



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## ÚSTAV SOUDNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF FORENSIC ENGINEERING

## ODBOR ZNALECTVÍ VE STAVEBNICTVÍ A OCEŇOVÁNÍ NEMOVITOSTÍ

DEPARTMENT OF EXPERTISE IN CIVIL ENGINEERING AND REAL ESTATE APPRAISAL

## ANALÝZA INVESTICE DO OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ TEPLA

FINANCIAL ANALYSIS OF RENEWABLE ENERGY

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Martin Kožík

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. et Ing. Kristýna Hrabová

BRNO 2019

# Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Martin Kožík**  
Studijní program: Soudní inženýrství  
Studijní obor: Realitní inženýrství  
Vedoucí práce: **Ing. et Ing. Kristýna Hrabová**  
Akademický rok: 2018/19  
Ústav: Odbor znalectví ve stavebnictví a oceňování nemovitostí

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

## **Analýza investice do obnovitelných zdrojů tepla**

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

Klimatické změny, rostoucí závislost na fosilních palivech a rostoucí ceny energií jsou důvodem, proč se do popředí dostává oblast obnovitelných zdrojů energie. Obnovitelné energie jsou přínosem pro snižování emisí skleníkových plynů. V práci budou popsány možnosti využití alternativních zdrojů, vyhodnocení nákladů na pořízení a provoz alternativního zdroje a výpočet jeho návratnosti.

### **Cíle diplomové práce:**

Cílem práce je posoudit volbu zdroje tepla pro rodinné domy. V úvahu se bude brát stávající stav nemovitosti a následné posouzení vhodnosti investice a doby návratnosti (tradiční versus moderní způsob vytápění).

### **Seznam doporučené literatury:**

BENDA, Vítězslav. Obnovitelné zdroje energie. Praha: Profi Press, 2012. ISBN isbn: 978-80-86-2-648-9.

NELSON, Vaughn. Introduction to renewable energy. Boca Raton, FL: CRC Press, c2011. Energy and the environment (Boca Raton, Fla.). ISBN isbn:978-1439834497.

HADORN, Jean-Christophe. Solar and heat pump systems for residential buildings. Berlin, Germany: Ernst, 2015. ISBN isbn:9783433030400.

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

V Brně, dne

L. S.

---

Ing. Milada Komosná, Ph.D.  
vedoucí odboru

---

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

## ***Abstrakt***

Diplomová práce je zaměřena na obnovitelné zdroje energie, které jsou v dnešní době stále více využívány především u pasivních a nízkoenergetických domů. Podrobněji jsou popsány principy, na kterých fungují tepelná čerpadla a solární kolektory s tepelnými zásobníky, protože jsou nejvíce využívány u nových nebo starších stavebních objektů. V práci jsou analyzovány tepelné vlastnosti posuzovaného objektu a návržení vhodného tepelného čerpadla i s jeho kalkulací a stanovení doby návratnosti investice v závislosti na analýze vývoje cen energií za posledních 10 let.

## ***Abstract***

This thesis is focused on renewable energy sources, which are currently and increasingly used. Primarily for passive and low-energy houses. The principles that apply to heat pumps and solar collectors with thermal storage, which are suitable for new or older buildings, are described in detail. The thesis analyzes the thermal properties of the object under consideration and the proposed heat pump with its calculation and determination of the payback period of the investment in dependence on the analysis of energy price development in the last 10 years.

## ***Klíčová slova***

Tepelné čerpadlo, návratnost, analýza, tepelné vlastnosti, kalkulace

## ***Keywords***

Heat pump, return, analysis, thermal properties, calculation

### ***Bibliografická citace***

KOŽÍK, Martin. *Analýza investice do obnovitelných zdrojů tepla*. Brno, 2019. 77s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, Odbor znalectví ve stavebnictví a oceňování nemovitostí. Vedoucí práce Ing. et Ing. Kristýna Hrabová.

### ***Prohlášení***

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

V Brně 24. 5. 2019

.....

Podpis autora

***Poděkování:***

Na tomto místě bych chtěl poděkovat především své rodině, která mi byla oporou při studiu a také vedoucí mé práce Ing. et Ing. Kristýně Hrabové za její vstřícnost, odborné rady a ochotu při vedení mé diplomové práce.

