtu měrné potřeby primární energie u pasivního domu byla použita přibližná hodnota pomocné elektrické energie na provoz energetických systémů budovy, která byla vypočítaná v softwaru *ENERGIE EDU*.

Poslední řádek tabulek hodnotí, zda byly splněny podmínky energetické náročnosti u budov s téměř nulovou spotřebou energie (NZEB), které vychází z vyhlášky 78/2013 Sb. (kapitola 2.4), kde je stanoveno plnění požadavků na průměrný součinitel prostupu tepla, celkovou dodanou energii a neobnovitelnou primární energii. V této diplomové práci je detailněji řešena pouze vhodnost obálkové konstrukce pro splnění jedné z podmínek energetické náročnosti u budov s téměř nulovou spotřebou energie, a to pouze vzhledem k průměrnému součiniteli prostupu tepla, ačkoli pro plnění energetické náročnosti je třeba splnění i dalších ukazatelů. Ostatní ukazatele energetické náročnosti (celková dodaná energie, neobnovitelná primární energie) byly orientačně ověřeny výpočtem v softwaru *ENERGIE EDU*.

#### 6.4.1. Dům Absolut

Potřeba tepla na vytápění v jednotlivých měsících domu Absolut a jeho variant je na Obr. 6.3. Se zvyšujícím číslem varianty se potřeba tepla snižuje, přičemž u varianty 3 se roční potřeba tepla blíží roční potřebě na ohřev teplé vody vypočítané v kapitole 6.3. Mezi variantami 0 a 1 je dobře patrný vliv tepelných mostů, jehož vliv je u variantě 0 uvažován o 30 % nižší.



Obr. 6.3 Potřeba tepla na vytápění domu Absolut

Jak uvádí Tab. 6.1, pouze obálka varianty 0 domu Absolut nesplňuje kritéria vyhlášky 78/2013 Sb.\*\* vzhledem k průměrnému součiniteli prostupu tepla. Dle požadavků ČSN 73 0540\* jsou Varianty 0 a 1 vyhodnoceny jako nízkoenergetické rodinné domy a varianty 2 a 3 jako domy pasivní.

Tab. 6.1 *Tepelně technické parametry a hodnocení domu Absolut*

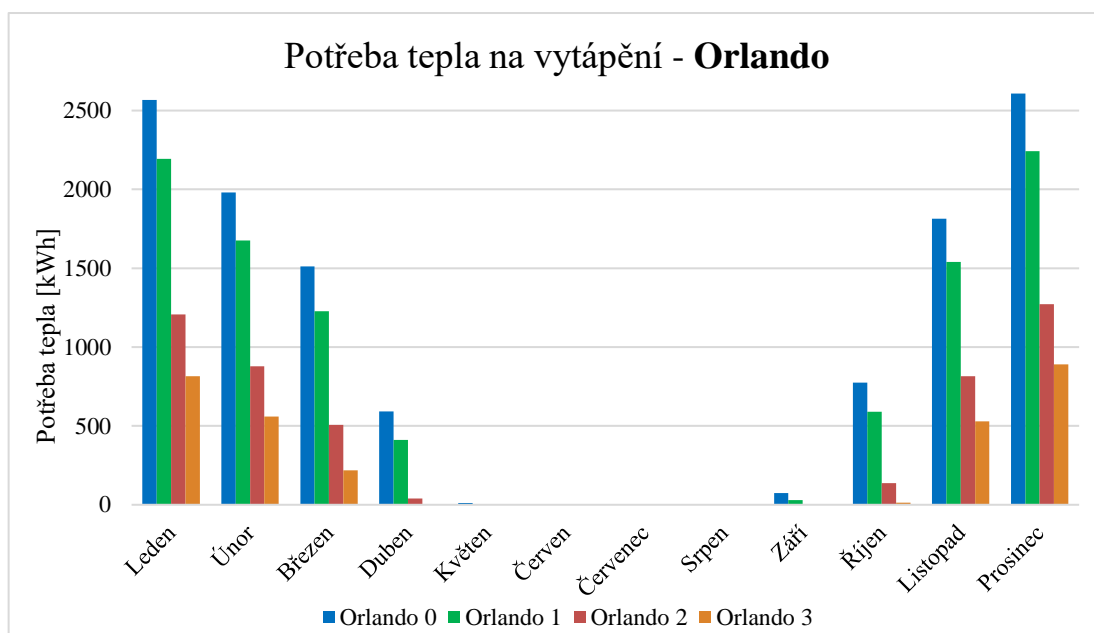
Varianta domu	0	1	2	3
Tepelná ztráta budovy [kW]	7,7	6,9	4,3	3,5
Roční potřeba tepla na vytápění [MWh/rok]	13,7	11,6	5,5	3,8
Měrná potřeba tepla na vytápění [kWh/m <sup>2</sup> .rok]	44,8	37,7	17,6	11,6
Průměrný součinitel prostupu tepla [W/m <sup>2</sup> .K]	0,37	0,32	0,23	0,19
Hodnocení budovy dle ČSN 73 0540*	Nízkoenergetický	Nízkoenergetický	Pasivní	Pasivní
Obálka budovy odpovídá NZEB dle vyhlášky 78/2013 Sb.**	NE	ANO	ANO	ANO

\* Při výpočtu měrné potřeby primární energie bylo použito zjednodušení popsané v úvodu kapitoly 6.4.

\*\* Detailně byl vypočítán požadavek na průměrný součinitel prostupu tepla budovy. Bylo provedeno zjednodušení při výpočtu celkové dodané a neobnovitelné primární energie, popsané v úvodu kapitoly 6.4.

#### 6.4.2. Dům Orlando

Potřeba tepla na vytápění domu Orlando a jeho variant je na Obr. 6.4. U varianty 2 se potřeba tepla na vytápění blíží potřebě tepla na přípravu teplé vody a u varianty 3 je dokonce zapotřebí méně tepla na vytápění, než na přípravu teplé vody (vypočítané v kapitole 6.3).



Obr. 6.4 Potřeba tepla na vytápění domu Orlando

Pouze obálka domu varianty 0 nesplňuje kritéria vyhlášky 78/2013 Sb. vzhledem k průměrnému součiniteli prostupu tepla. Dle požadavků ČSN 73 0540\* pak varianty 0 a 1 nemohou být vyhodnoceny jako nízkoenergetické rodinné domy, tak může být zařazena až varianta 2. Varianta 3 je pak zařazena jako pasivní dům. Tato zjištění shrnuje Tab. 6.2.

Tab. 6.2 Tepelně technické parametry a hodnocení domu Orlando

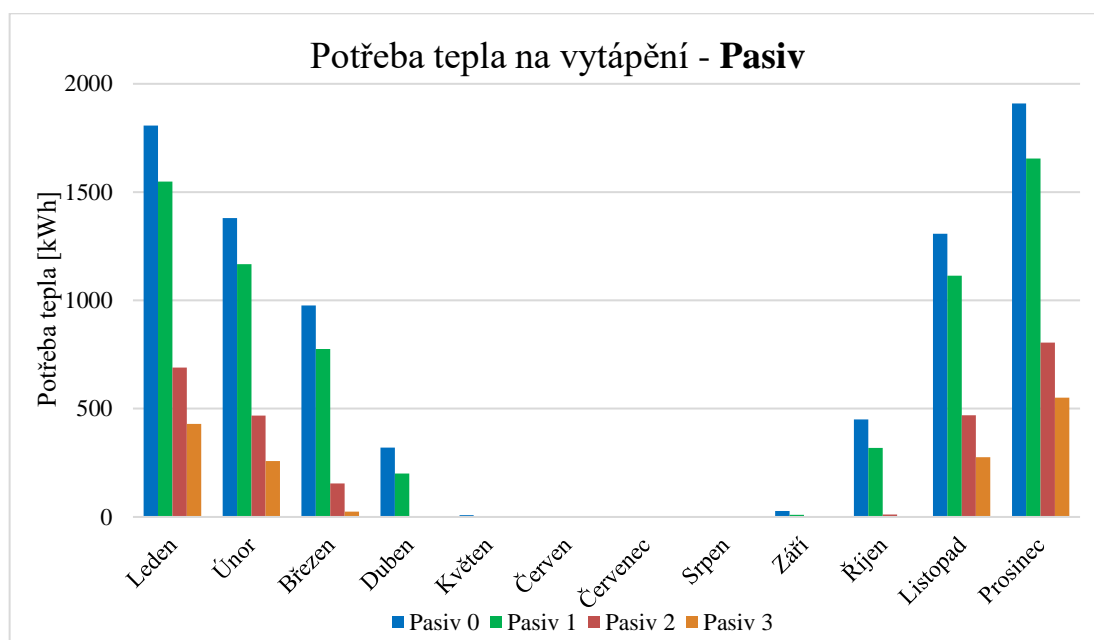
Varianta domu	0	1	2	3
Tepelná ztráta budovy [kW]	6,4	5,6	3,6	2,8
Roční potřeba tepla na vytápění [MWh/rok]	11,9	9,9	4,9	3
Měrná potřeba tepla na vytápění [kWh/m <sup>2</sup> .rok]	60,7	50,4	24,2	14,5
Průměrný součinitel prostupu tepla [W/m <sup>2</sup> .K]	0,35	0,3	0,22	0,17
Hodnocení obálky budovy dle ČSN 73 0540 *	Horší než nízkoenergetický	Horší než nízkoenergetický	Nízkoenergetický	Pasivní
Obálka budovy odpovídá NZEB dle vyhlášky 78/2013 Sb.**	NE	ANO	ANO	ANO

\* Při výpočtu měrné potřeby primární energie bylo použito zjednodušení popsané v úvodu kapitoly 6.4.

\*\* Detailně byl vypočítán požadavek na průměrný součinitel prostupu tepla budovy. Bylo provedeno zjednodušení při výpočtu celkové dodané a neobnovitelné primární energie, popsané v úvodu kapitoly 6.4.

### 6.4.3. Dům Pasiv

Potřeba tepla na vytápění posledního ze tří domů a jeho variant je na Obr. 6.5. U domu pasiv je nižší než potřeba tepla na přípravu teplé vody (vypočítaná v kapitole 6.3) dokonce u dvou variant, a to u varianty 2 a 3.



Obr. 6.5 Potřeba tepla na vytápění domu Pasiv

Dle údajů v Tab. 6.3, obálka všech variant domu Pasiv splňuje kritéria vyhlášky 78/2013 Sb. vzhledem k průměrnému součiniteli prostupu tepla. Dle požadavků ČSN 73 0540\* pak varianty 0 a 1 jsou vyhodnoceny jako nízkoenergetické rodinné domy, a varianty 2 a 3 jako domy pasivní.

Tab. 6.3 *Tepelně technické parametry a hodnocení domu Pasiv*

Varianta domu	0	1	2	3
Tepelná ztráta budovy [kW]	4,9	4,4	2,6	2,1
Roční potřeba tepla na vytápění [MWh/rok]	8,2	6,8	2,6	1,5
Měrná potřeba tepla na vytápění [kWh/m <sup>2</sup> .rok]	41,1	34,1	12,7	7,3
Průměrný součinitel prostupu tepla [W/m <sup>2</sup> .K]	0,29	0,25	0,18	0,14
Hodnocení obálky budovy dle ČSN 73 0540*	Nízkoenergetický	Nízkoenergetický	Pasivní	Pasivní
Obálka budovy odpovídá NZEB dle vyhlášky 78/2013 Sb. **	ANO	ANO	ANO	ANO

\* Při výpočtu měrné potřeby primární energie bylo použito zjednodušení popsané v úvodu kapitoly 6.4.

\*\* Detailně byl vypočítán požadavek na průměrný součinitel prostupu tepla budovy. Bylo provedeno zjednodušení při výpočtu celkové dodané a neobnovitelné primární energie, popsané v úvodu kapitoly 6.4.

#### 6.4.4. Vyhodnocení variant domů

U všech domů platí, že čím vyšší je číslo varianty tím menší je potřeba tepla. Mezi variantami 0 a 1, uvažujeme rozdíl pouze ve větším důrazu na dodržování správných technologických postupů při stavbě domu vzhledem k tepelným mostům. Vliv tepelných mostů je pak mezi variantami v grafech velmi patrný.

Největší tepelnou ztrátu a potřebu tepla na vytápění má ve všech variantách uvažovaný dům Absolut, nejnižší naopak dům Pasiv. To je dáno především tvarem, respektive plochou jejich obálky. Tvar domu Pasiv je ze všech domů nejkompaktnější a nejúspornější. Díky tomu také jeho obálka plní nejsnáze, a to u všech variant, požadavky vyhlášky 78/2013 Sb. pro NZEB, vzhledem k průměrnému součiniteli prostupu tepla. U ostatních domů nespĺňuje toto kritérium pouze varianta 0. Pro domy

v této práci pro splnění tohoto kritéria stačilo, aby hodnoty součinitelů prostupu tepla jednotlivých konstrukcí byli stejné nebo o něco lepší, než jsou doporučené hodnoty uvedené v *ČSN 73 0540*.

To napovídá, že podmínky ve vyhlášce týkající se průměrného součinitele prostupu tepla vztaženého k referenční budově, nutí projektanta především ke zlepšení tepelně technických vlastností budov, nicméně nekladou tak přísné požadavky na kompaktní a úporný tvar budovy.

Všechny varianty 2 a 3 domů, kromě varianty 2 u domu Orlando byly dle *ČSN 73 0540* vzhledem k průměrnému součiniteli prostupu tepla a měrné potřebě tepla na vytápění identifikovány jako pasivní domy. U některých domů se ve variantách 2 a 3 potřeba tepla na vytápění přiblížila nebo dokonce je nižší, než je potřeba tepla na přípravu teplé vody. Tento jev bývá typický u pasivních domů.

## **7. ZVOLENÉ ZDROJE TEPLA**

V kapitole jsou popsány konkrétní zvolené zdroje tepla, schémata jejich zapojení, cena a výpočet provozních nákladů všech domů a jejich variant.

Pro tuto práci byly všechny zdroje tepla vybrány od firmy *Buderus*, která poskytuje dobrou technickou dokumentaci a zároveň ceny všech zdrojů tepla i všech součástí sestav [37].

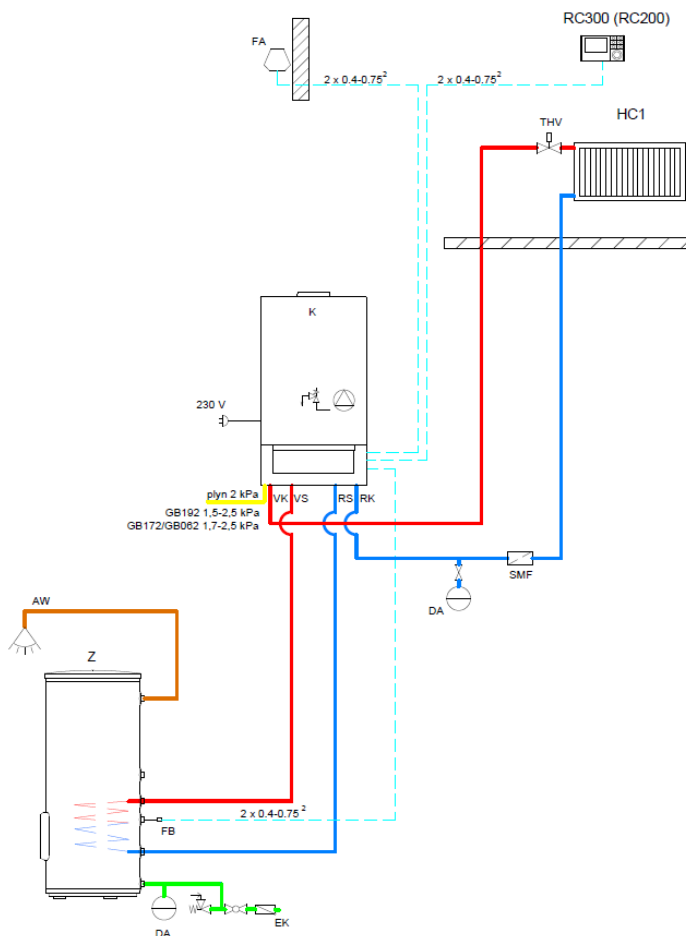
Veškeré výpočty a dosazené hodnoty, které nejsou v této kapitole uvedeny jsou k dispozici ve výpočetních souborech na příloženém CD. V kapitolách jsou uvedeny celkové investiční a provozní výdaje zdrojů tepla.

### **7.1. Plynový kondenzační kotel**

Zásadní roli při výběru zdroje tepla hraje celková tepelná ztráta domů. Byl vybrán plynový kondenzační kotel *Logamax plus GB172-14*, který dokáže modulovat svůj výkon v potřebném rozsahu, tak aby byl vhodný pro všechny domy. Vhodné schématické zapojení tohoto zdroje tepla je na Obr. 7.1 [37]. Jedná se o ekvitermní regulaci s vazbou na vnitřní teplotu a přednostní přípravou teplé vody.

Výpočty byly provedeny na základě údajů kotle uvedených v produktovém listu, který je dostupný na příloženém CD.





Obr. 7.1 Schematické zapojení plynového kondenzačního kotle [37]

Pro získání skutečné potřeby tepla na vytápění a ohřev teplé vody  $Q_c$  [kWh/rok], kterou odeberou jednotlivé varianty jednotlivých domů od dodavatele plynu byl použit vztah (7-1) [38].

$$Q_c = \frac{(Q_{VYT,r} + Q_{TV,r})}{\eta_R \cdot \eta_O \cdot \eta_K} \quad (7-1)$$

kde:

- $Q_{TV,r}$  roční potřeba tepla na ohřev teplé vody [kWh/rok];
- $Q_{VYT,r}$  roční potřeba tepla na vytápění [kWh/rok];
- $\eta_R$  účinnost rozvodu tepelné energie [-];
- $\eta_O$  účinnost regulace [-];
- $\eta_K$  účinnost zdroje tepla [-].

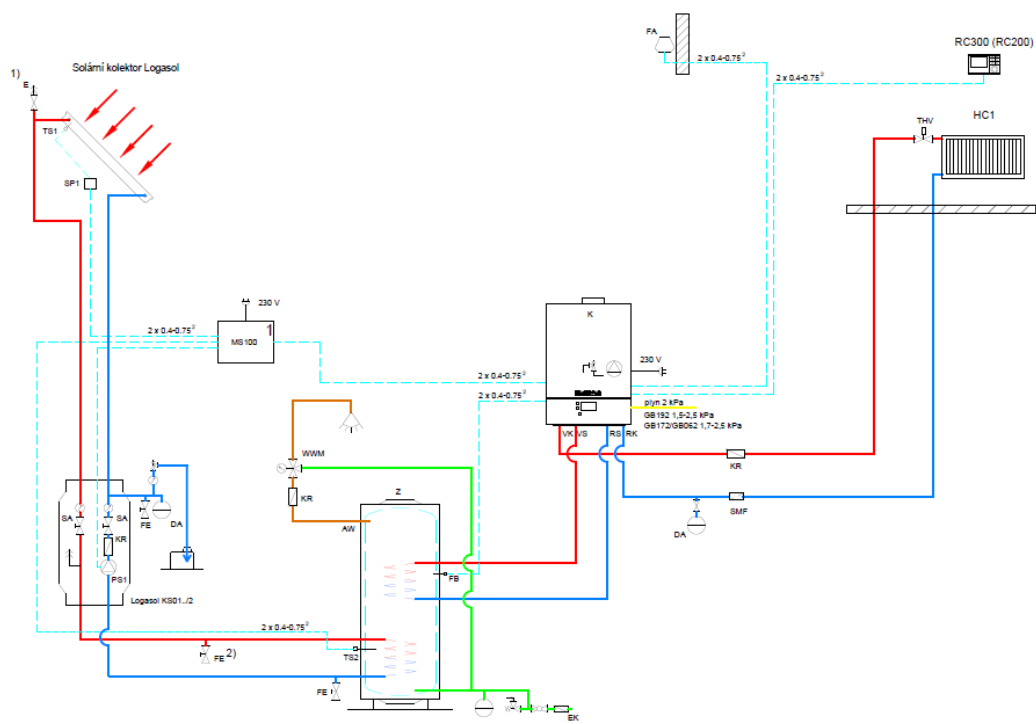
Tento výpočet byl proveden pro všechny varianty třech rodinných domů. Dále byla vypočtena cena dodané energie včetně poplatků. Výpočet byl proveden z průměru ceny tří dodavatelů plynu platných 1. 1. 2018. [39]. Celkové investiční a provozní výdaje vybraného plynového kondenzačního kotle v kombinaci se všemi variantami třech rodinných domů jsou uvedeny v Tab. 7.1.

Tab. 7.1 Celkové investiční a provozní výdaje – plynový kondenzační kotel

Zdroj tepla	Plynový kondenzační kotel											
Pořizovací výdaje zdroje tepla [tis. Kč]	66,5											
Dům	Absolut 0	Absolut 1	Absolut 2	Absolut 3	Orlando 0	Orlando 1	Orlando 2	Orlando 3	Pasiv 0	Pasiv 1	Pasiv 2	Pasiv 3
Roční výdaje na provoz [tis. Kč]	27,7	24,6	15,9	13,3	25,1	22,2	14,9	12,3	19,7	17,7	11,6	9,9

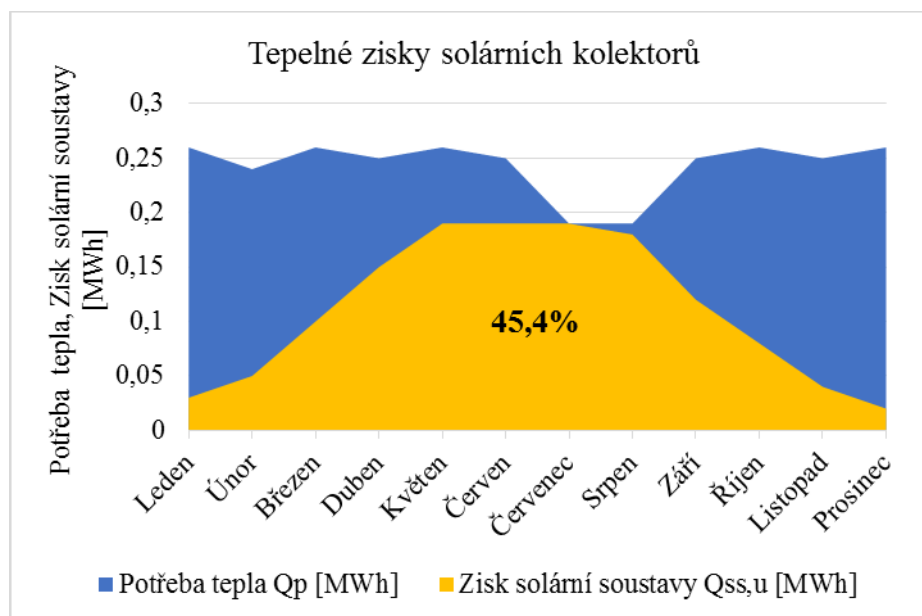
## 7.2. Plynový kondenzační kotel a solární kolektory

V této variantě byly k plynovému kotli z kapitoly 7.1 vybrány trubkové vakuové solární kolektory Logasol SKR10 CPC. Vhodné schéma zapojení tohoto zdroje tepla je na Obr. 7.2 [37]. Vhodné je použití ekvitermní regulace s vazbou na vnitřní teplotu a přednostní přípravou teplé vody.



Obr. 7.2 Schematické zapojení plynového kondenzačního kotle a solárních kolektorů [37]

Solární kolektory v této práci jsou použity pouze na přípravu teplé vody a jejich plocha je navržena tak, aby, aby zajistili její téměř 100 % pokrytí v letních měsících. Na Obr. 7.3 je dobře vidět potřebná energie k ohřevu teplé vody a energie vyprodukovaná solární soustavou v jednotlivých měsících. Solární zisky tvoří 45,4 % celkové potřebné energie pro ohřev TV. Zajišťují je 3 trubkové kolektory (celkem 18 trubic) o celkové ploše 3 m<sup>2</sup>.



Obr. 7.3 Tepelné zisky solárních kolektorů

Výpočet potřebné plochy byl proveden v souladu s TNI 73 0302 [40]. Do něj byly zadány parametry trubkového kolektoru z produktového listu výrobce. Ten je dostupný na příloženém CD. Potřeba energie byla u všech variant snížena, právě o energii dodanou solárními kolektory. Množství odebrané energie a její cena byla dále stanovena stejně jako v kapitole 8.1. Investiční a roční provozní výdaje vybraného plynového kondenzačního kotle v kombinaci se všemi variantami třech rodinných domů jsou uvedeny v Tab. 7.2.

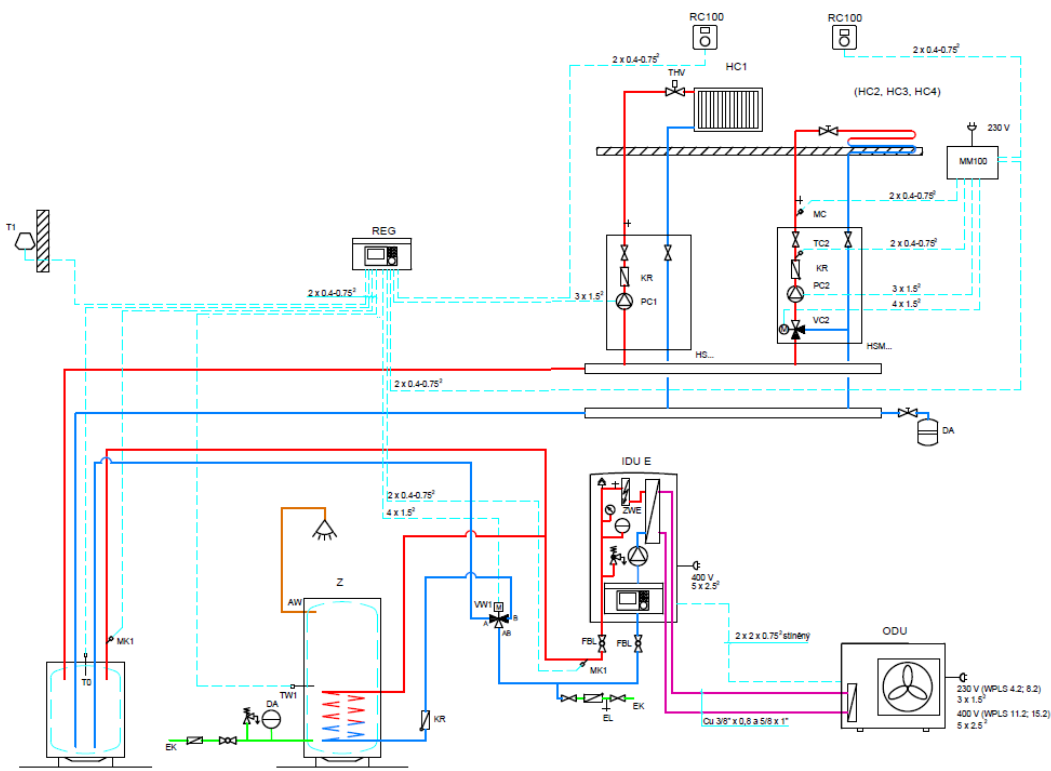
Tab. 7.2 Celkové investiční a provozní výdaje – plynový kondenzační kotel a solární kolektory

Zdroj tepla	Plynový kondenzační kotel a solární kolektory											
Požizovací výdaje zdroje tepla [tis. Kč]	159,2											
Dům	Absolut 0	Absolut 1	Absolut 2	Absolut 3	Orlando 0	Orlando 1	Orlando 2	Orlando 3	Pasiv 0	Pasiv 1	Pasiv 2	Pasiv 3
Roční výdaje na provoz [tis. Kč]	25,5	19,8	11	8,2	23	17,4	9,9	7	17,6	12,9	6,3	4,6

### 7.3. Tepelné čerpadlo vzduch-voda

Pro všechny domy bylo vybráno vhodné tepelné čerpadlo vzduch/voda Logatherm WPLS 4.2., které má zabudovanou topnou patronu pro tzv. bivalentní provoz. Vhodné schéma zapojení tohoto zdroje tepla je na Obr. 7.4 [37].

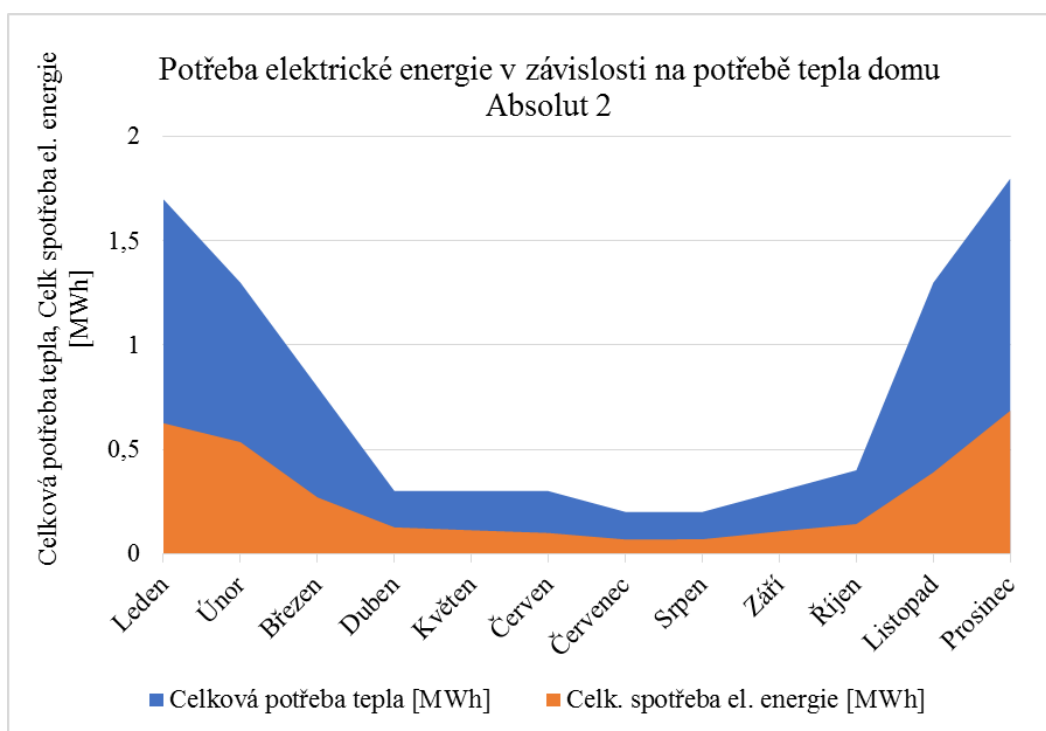
Je zde použita ekvitermní regulace s vazbou na vnitřní teplotu a přednostní příprava teplé vody, přičemž je uvažována i akumulční nádoba pro akumulaci tepla pro otopnou soustavu. Veškeré výpočty byly provedeny na základě parametrů tepelného čerpadla poskytnutých výrobcem v produktovém listu, dostupném na příloženém CD.



Obr. 7.4 Schematické zapojení tepelného čerpadla [37]

Výpočet celkové potřebné energie za rok pro provoz konkrétního tepelného čerpadla, které poskytuje teplo pro ohřev teplé vody a vytápění, byl pro každý dům a jeho variantu proveden v souladu s *TNI 73 0351* v [41].

Pro každý dům byly užity vypočtené vstupní parametry domu a byla uvažována nízkoteplotní otopná soustava a parametry tepelného čerpadla uvedené výrobcem. Výsledkem provedeného výpočtu je roční potřeba elektrické energie pro jednotlivé domy. Z této hodnoty jsou vypočítány roční výdaje na provoz tepelného čerpadla. Na Obr. 7.5 je ukázka průběhu potřeby tepla a spotřebované energie tepelným čerpadlem pro dům Absolut verze 2.



Obr. 7.5 Potřeba elektrické energie tepelného čerpadla k zajištění potřeby tepla domu Absolut 2

Roční výdaje na elektrickou energii společně s investičními výdaji do tohoto zdroje tepla, jsou uvedeny v Tab. 7.3. Výpočet byl proveden z průměru cen elektrické energie tří dodavatelů k byly stanoveny z průměrné ceny tří dodavatelů platných 1. 1. 2018, pro příslušnou sazbu a jističe navrženého tepelného čerpadla dle [42].

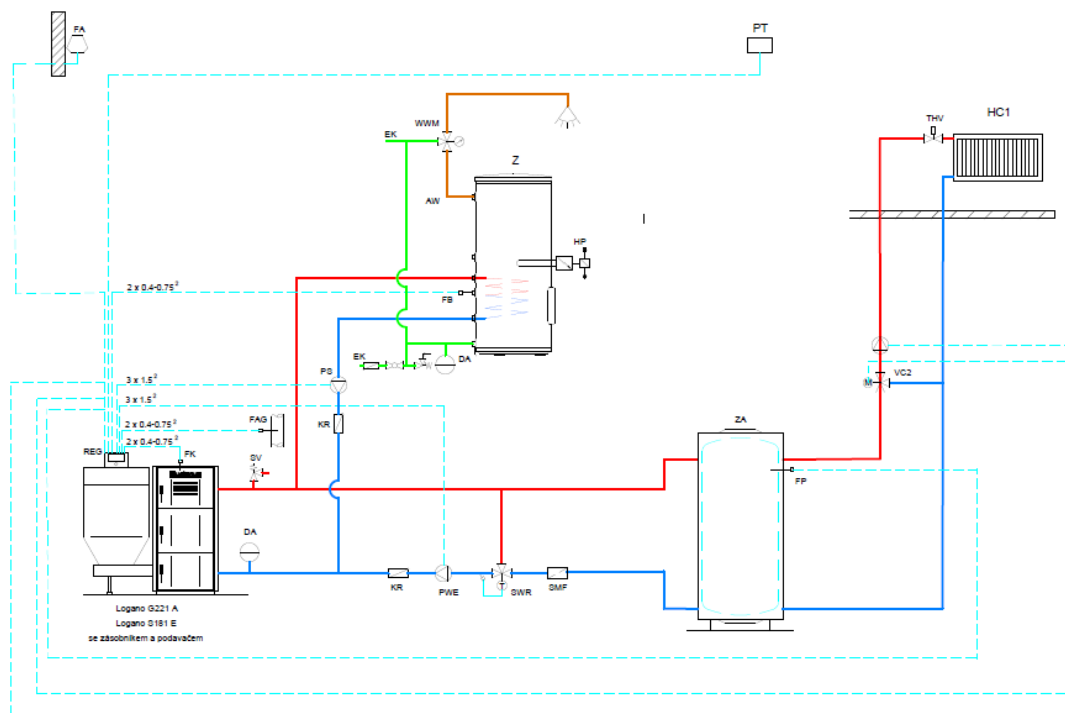
Tab. 7.3 Celkové investiční a provozní výdaje – tepelné čerpadlo vzduch-voda

Zdroj tepla	Tepelné čerpadlo vzduch-voda											
Požizovací výdaje zdroje tepla [tis. Kč]	175,8											
Dům	Absolut 0	Absolut 1	Absolut 2	Absolut 3	Orlando 0	Orlando 1	Orlando 2	Orlando 3	Pasiv 0	Pasiv 1	Pasiv 2	Pasiv 3
Roční výdaje na provoz [tis. Kč]	18,8	16,9	12,4	11	17,1	15,6	11,8	10,4	14,3	13,2	10	9,2

#### 7.4. Kotel na pelety

Jako vhodný kotel spalující pelety byl pro všechny domy a jejich varianty vybrán kotel *Logano S181 15 E* s automatickým zásobníkem a podavačem pelet. Ve třech měsících letního období je uvažován elektrický ohřev teplé vody pomocí topné tyče integrované v zásobníku teplé vody. Schematické zapojení je na Obr. 7.6.

U tohoto zdroje uvažujeme ekvitermní regulaci s vazbou na vnitřní teplotu s přednostním ohřevem teplé vody. Dále byla ke kotli přidána také akumulční nádoba pro otopnou soustavu, aby bylo zabráněno cyklování kotle, které by mohlo mít nepříznivý vliv na jeho životnost. Ve výpočtech jsou uvažovány parametry uvedené výrobcem v produktovém listu (viz příložené CD).



Obr. 7.6 Schematické zapojení kotle na pelety [37]

Stejně jako v kapitole 7.1 s plynovým kondenzačním kotlem je třeba získat skutečnou potřebu tepla dle rovnice (7-1).

Pro získání množství paliva, které je nutné pořídit, je třeba vydělit skutečnou potřebu tepla výhřevností paliva. V tomto případě výhřevností konkrétních pelet s označením A1.

Jako dodavatel pelet byla vybrána firma BIOMAC, která při porovnání dle [43] s konkurencí má průměrné ceny pelet a nabízí dopravu pelet zdarma.

Investiční a roční provozní výdaje vybraného kotle na pelety v kombinaci se všemi variantami třech rodinných domů jsou uvedeny v Tab. 7.4.

Tab. 7.4 Celkové investiční a provozní výdaje – kotel na tuhá paliva

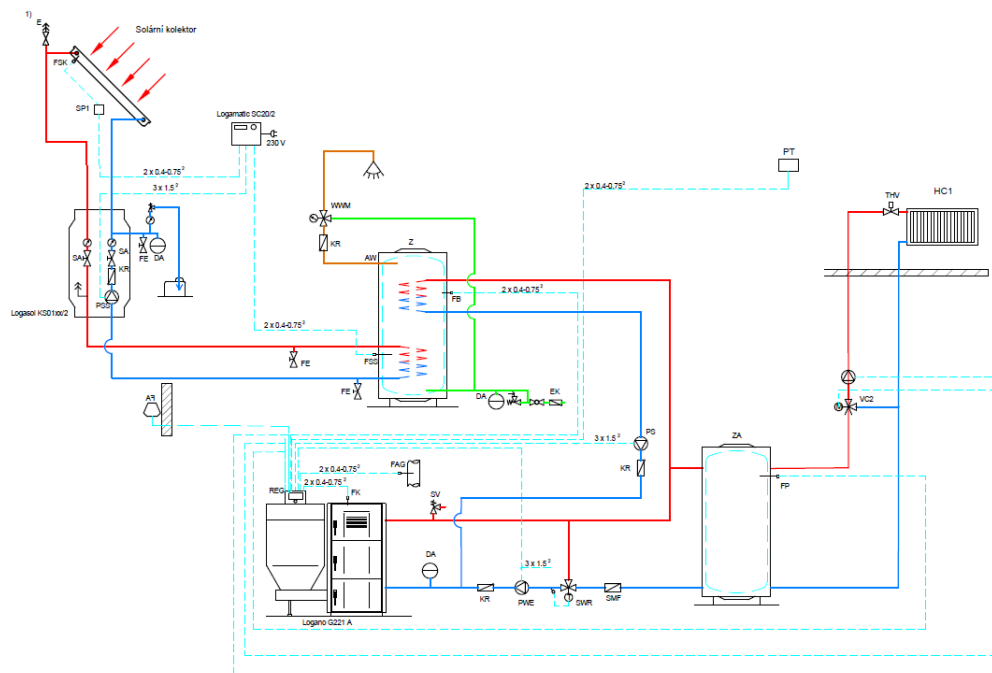
Zdroj tepla	Kotel na tuhá paliva											
Požizovací výdaje zdroje tepla [tis. Kč]	165,7											
Dům	Absolut 0	Absolut 1	Absolut 2	Absolut 3	Orlando 0	Orlando 1	Orlando 2	Orlando 3	Pasiv 0	Pasiv 1	Pasiv 2	Pasiv 3
Roční výdaje na provoz [tis. Kč]	34	30,2	19,4	16,3	30,9	27,3	18,2	15	24,2	21,7	14,2	12,3

## 7.5. Kotel na tuhá paliva a solární kolektory

Ke kotli vybranému v předchozí podkapitole 7.4 jsou v této variantě přidány solární kolektory, které byly použity také v kombinaci s plynovým kondenzačním kotlem v podkapitole 7.2.

Výpočet vychází z předchozích dvou kapitol. Schématické zapojení kotle na pelety se solárními kolektory je na Obr. 7.7.

Je zde uvažovaná ekvitermní regulace s vazbou na vnitřní teplotu s přednostním ohřevem teplé vody. Také v tomto případě byla ke kotli přidána akumulární nádoba pro otopnou soustavu, aby bylo zabráněno cyklování kotle, které by mohlo mít nepříznivý vliv na jeho životnost. Ve výpočtech jsou uvažovány parametry uvedené výrobcem v produktovém listu, který viz příložené CD.



Obr. 7.7 Schematické zapojení kotle na pelety se solárními kolektory [37]

Investiční a roční provozní výdaje vybraného kotle na pelety se solárními kolektory v kombinaci se všemi variantami třech rodinných domů jsou uvedeny v Tab. 7.5.

Tab. 7.5 Celkové investiční a provozní výdaje – kotel na tuhá paliva a solární kolektory

Zdroj tepla	Kotel na tuhá paliva a solární kolektory											
Pořizovací výdaje zdroje tepla [tis. Kč]	210,2											
Dům	Absolut 0	Absolut 1	Absolut 2	Absolut 3	Orlando 0	Orlando 1	Orlando 2	Orlando 3	Pasiv 0	Pasiv 1	Pasiv 2	Pasiv 3
Roční výdaje na provoz [tis. Kč]	27,7	23,9	13,1	10	24,5	20,9	11,9	8,6	17,8	15,4	7,9	6

## 8. EKONOMICKÉ POROVNÁNÍ Z HLEDISKA REÁLNÉ DOBY NÁVRATNOSTI

V této kapitole jsou graficky vyjádřeny celkové výdaje v každé z variant v čase, přičemž je uvažováno se 4 % růstem ročních nákladů. Celkovými výdaji v daném roce rozumíme součet prvotních investičních výdajů a každoročních výdajů na dodané energie od začátku až do daného roku včetně.



Porovnáním celkových nákladů pro jednotlivé dvojice variant stanovíme reálnou dobu návratnosti vždy varianty s vyšší počáteční investicí. Reálné doby návratnosti jsou shrnuty v závěrečné tabulce.

Takto jsou mezi sebou porovnány varianty kvality domů vždy pro každý zdroj tepla zvlášť. Na základě vyhodnocení jsou potom ze čtyř variant kvality rodinných domů vybrány dvě, u kterých je v další části hodnocena reálná doba návratnosti investičních všech zdrojů tepla vůči sobě.

### **8.1. Investiční a provozní výdaje jednotlivých zdrojů tepla v kombinaci se všemi variantami rodinných domů**

Hlavní motivací této kapitoly je porovnat různé výše investic do kvality domu u každého zdroje tepla zvlášť. Níže uvedené grafy zobrazují vyčíslené investiční a provozní výdaje pěti zdrojů tepelné energie v kombinaci se čtyřmi variantami tří rodinných domů.

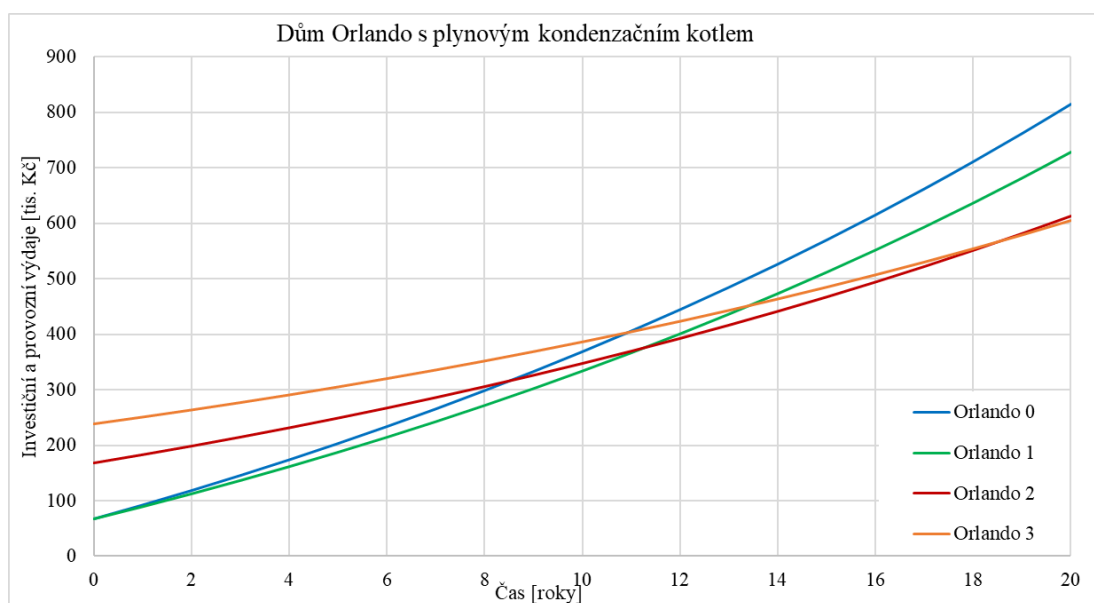
Všechny kombinace jsou shrnuty v patnácti grafech, tedy vždy pět grafů zdrojů tepla v kombinaci se třemi domy. Výdaje na provoz a investiční výdaje se vzhledem k různorodosti domů liší, nicméně i přes to vykazují grafy každého zdroje tepla, se čtyřmi variantami každého z domů podobné rysy v podobě přibližně stejné doby návratnosti. Vzhledem k této skutečnosti jsou v této kapitole uvedeny grafy všech zdrojů tepla s variantami pouze jednoho rodinného domu. Rozdíly oproti ostatním grafům téhož zdroje pro jiný dům jsou pak popsány slovně a shrnuty v tabulce pod každým z grafů. Grafy zdrojů tepla s ostatními domy jsou dostupné v elektronických přílohách přiloženém CD.

U všech domů a jejich variant má výše provozních výdajů vliv na sklon křivky. S rostoucím číslem varianty je sklon křivky zpravidla nižší (u variant domů s vyšším číslem se snižují roční provozní výdaje). Počáteční bod grafu v roce nula je pak dán výší investičních výdajů.

Grafy zobrazují situaci v rozmezí dvaceti let, což je námi uvažovaná hranice maximální životnosti všech zdrojů tepla. Z tabulky variant domů (Tab. 5.3) vyplývá, že varianta 0 a varianta 1 se liší pouze kvalitou provedení domu, respektive dohledem na správné technologické postupy týkající se tepelných mostů. Tento dohled se dá jen velmi obtížně vyčíslit, tudíž i u jednotlivých variant je počítáno se stejnými investičními náklady. Úspora na výdajích mezi variantami 0 a 1, kterou způsobuje pouze rozdíl v provedení tepelných mostů, je okamžitá.

### 8.1.1. Domy s plynovým kondenzačním kotlem

Na Obr. 8.1 jsou graficky zobrazeny celkové výdaje variant domu Orlando s plynovým kondenzačním kotlem. Investice do kvality stavby varianty 3 se oproti variantě 0 vrátí za přibližně 11 let. Investice do kvality stavby varianty 2 se pak oproti variantě 0 vrátí ještě o dva a půl roku dříve. Pro ostatní domy jsou reálné doby návratnosti mezi jednotlivými variantami shrnuty v Tab. 8.1. Pokud porovnáme varianty 2 a 3 zjistíme, že doba návratnosti těchto variant je u všech domů vždy delší než 16 let. Znamená to, že vyšší počáteční investice varianty 3 přinese po dvaceti letech jen velmi malou úsporu na celkových výdajích oproti variantě 2.



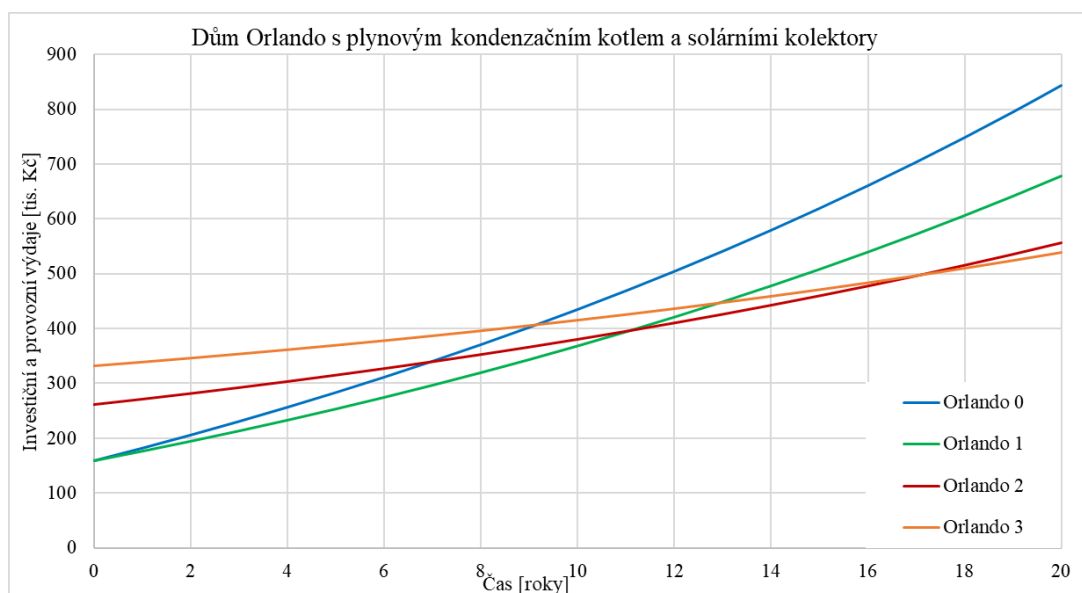
Obr. 8.1 Celkové výdaje – Orlando 1 až 4 s plynovým kondenzačním kotlem

Tab. 8.1 Reálné doby návratnosti investic do variant kvality stavby – domy s plynovým kondenzačním kotlem

Doba návratnosti [roky]			
Dům	Absolut	Orlando	Pasiv
<b>3 oproti 2</b>	16	18,5	16,5
<b>3 oproti 1</b>	13,5	13,5	12,5
<b>3 oproti 0</b>	11	11	10,5
<b>2 oproti 1</b>	12	11,5	11,5
<b>2 oproti 0</b>	9,5	8,5	9

### 8.1.2. Domy s plynovým kotlem a solárními kolektory

Obr. 8.2 tentokrát zobrazuje celkové výdaje variant domu Orlando s plynovým kondenzačním kotlem a solárními kolektory. Investice do kvality stavby varianty 3 se oproti variantě 0 vrátí za přibližně 9 let. Investice do kvality stavby varianty 2 se pak oproti variantě 0 vrátí ještě o dva roky dříve. Oproti předchozí kombinaci domu Orlando pouze s plynovým kondenzačním kotlem, tedy solární kolektory urychlily dobu návratnosti zhruba o dva roky (nezapomínejme však, že celkové počáteční investiční náklady jsou vyšší) Pro ostatní domy jsou reálné doby návratnosti mezi jednotlivými variantami shrnuty v Tab. 8.2. Porovnáme-li varianty 2 a 3 zjistíme, že doba návratnosti těchto variant je u všech domů delší než 15 let. Opět to znamená, že vyšší počáteční investice varianty 3 přinese po dvaceti letech jen velmi malou úsporu na celkových výdajích oproti variantě 2.



Obr. 8.2 Celkové výdaje – Orlando 1 až 4 s plynovým kondenzačním kotlem a solárními kolektory

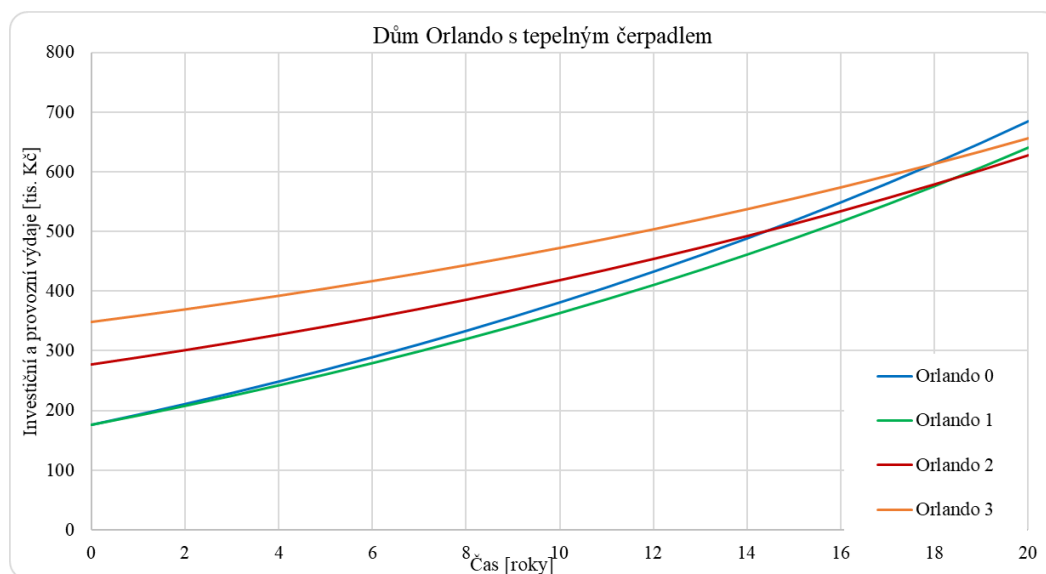
Tab. 8.2 Reálné doby návratnosti investic do variant kvality stavby – domy s plynovým kondenzačním kotlem a solárními kolektory

Dům	Doba návratnosti [roky]		
	Absolut	Orlando	Pasiv
<b>3 oproti 2</b>	15	17	16,5
<b>3 oproti 1</b>	13	13	12
<b>3 oproti 0</b>	9,5	9	8,5
<b>2 oproti 1</b>	12	11	11
<b>2 oproti 0</b>	8	7	7

### 8.1.3. Domy s tepelným čerpadlem

Celkové výdaje variant kvality domu Orlando v kombinaci s tepelným čerpadlem jsou na Obr. 8.3. Investice do kvality stavby varianty 3 se oproti variantě 0 vrátí za přibližně 18 let. Investice do varianty 2 se pak oproti variantě 0 vrátí za 14 let. U ostatních domů je reálná doba návratnosti mezi variantami velmi podobná, údaje shrnuje

Tab. 8.3. Pokud porovnáme varianty 2 a 3 zjistíme, že doba návratnosti těchto variant je u všech domů delší než 26 let. Vyšší počáteční investice varianty 3, začnou generovat úporu na provozních výdajích oproti variantě 2 nejdříve po 26 letech. To může být způsobeno malou tepelnou ztrátou domu, kvůli které je roční úspora provozních výdajů mezi variantami 2 a 3 velmi malá a vyšší investiční výdaje tak dokáže vynahradit až za velmi dlouhou dobu.



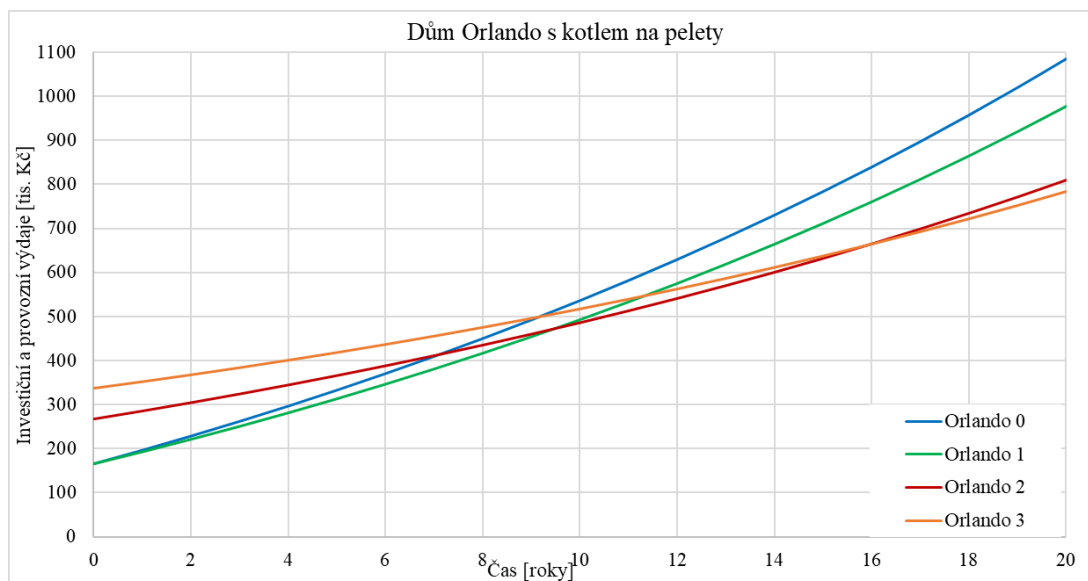
Obr. 8.3 Celkové výdaje – Orlando 1 až 4 s tepelným čerpadlem

Tab. 8.3 Reálné doby návratnosti investic do variant kvality stavby – domy s tepelným čerpadlem

Dům	Doba návratnosti [roky]		
	Absolut	Orlando	Pasiv
<b>3 oproti 2</b>	26	28	27
<b>3 oproti 1</b>	22	22	21
<b>3 oproti 0</b>	17,5	18	17,5
<b>2 oproti 1</b>	20	18,5	19
<b>2 oproti 0</b>	15,5	14	15,5

### 8.1.4. Domy s kotlem na pelety

Obr. 8.5 graficky zobrazuje celkové výdaje variant domu Orlando s kotlem na pelety. Investice do kvality stavby varianty 3 se oproti variantě 0 vrátí za přibližně 9,5 roku. Investice do varianty 2 se pak oproti variantě 0 vrátí za 7 let. Pro ostatní domy jsou hodnoty shrnuty v Tab. 8.4. Pokud porovnáme varianty 2 a 3 zjistíme, že doba návratnosti těchto variant je u všech domů delší než 14 let.



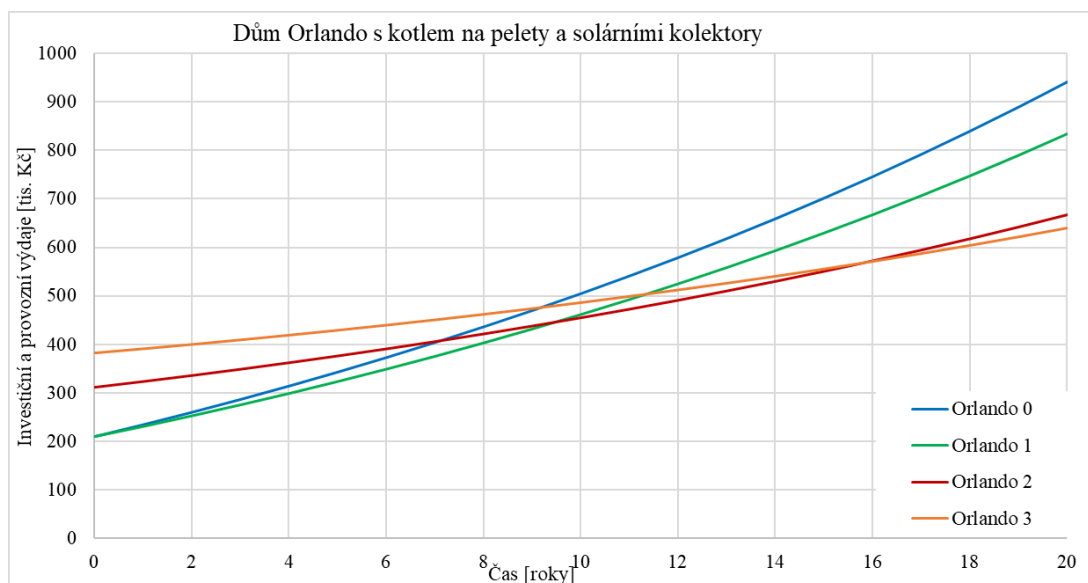
Obr. 8.4 Celkové výdaje – Orlando 1 až 4 s kotlem na pelety

Tab. 8.4 Reálné doby návratnosti investic do variant kvality stavby – domy s kotlem na pelety

Doba návratnosti [roky]			
Dům	Absolut	Orlando	Pasiv
<b>3 oproti 2</b>	14	16	15
<b>3 oproti 1</b>	11,5	11,5	11
<b>3 oproti 0</b>	9,5	9,5	9
<b>2 oproti 1</b>	10	9,5	10
<b>2 oproti 0</b>	8	7	8

### 8.1.5. Domy s kotlem na pelety a solárními kolektory

Na Obr. 8.5 jsou graficky zobrazeny celkové výdaje variant domu Orlando s kotlem na pelety a solárními kolektory. Investice do kvality stavby varianty 3 se oproti variantě 0 vrátí za přibližně 9 let. Investice do varianty 2 se pak oproti variantě 0 vrátí za 7 let. Hodnoty reálné doby návratnosti ostatních domů jsou shrnuty v Tab. 8.5. Pokud porovnáme varianty 2 a 3 zjistíme, že doba návratnosti těchto variant je u všech domů delší než 14 let.



Obr. 8.5 Celkové výdaje – Orlando 1 až 4 s kotlem na pelety a solárními kolektory

Tab. 8.5 Reálné doby návratnosti investic do variant kvality stavby – domy s kotlem na pelety a solárními kolektory

Doba návratnosti [roky]			
Dům	Absolut	Orlando	Pasiv
<b>3 oproti 2</b>	14	16	15
<b>3 oproti 1</b>	11	11,5	11
<b>3 oproti 0</b>	9,5	9,5	9
<b>2 oproti 1</b>	10,5	9,5	10
<b>2 oproti 0</b>	8	7	8

### **8.1.6. Vyhodnocení investic do kvality stavby u jednotlivých zdrojů tepla.**

Grafy pro stejné zdroje tepla se pro různé domy liší v počáteční investici i ročních provozních výdajích, nicméně tyto grafy přesto vykazují podobnosti v reálné době návratnosti stavebních variant mezi sebou.

Z variant s nízkou počáteční investicí 0 a 1 je z hlediska reálné doby návratnosti jednoznačně výhodnější varianta 1. Ta má v této práci vždy nižší provozní výdaje než varianta 0 při stejných investičních výdajích. Začne tak být výhodnější ihned, přičemž mezi nimi uvažujeme jako jedinou odlišnost pouze technologii provedení stavby, konkrétně užití správných technologických postupů mající vliv na velikost tepelných mostů.

Z variant s vyšší počáteční investicí 2 a 3 je výhodnější z hlediska reálné doby návratnosti varianta 2. Reálná doba návratnosti počáteční investice varianty 3 do nejmasivnějšího zateplení, rekuperace, kvalitních oken s trojskly se vůči variantě 2 v závislosti na použitém zdroji tepla pohybuje od 14 do 28 let. Například po dvaceti letech pak tvoří úspora oproti variantě 2 u všech zdrojů tepla, kromě tepelného čerpadla (u kterého se úspora projeví až za více než 26 let), pouze zlomek původních vyšších investičních výdajů.

Z vybraných variant 1 a 2 se pak u všech zdrojů, kromě tepelného čerpadla, jeví jako výhodnější varianta 2, jelikož reálná doba návratnosti mezi nimi se pohybuje v rozumné míře 10 let.

U tepelného čerpadla je tomu však naopak. U něj má vyšší investice do kvality domu varianty 2 oproti variantě 1 poměrně dlouhou dobu návratnosti blížící se k hranici 20 let.

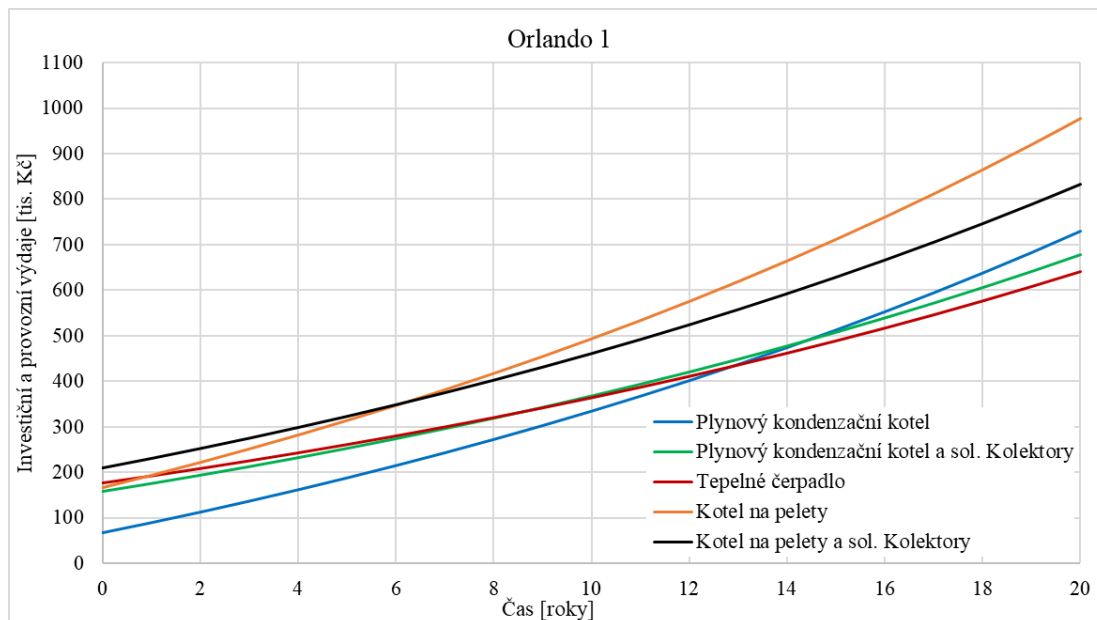
U variant 1 a 2 budou dále porovnávány jednotlivé zdroje tepla v dalších kapitolách.

### **8.2. Reálná doba návratnosti zdrojů tepla u variant 1 a 2 rodinných domů**

V této kapitole jsou graficky vyjádřeny celkové výdaje a z nich vyčísleny reálné doby návratnosti všech zdrojů tepla v kombinaci s variantou 1 a 2 domu Orlando. Podobným způsobem jsou vytvořeny čtyři grafy pro ostatní domy, nicméně vzhledem k tomu, že grafy vykazují velmi podobné rysy, jsou uvedeny v pouze v elektronických přílohách této práce. Jejich hodnoty, hodnocené u domu Orlando v této kapitole, jsou vždy shrnuty s hodnotami domu Orlando v tabulce pod grafy.

### 8.2.1. Reálné doby návratnosti zdrojů tepla s variantou domů 1

Na Obr. 8.6 je varianta 1 domu Orlando v kombinaci se všemi zdroji tepla. V Tab. 8.6 pod ním je pro všechny domy shrnuta návratnost zdrojů tepla, která je vůči zdroji s nejnižšími investičními náklady menší než dvacet let.



Obr. 8.6 Celkové výdaje na zdroje tepla – Orlando 1

Tab. 8.6 Reálné doby návratnosti zdrojů tepla oproti plynovému kondenzačnímu kotli – varianta stavby 1

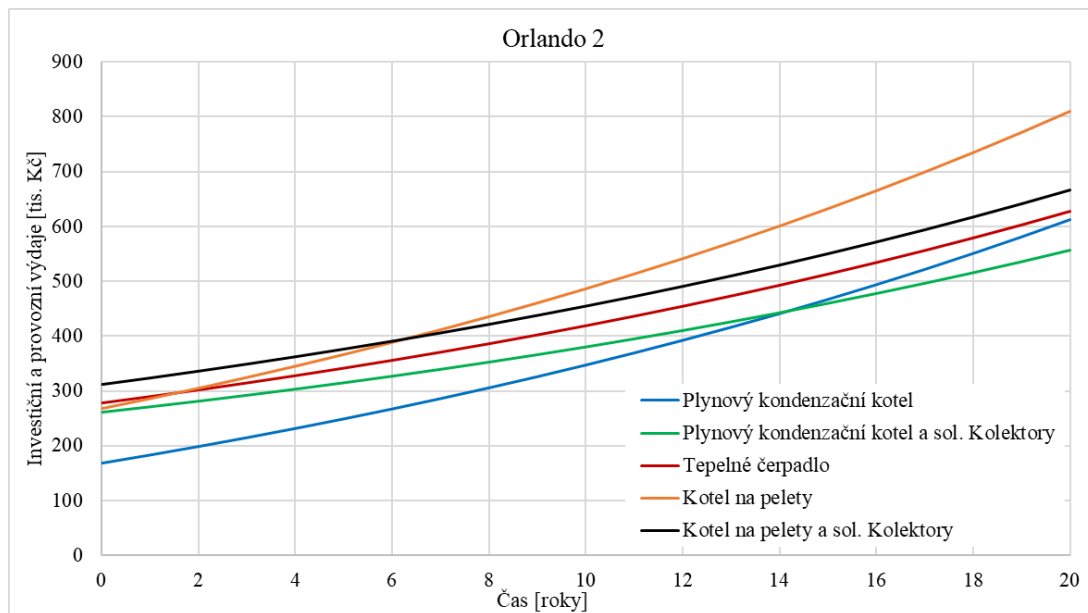
Doba návratnosti oproti plynovému kondenzačnímu kotli [roky]			
Dům	Absolut 1	Orlando 1	Pasiv 1
Plynový kondenzační kotel a sol. kolektory	14,5	14,5	14,5
Tepelné čerpadlo	11,5	13	17

Z hodnot v tabulce je patrné, že u variant 1 rodinných domů předčí plynový kotel se solárními kolektory, zdroj s nejnižšími investičními výdaji (plynový kondenzační kotel), u všech domů po 14,5 letech. Tepelného čerpadla dokonce o pár let dříve, kromě kombinace s domem Pasiv 1, který nejspíše kvůli svému úspornému tvaru nevykáže tak velkou úsporu ročních provozních výdajů. U něj se tato reálná doba návratnosti prodlouží na 17 let. U kotle na pelety, ať už se solárními kolektory nebo bez nich, je tato doba výrazně delší než 20 let.



### 8.2.2. Reálné doby návratnosti zdrojů tepla s variantou domů 2

Obr. 8.7 ukazuje celkové náklady varianty 2 domu Orlando pro jednotlivé zdroje tepla. V Tab. 8.7 pod ním jsou pro všechny domy shrnuty návratnosti zdrojů tepla, které jsou vůči zdroji s nejnižšími investičními náklady menší než dvacet let.



Obr. 8.7 Celkové výdaje na zdroje tepla – Orlando 2

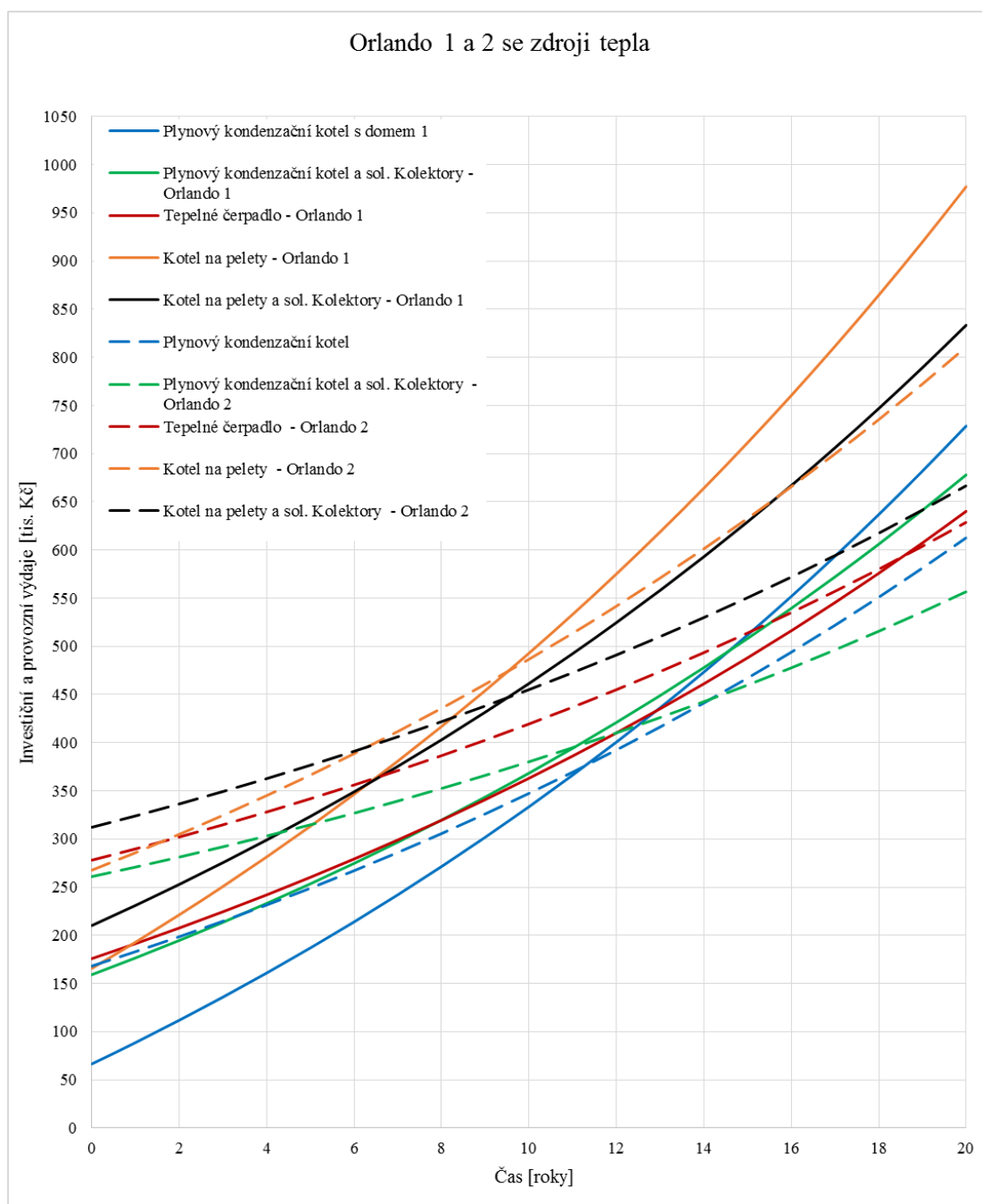
Tab. 8.7 Reálná doba návratnosti zdrojů tepla oproti plynovému kondenzačnímu kotli – varianta stavby 2

Doba návratnosti oproti plynovému kondenzačnímu kotli [roky]			
Dům	Absolut 2	Orlando 2	Pasiv 2
Plynový kondenzační kotel a sol. kolektory	14,5	14,5	13,5
Tepelné čerpadlo	20	>20	>20

U stavby varianty 2, se reálné doby návratnosti zdrojů vůči nejlevnějšímu zdroji (plynovému kondenzačnímu kotli) pohybují v rozmezí více než dvaceti let. Výjimku tvoří varianta plynového kotle se solárními kolektory, u které se tato doba u všech domů pohybuje okolo 14 let.

### 8.2.3. Porovnání celkových nákladů všech zdrojů tepla u variant domů 1 a 2

Pro porovnání dvou variant kvality domu Orlando 1 a 2, se všemi zdroji tepla slouží Obr. 8.8, který zobrazuje průběh investičních a provozních výdajů těchto kombinací. Na grafu jsou zdroje tepla s variantou kvality stavby 1 zobrazeny jako plné křivky a zdroje tepla s kvalitnější variantou stavby 2 jako křivky přerušované.



Obr. 8.8 Porovnání celkových výdajů u variant 1 a 2 domu Orlando

Domy varianty 1 s plynovým kondenzačním kotlem jsou kvůli nízké počáteční investici v prvních deseti letech ekonomicky nejvýhodnější kombinací. Po dvaceti letech ho však v kumulovaných výdajích výrazně předčí varianta domů 2 plynového kondenzačního kotle se solárními kolektory. Vidíme, že kotel na pelety a kotel na pelety se solárními kolektory, které mají jedny z nejvyšších počátečních investic, se v celém průběhu dvaceti let chovají nejméně ekonomicky (vysoké provozní výdaje).

#### **8.2.4. Vyhodnocení investic do zdrojů tepla u variant 1 a 2 rodinných domů**

Z hodnot v Tab. 8.6 je patrné, že u variant 1 rodinných domů předčí plynový kotel se solárními kolektory zdroj s nejlevnějšími investičními výdaji (plynový kondenzační kotel) u všech domů po 14,5 letech. Tepelné čerpadlo ho předčí (plynový kondenzační kotel) dokonce o pár let dříve, kromě kombinace s domem Pasiv 1, který nejspíše kvůli svému úspornému tvaru nevykáže tak velkou úsporu ročních provozních výdajů, u něj se tato reálná doba návratnosti prodlouží na 17 let.

Zdroj s nejnižšími investičními výdaji vychází v provedeném porovnání pro všechny varianty kondenzační plynový kotel. U všech domů varianty 1 ho v rozmezí 20 let, předčí v celkových kumulovaných výdajích pouze plynový kondenzační kotel se solárními kolektory po 14,5 letech a tepelné čerpadlo po uplynutí 11,5 let u domu Absolut, 13 let u domu Orlando a 17 let u domu Pasiv.

U variant 2 všech domů je to pak znovu plynový kondenzační kotel se solárními kolektory, avšak kvůli zvýšení investičních výdajů do kvality domů a tím způsobenému snížení provozních výdajů, ho předčí až po 14,5 letech u domu Absolut a Orlando a 13,5 letech u domu Pasiv. Tepelné čerpadlo už nedosáhne reálné doby návratnosti menší než 20 let. Pouze u domu Absolut je tato hodnota právě 20 let.

Reálné doby návratnosti investice do kvalitnější budovy (varianta 2 oproti variantě 1) se u všech jednotlivých zdrojů tepla, kromě tepelného čerpadla pohybují v rozmezí 9,5 až 12 let. U tepelného čerpadla se tato reálná doba návratnosti blíží hodnotě 20 let. Tab. 8.8 udává, za jak dlouho se navrátí investice do kvality domu při užití stejného zdroje tepla.

Tab. 8.8 *Reálná doba návratnosti variant domů 2 oproti variantám domů 1*

<b>Reálná doba návratnosti variant domů 2 oproti variantám domů 1</b>			
<b>Dům</b>	<b>Absolut</b>	<b>Orlando</b>	<b>Pasiv</b>
<b>Plynový kondenzační kotel</b>	12	11,5	11,5
<b>Plynový kondenzační kotel a solární kolektory</b>	12	11	11
<b>Tepelné čerpadlo</b>	20	18,5	19
<b>Kotel na pelety</b>	10,5	9,5	10
<b>Kotel na pelety a solární kolektory</b>	10,5	9,5	10

Při volbě ekonomicky nejvýhodnějšího zdroje tepla je vždy nutné brát zřetel na kvalitu domu a jeho potřebu tepla během provozu celé otopné sezóny a roli tak u zdrojů tepla musí hrát také jejich modulační rozsah tepelného výkonu v závislosti na aktuální potřebě tepla. To se samozřejmě projeví také na požadavku na zapojení daného zdroje tepla na otopnou soustavu ať už z pohledu nutnosti akumulace nebo například potřeby záložního zdroje tepla.

## 9. ZÁVĚR

V rámci této práce byla studována energetická náročnost tří rodinných domů s nízkou potřebou energie. Byly vybrány tři rodinné domy, Absolut, Orlando a Pasiv 20, které se liší svým tvarem, počtem podlaží i celkovou podlahovou plochou. Pro další práci s nimi, byla vytvořena výkresová dokumentace domů a byly definovány čtyři varianty kvality domů. Varianty se od sebe liší různými hodnotami součinitelů prostupu tepla stavebních konstrukcí, kvalitou provedení stavby (uvažovaným vlivem tepelných mostů), kvalitou průteplivých konstrukcí a uvažováním rekuperace tepla.

Pomocí parametrických výpočetních souborů vytvořených v tabulkovém editoru pro jednotlivé domy, byly pro každou z dvanácti variant domů stanoveny jejich tepelně technické parametry.

Těmito parametry byla hodnocena energetická náročnost jednotlivých domů dle normy *ČSN 73 0540* detailně z hlediska průměrného součinitele prostupu tepla a měrné potřeby tepla na vytápění a dle *vyhlášky č. 78/2013 Sb.* detailně z hlediska průměrného součinitele prostupu tepla.

Pro domy bylo navrženo pět variant zdrojů tepla vhodných pro budovy s nízkou potřebou energie. Konkrétně plynový kondenzační kotel, plynový kondenzační kotel se solárními kolektory, tepelné čerpadlo, kotel na pelety a kotel na pelety se solárními kolektory. Těchto pět zdrojů tepla bylo kombinováno s dvanácti variantami rodinných domů z předešlé části a pro každou variantu byly stanoveny její investiční a provozní výdaje.

V závěrečné části byly z hlediska reálné doby návratnosti hodnoceny mezi sebou jednotlivé varianty, s uvažovaným čtyř procentním růstem cen energií.

Nejprve byla hodnocena reálná doba návratnosti kvality provedení stavby s ohledem na jednotlivé zdroje tepla. Varianty domů v grafech pro jednotlivé zdroje tepla vykazovaly podobné chování. Díky tomu byly pro všechny zdroje tepla identifikovány varianty 1 a 2 z dvojice variant 0 a 1 a dvojice 2 a 3 varianty jako výhodnější z hlediska reálné doby návratnosti. Varianty 0 a 1 demonstrovali v průběhu celé práce významný vliv tepelných mostů, to ať z hlediska potřeby tepla na vytápění, či vlivu na roční provozní výdaje.

U vybraných variant 1 a 2 byly následně hodnoceny všechny zdroje tepla mezi sebou. Grafy každého z domů opět jevíly velmi podobné rysy. Díky tomu bylo možné vydat doporučení shodné pro všechny tři domy.

Výsledky ukázaly zajímavé reálné doby návratnosti při rozumné investici do zateplení a kvality domu u všech zdrojů kromě tepelného čerpadla, se kterým se kombinace investice do zateplení a kvality domu jeví jako méně výhodná.

### **9.1. Doporučení investorovi**

Závěrečné kapitoly práce se snaží poukázat na investiční a provozní výdaje spojené s kombinacemi zdrojů tepla a kvality stavby a snaží stanovit na jejich výhodnost či nevýhodnost.

Doporučení shodné pro všechny varianty je dbát při výstavbě domů zvýšenou pozornost na technologii tepelných mostů, jejíž dopad na provozní výdaje je v průběhu celé životnosti značný.

Ať už z uvedených variant vybere investor jakýkoliv zdroj, tedy kromě tepelného čerpadla, doporučujeme mu postavit dům v kvalitě varianty 2. Ještě kvalitnější varianta 3 mu oproti ní nepřinese významnější úsporu, zato oproti variantám 0 a 1 zhruba po 12 letech začne být úspora varianty 2 značná. Investor navíc získá kvalitní

dům, který má mnoho pozitivních vlastností pasivního domu. Je úsporný a provozní náklady jsou méně ovlivněny růstem cen energií.

U tepelného čerpadla se investice do kvalitnější varianty stavby projeví až téměř po dvaceti letech, proto se doporučuje varianta 1.

Tab. 9.1 *Doporučené kombinace v horizontu dvaceti let*

Zdroje tepla	Varianta domů 1	Varianta domů 2
Plynový kondenzační kotel Plynový kondenzační kotel a solární kolektory Kotel na pelety Kotel na pelety a solární kolektory	✘	✓
Tepelné čerpadlo	✓	✘

Ze zdrojů tepla a jejich kombinací s doporučenými variantami domů v Tab. 9.1 je po zhruba čtrnácti letech provozu nejvýhodnější z hlediska kumulovaných výdajů plynový kondenzační kotel se solárními kolektory.

Samotný plynový kotel může být zajímavý z hlediska nízké počáteční investice a po období dvaceti let má druhé nejnižší kumulované výdaje. Na druhé straně kotel na pelety se pro obě varianty domů v této práci jeví jako nejméně ekonomicky výhodná volba.

## 10. POUŽITÁ LITERATURA

- [1] HAZUCHA, Juraj. Konstrukční detaily pro pasivní a nulové domy: doporučení pro návrh a stavbu. Praha: Grada Publishing, 2016. ISBN 978-80-247-4551-0.
- [2] HUDEC, Mojmír. *Pasivní rodinný dům: proč a jak stavět*. Praha: Grada, 2008. Profi & hobby. ISBN 978-80-247-2555-0.
- [3] BÁRTA, Jan. *Základní principy konceptu pasivního domu* [online]. Centrum pasivního domu [vyd. 18. 10. 2005] [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: [https://biom.cz/upload/6e01d6d4c4835ec93cda508772f3bf6e/zakladni\\_principy\\_konceptu\\_pasivniho\\_domu.pdf](https://biom.cz/upload/6e01d6d4c4835ec93cda508772f3bf6e/zakladni_principy_konceptu_pasivniho_domu.pdf)
- [4] *Buildings* [online]. Commission and its priorities. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/buildings>
- [5] *Podíl nových pasivních domů v ČR loni vzrostl na 6,5 procenta* [online]. Ekolist.cz [cit. 2018-05-26]. Dostupné z: <https://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/podil-novych-pasivnich-domu-v-cr-loni-vzrostl-na-6-5-procenta>
- [6] TYWONIAK, Jan. *Nízkoenergetické domy 3: nulové, pasivní a další*. Praha: Grada, 2012. Stavitel. ISBN 978-80-247-3832-1.
- [7] *Větrání a vytápění* [online]. Centrum pasivního domu. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://www.pasivnidomy.cz/vetrani-a-vytapeni/t379>
- [8] MATUŠKA, Tomáš. *Hodnocení budov -přístupy* [online]. Učební materiál. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/amp/30569968-Hodnoceni-budov-pristupy.html>
- [9] ČEJKA, Michal. *Budovy s téměř nulovou spotřebou – porovnání energetických standardů* [online]. [vyd. 16. 01. 2017]. TZB-info (Technické zařízení budov). [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-energie/15181-budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-porovnani-energeticky-ch-standardu>
- [10] ANTONÍN, Jan. *Budovy s téměř nulovou spotřebou energie – Definice* [online]. [vyd. 09. 01. 2017]. TZB-info (Technické zařízení budov). [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-energie/15180-budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-energie-definice>

- [11] ČEJKA, Michal. *Energetické standardy budov - Standardy s „nulou“* [online]. TZB-info (Technické zařízení budov). [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-energie/349-energeticke-standardy-budov-standardy-s-nulou>
- [12] *Vlastnosti zemního plynu* [online]. CNG4YOU. [cit. 2018-06-01]. Dostupné z: <http://www.cng4you.cz/cng-info/co-je-zemni-plyn.html>
- [13] VALENTA, Vladimír. *Kondenzační kotel pro každého (I)* [online]. [vyd. 01. 02. 2002]. TZB-info (Technické zařízení budov). [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-plynem/868-kondenzacni-kotel-pro-kazdeho-i>
- [14] FUČÍK, Zdeněk. *Stručná teorie kondenzace u kondenzačních plynových kotlů* [online]. [vyd. 02. 04. 2004]. TZB-info (Technické zařízení budov). [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-plynem/1912-strucna-teorie-kondenzace-u-kondenzacnich-plynovych-kotlu>
- [15] *Real-time monitoring energy efficiency and performance degradation of condensing boilers* [online]. Science Direct. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S019689041730016X#f0010>
- [16] BAŠTA, Jiří. *Provozní předpoklady kondenzačních kotlů* [online]. [vyd. 23. 01. 2006]. TZB-info (Technické zařízení budov). [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-plynem/3011-provozni-predpoklady-kondenzacnich-kotlu>
- [17] MATUŠKA, Tomáš. *Parametry pro hodnocení efektivity soustav s tepelnými čerpadly: SPF a PER* [online]. [vyd. 05. 10. 2015]. TZB-info (Technické zařízení budov). [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/tepelna-čerpadla/13272-parametry-pro-hodnoceni-efektivita-soustav-s-tepelny-mi-čerpadly-spf-a-per>
- [18] MATUŠKA, Tomáš. *Navrhování a bilancování tepelných čerpadel* [online]. Učební materiál. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: [http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2015/02/AZE-P6-tepelna\\_čerpadla\\_navrhovani\\_bilancovani.pdf](http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2015/02/AZE-P6-tepelna_čerpadla_navrhovani_bilancovani.pdf)
- [19] Buderus [online]. [cit. 05. 08. 2018]. Dostupné z: <https://www.buderus.com/cz/cs/>



- [20] JELÍNEK, Vladimír. *Využívání a provozování tepelných čerpadel v nízkoenergetických domech* [online]. [vyd. 10. 01. 2015]. TZB-info (Technické zařízení budov). [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/12211-vyuzivani-a-provozovani-tepelnych-cerpadel-v-nizkoenergetickych-domech>
- [21] *Peletky* [online]. TZB-info (Technické zařízení budov). [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/peletky>
- [22] SMOLA, Josef. *Stavba a užívání nízkoenergetických a pasivních domů*. Praha: Grada, 2011. Stavitel. ISBN 978-80-247-2995-4.
- [23] MATUŠKA, Tomáš. *Alternativní zdroje energie* [online]. Učební materiál. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: [http://147.32.200.150/sites/default/files/Studijni\\_materialy/AZE/Matuska\\_Alternativni\\_zdroje\\_energie.pdf](http://147.32.200.150/sites/default/files/Studijni_materialy/AZE/Matuska_Alternativni_zdroje_energie.pdf)
- [24] LYČKA, Zdeněk. *Náklady na vytápění dřevními peletami* [online]. [vyd. 22. 02. 2010]. TZB-info (Technické zařízení budov). [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/biomasa/6263-naklady-na-vytapani-drevnimi-peletami>
- [25] SCHANDL, SCHANDLOVÁ. *Alternativní zdroje energie – možnosti jejich uplatnění a vliv na životní prostředí* [online]. Západočeská univerzita – katedra energetických zdrojů a zařízení. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: [https://kke.zcu.cz/export/sites/kke/about/projekty/enazp/projekty/18\\_Zaklady-ekologie\\_48-49/48\\_IUT/110\\_Alternativni-zdroje-energie---Schandl---P0-.pdf](https://kke.zcu.cz/export/sites/kke/about/projekty/enazp/projekty/18_Zaklady-ekologie_48-49/48_IUT/110_Alternativni-zdroje-energie---Schandl---P0-.pdf)
- [26] BAŠTA, Jiří. *Regulace v technice prostředí staveb*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2014. ISBN 978-80-01-05455-0.
- [27] BAŠTA, Jiří. *Možnosti moderních způsobů regulace* [online]. [vyd. 17. 09. 2007]. TZB-info (Technické zařízení budov). [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/4360-moznosti-modernich-zpusobu-regulace>
- [28] *Projekty rodinných domů* [online]. GService - projekty a domy [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: <http://www.gservis.cz/projekty-rodinnych-domu/>
- [29] Styrotrade [online]. [cit. 05. 05. 2018]. Dostupné z: <https://styrotrade.cz/cs/>
- [30] Bachl [online]. [cit. 05. 05. 2018]. Dostupné z: <http://www.bachl.cz/>
- [31] *Okna přes internet* [online]. Drutex Okna - Dveře – Fasády. [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: <http://www.oknapresinternet.okna2000.com/>

- [32] *Konfigurátor* [online]. STAVO-PLAST. [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: <http://eshop.stavo-plast.cz/konfigurator>
- [33] Veka [online]. [cit. 05. 08. 2018]. Dostupné z: <http://www.veka.cz/system/home.html>
- [34] *Kalkulátor oken* [online]. OKNA IHNED. [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: <http://www.kalkulator-oken.cz/>
- [35] *Atrea Rekuperační jednotka Duplex 170 EC5-CP* [online]. Atrea E-shop [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://www.atreaeshop.cz/42596,atrea-rekuperacni-jednotka-duplex-170-ec5-cp.html>
- [36] MATUŠKA, Tomáš. *Solární soustavy* [online]. Učební materiál. vyd. 10.4.2018. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: [http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2018/04/AZE2-P3-solarni\\_soustavy.pdf](http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2018/04/AZE2-P3-solarni_soustavy.pdf)
- [37] Buderus [online]. [cit. 05. 08. 2018]. Dostupné z: <https://www.buderus.com/cz/cs/>
- [38] VAVŘIČKA, Roman. *Výpočet potřeby tepla a paliva* [online]. Učební materiál. vyd. 28. 3. 2017. [cit. 2018-05-28]. Dostupné z: [http://users.fs.cvut.cz/~vavrirom/Vytapeni/002\\_Potreba\\_tepla.pdf](http://users.fs.cvut.cz/~vavrirom/Vytapeni/002_Potreba_tepla.pdf)
- [39] *Přehled cen zemního plynu - ceny platné od 1.1.2018* [online]. TZB-info (Technické zařízení budov). [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energii/13-prehled-cen-zemniho-plynu>
- [40] MATUŠKA, ŠOUREK. *Bilance solárních soustav - Výpočetní nástroj* [online] [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: [http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/?page\\_id=158](http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/?page_id=158)
- [41] MATUŠKA, Tomáš. *Zjednodušená měsíční bilance tepelné soustavy s tepelným čerpadlem – Výpočetní nástroj, BilanceTC* [online] [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: [http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/?page\\_id=161](http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/?page_id=161)
- [42] *Přehled cen elektrické energie - ceny platné od 1.1.2018* [online]. TZB-info (Technické zařízení budov). [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energii/14-prehled-cen-elektricke-energie>
- [43] *Přehled cen pelet* [online]. TZB-info (Technické zařízení budov). [cit. 2018-06-01]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energii/43-prehled-cen-pelet>

**Použité normy**

- ČSN EN 12 831 *Tepelné soustavy v budovách – Výpočet tepelného výkonu.*  
Praha: ÚNMZ, 2005
- ČSN EN ISO 13 790 *Tepelné chování budov – Výpočet potřeby energie na vytápění.*  
Praha: ÚNMZ, 2008
- ČSN EN 15665 *Větrání budov – Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov.* Praha: ÚNMZ, 2009
- ČSN 73 0540 *Tepelná ochrana budov.* Praha: ÚNMZ, 2011
- ČSN EN ISO 6946 *Stavební prvky a stavební konstrukce – Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla – Výpočtová metoda.* Praha: ÚNMZ, 2008
- ČSN ISO 14683 *Tepelné mosty ve stavebních konstrukcích – Lineární činitel prostupu tepla – Zjednodušené metody a orientační hodnoty.*  
Praha: ÚNMZ, 2008
- TNI 73 0302 *Energetické hodnocení solárních tepelných soustav – Zjednodušený výpočtový postup.* Praha: ÚNMZ, 2014
- TNI 73 0329 *Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění – Rodinné domy.* Praha: ÚNMZ, 2010
- TNI 73 0330 *Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění – Bytové domy.*  
Praha: ÚNMZ, 2009
- TNI 73 0351 *Energetické hodnocení soustav s tepelnými čerpadly – Zjednodušený výpočtový postup.* Praha: ÚNMZ, 2014

**Použité směrnice, vyhlášky a zákony**

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU ze dne 19. května 2010 o energetické náročnosti budov

Vyhláška č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov

Vyhláška č. 230/2015 Sb. kterou se mění vyhláška č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov

Zákon č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií

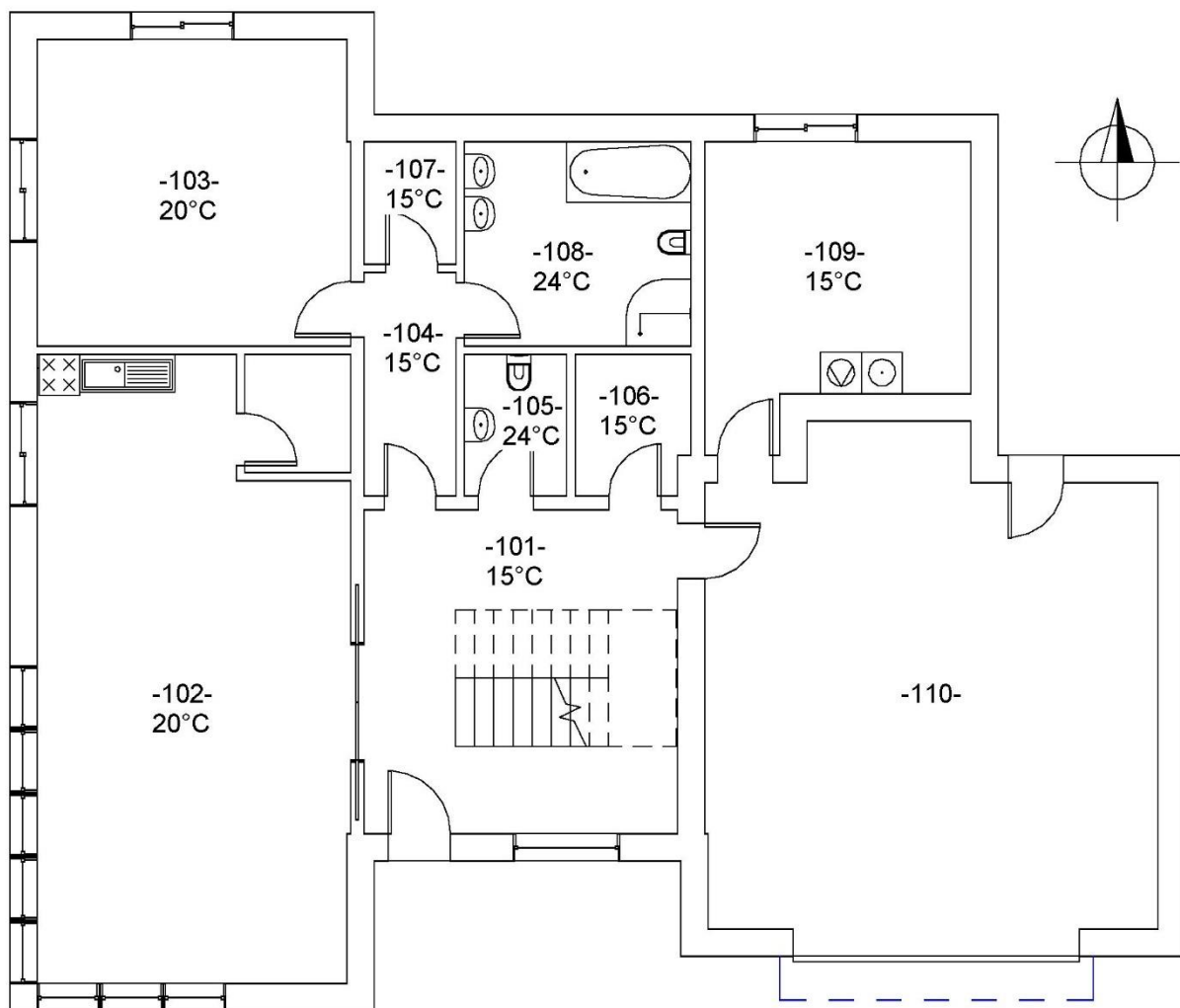
## 11. SEZNAM PŘÍLOH

### 11.1. Přílohy uvedené na konci práce

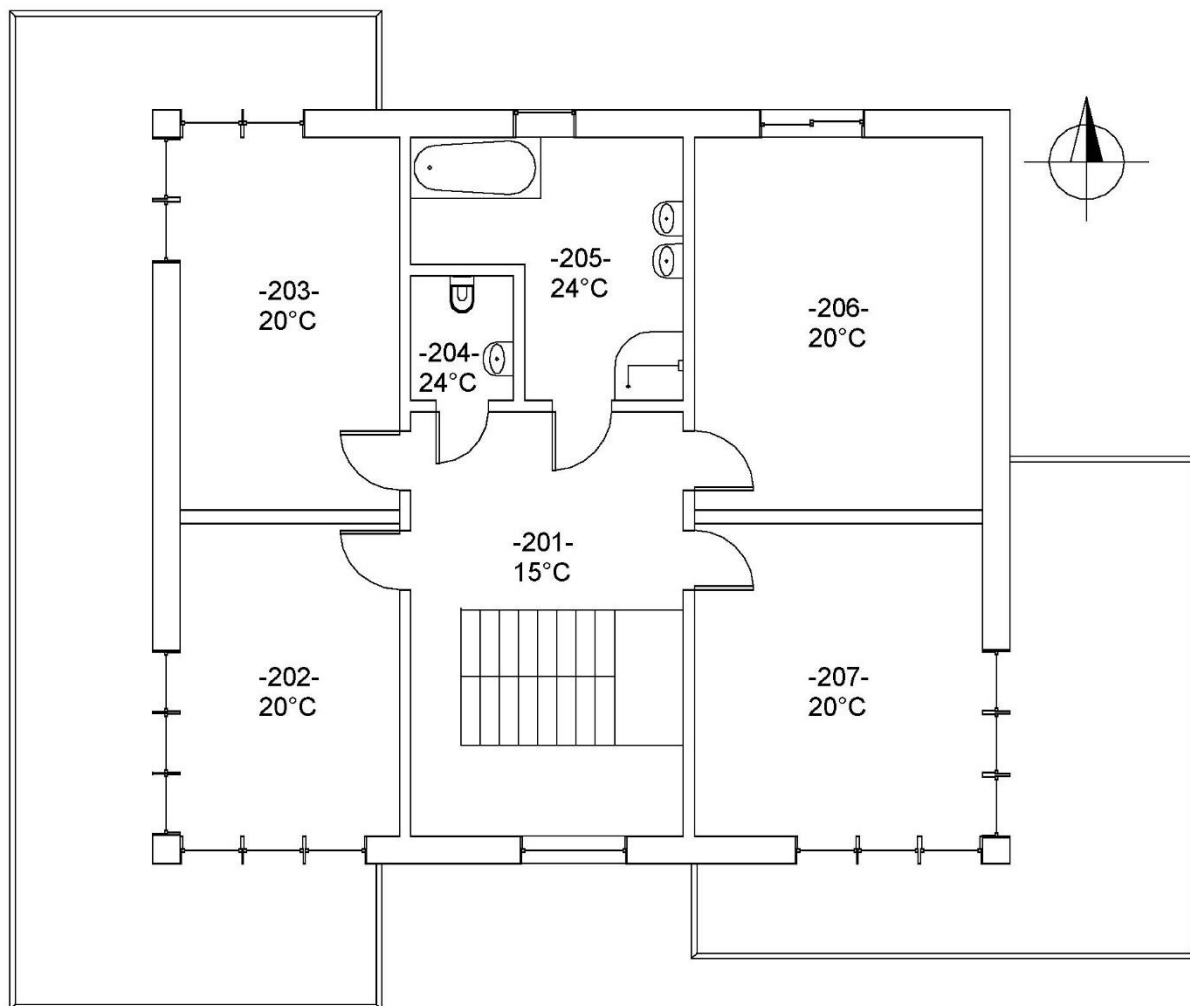
Příloha diplomové práce č. 1	Absolut – Půdorys 1. NP
Příloha diplomové práce č. 2	Absolut – Půdorys 2. NP
Příloha diplomové práce č. 3	Orlando – Půdorys 1. NP
Příloha diplomové práce č. 4	Pasiv 20 – Půdorys 1. NP
Příloha diplomové práce č. 5	Pasiv 20 – Půdorys 2. NP

### 11.2. Přílohy na přiloženém CD

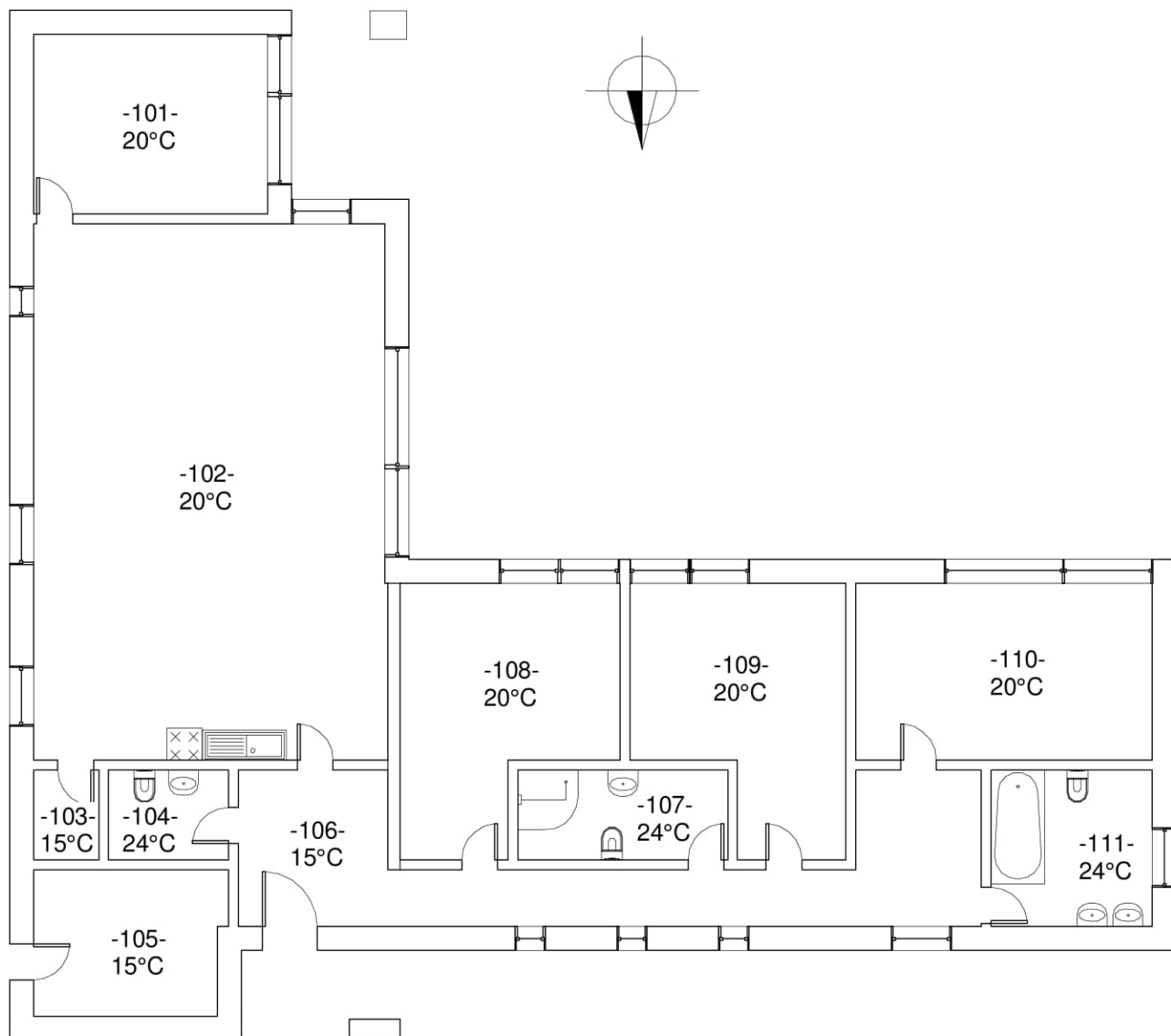
- El. Příloha 1 Veškeré grafické vyjádření celkových výdajů variant domů a zdrojů tepla
- El. Příloha 2 Kalkulace cen oken pro jednotlivé domy
- El. Příloha 3 Navýšení investičních výdajů variant domů oproti variantě 0
- El. Příloha 4 Investiční výdaje zdrojů tepla
- El. Příloha 5 Výsledky výpočtu tepelných ztrát objektu Absolut 1 až 4
- El. Příloha 6 Výsledky výpočtu tepelných ztrát domu Orlando 1 až 4
- El. Příloha 7 Výsledky výpočtu tepelných ztrát domu Pasiv 1 až 4
- El. Příloha 8 Technická specifikace kondenzačního kotle Buderus GB172–14
- El. Příloha 9 Technická specifikace tepelného čerpadla Logatherm WPLS 4.2. Comfort
- El. Příloha 10 Technická specifikace kotle na pelety Logano S181-15E
- El. Příloha 11 Technická specifikace trubkové kolektorů Logasol SKR10 CPC
- El. Příloha 12 Technická specifikace rekuperační jednotky Duplex 170 EC5-CP
- El. Příloha 13 Výpočty domu Absolut
- El. Příloha 14 Výpočty domu Orlando
- El. Příloha 15 Výpočty domu Pasiv
- El. Příloha 16 Pomocný výpočet domu Absolut
- El. Příloha 17 Pomocný výpočet domu Orlando
- El. Příloha 18 Pomocný výpočet domu Pasiv
- El. Příloha 19 Výpočet solární soustavy
- El. Příloha 20 Výpočty výsledných grafů



<b>ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ</b> <b>FAKULTA STROJNÍ</b> <b>ČVUT</b>	<b>Příloha diplomové práce č. 1</b>	
	Měřítko	1:100
Nakreslil	Ladislav Vrbský	
Výkres	Absolut - Půdorys 1. NP	
		<b>A101-2018</b>

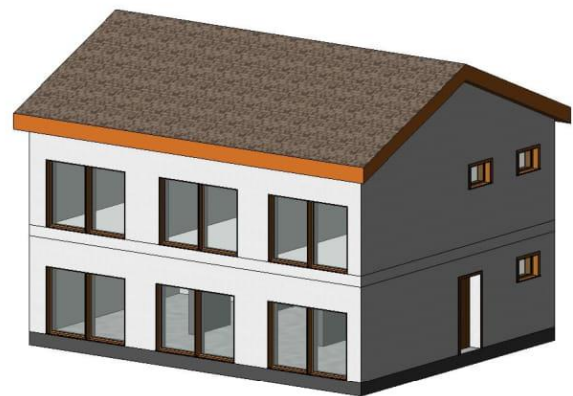
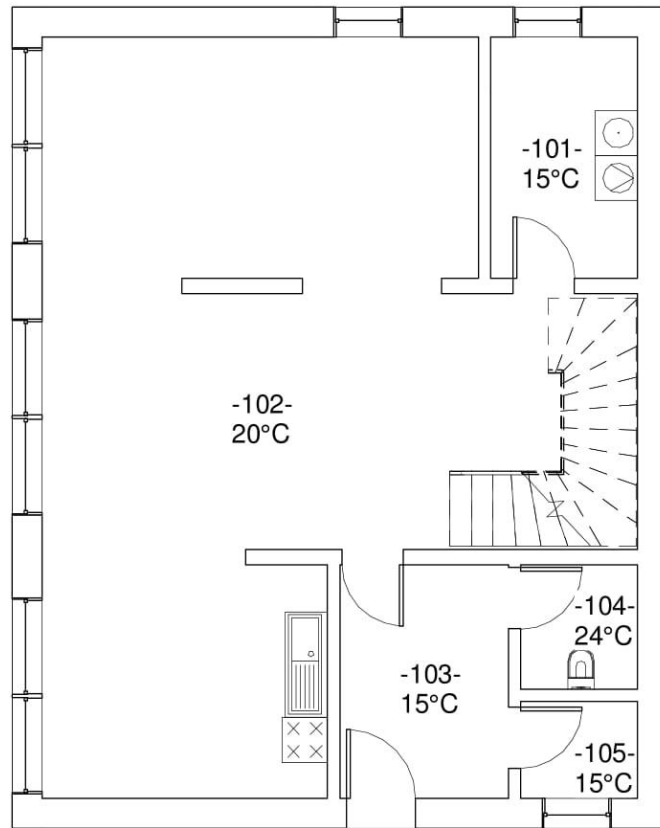


<b>ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ</b> <b>FAKULTA STROJNÍ</b> <b>ČVUT</b>		<b>Příloha diplomové práce č. 2</b>	
		Měřítko	1:100
Nakreslil	Ladislav Vrbský	Č.výkresu	
Výkres	Absolut - Půdorys 2. NP	<b>A102-2018</b>	

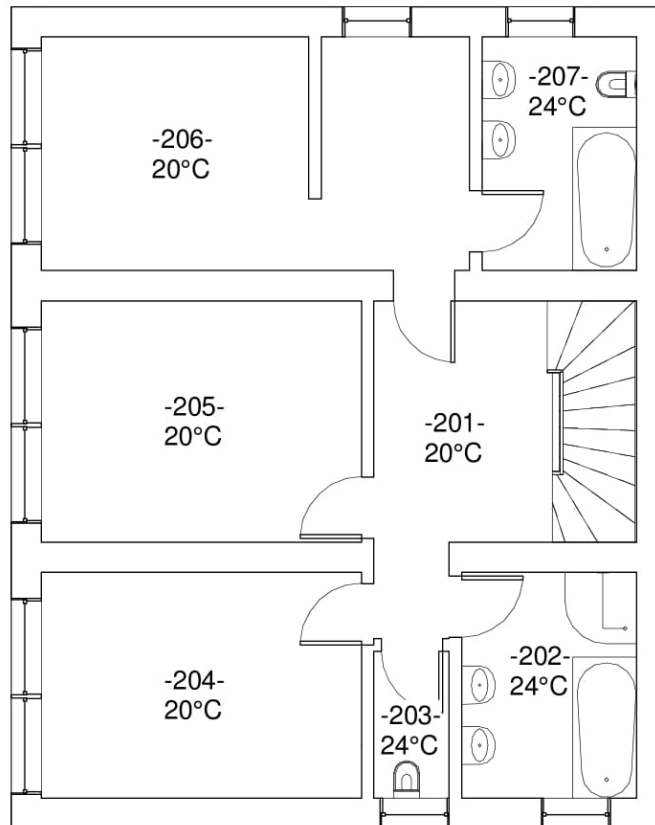


<b>ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ</b> <b>FAKULTA STROJNÍ</b> <b>ČVUT</b>		<b>Příloha diplomové práce č. 3</b>	
		Měřítko	1:100
Nakreslil	Ladislav Vrbský	<b>Č.výkresu</b> <b>O101-2018</b>	
Výkres	Orlando - Půdorys 1. NP		





<b>ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ</b> <b>FAKULTA STROJNÍ</b> <b>ČVUT</b>	<b>Příloha diplomové práce č. 4</b>	
	Měřítko	1:100
Nakreslil Ladislav Vrbský	Č.výkresu <b>P101-2018</b>	
Výkres Pasiv 20 - Půdorys 1. NP		



<b>ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ</b> <b>FAKULTA STROJNÍ</b> <b>ČVUT</b>		<b>Příloha diplomové práce č. 5</b>	
		Měřítko	1:100
Nakreslil	Ladislav Vrbský	Č.výkresu <b>P102-2018</b>	
Výkres	Pasiv 20 - Púdorys 2. NP		