# Obsah

|       |                                                                       |           |
|-------|-----------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1     | ÚVOD .....                                                            | 10        |
| 2     | REŠERŠE .....                                                         | 11        |
| 2.1   | Nízkoenergetické a pasivní domy .....                                 | 11        |
| 2.1.1 | <i>Zásady pro návrh nízkoenergetických a pasivních domů .....</i>     | <i>11</i> |
| 2.1.2 | <i>Nízkoenergetické domy .....</i>                                    | <i>12</i> |
| 2.1.3 | <i>Pasivní domy .....</i>                                             | <i>14</i> |
| 2.1.4 | <i>Průkaz energetické náročnosti budovy – PENB .....</i>              | <i>15</i> |
| 2.2   | Důvody proč využívat obnovitelné energie .....                        | 16        |
| 2.2.1 | <i>Zdraví .....</i>                                                   | <i>16</i> |
| 2.2.2 | <i>Nevyčerpatelná energie .....</i>                                   | <i>16</i> |
| 2.2.3 | <i>Pracovní příležitosti .....</i>                                    | <i>16</i> |
| 2.2.4 | <i>Ekonomické výhody .....</i>                                        | <i>16</i> |
| 2.2.5 | <i>Spolehlivost a odolnost .....</i>                                  | <i>17</i> |
| 2.2.6 | <i>Snížení produkce CO<sub>2</sub> .....</i>                          | <i>17</i> |
| 2.3   | Typy obnovitelných zdrojů energie .....                               | 19        |
| 2.3.1 | <i>Energie slunce .....</i>                                           | <i>19</i> |
| 2.3.2 | <i>Větrná energie .....</i>                                           | <i>25</i> |
| 2.3.3 | <i>Energie biomasy .....</i>                                          | <i>27</i> |
| 2.3.4 | <i>Energie vody .....</i>                                             | <i>29</i> |
| 2.3.5 | <i>Geotermální energie .....</i>                                      | <i>31</i> |
| 3     | FORMULACE PROBLÉMŮ A STANOVENÍ CÍLŮ ŘEŠENÍ .....                      | 39        |
| 4     | POPIS VÝPOČTŮ A PRŮBĚHU PRAKTICKÉ ČÁSTI .....                         | 40        |
| 5     | DOSAŽENÉ VÝSLEDKY .....                                               | 42        |
| 5.1   | Výpočet součinitele prostupu tepla: .....                             | 42        |
| 5.1.1 | <i>Součinitel prostupu tepla podlahy .....</i>                        | <i>42</i> |
| 5.1.2 | <i>Součinitele prostupu tepla obvodové stěny .....</i>                | <i>43</i> |
| 5.1.3 | <i>Součinitel prostupu tepla stropu .....</i>                         | <i>44</i> |
| 5.1.4 | <i>celkový součinitel prostupu tepla rodinného domu .....</i>         | <i>45</i> |
| 5.2   | Výpočet tepelných ztrát a energetické náročnosti rodinného domu ..... | 46        |
| 5.2.1 | <i>Tepelné ztráty prostupem .....</i>                                 | <i>46</i> |
| 5.2.2 | <i>Tepelné ztráty větráním .....</i>                                  | <i>48</i> |
| 5.2.3 | <i>Výpočet roční potřeby energie na vytápění .....</i>                | <i>48</i> |
| 5.2.4 | <i>Výpočet roční potřeby energie na ohřev teplé vody .....</i>        | <i>49</i> |
| 5.2.5 | <i>Celková potřeba energie za rok .....</i>                           | <i>49</i> |
| 5.3   | Návrh tepelného čerpadla .....                                        | 50        |
| 5.4   | Analýzy vývoje cen energií na území ČR .....                          | 54        |

|       |                                                                         |    |
|-------|-------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.4.1 | <i>Analýza vývoje růstu/poklesu cen zemního plynu na území ČR .....</i> | 54 |
| 5.4.1 | <i>Předpoklad vývoje růstu/poklesu cen zemního plynu v ČR.....</i>      | 56 |
| 5.4.2 | <i>Analýza vývoje růstu/poklesu cen elektřiny na území ČR .....</i>     | 58 |
| 5.4.3 | <i>Předpoklad vývoje růstu/poklesu cen elektrické energie v ČR.....</i> | 61 |
| 5.5   | Výpočet návratnosti investice .....                                     | 62 |
| 6     | DISKUZE VÝSLEDKŮ .....                                                  | 63 |
| 6.1   | Vyhodnocení z hlediska vývoje ceny zemního plynu.....                   | 63 |
| 6.2   | Vyhodnocení z hlediska vývoje cen elektrické energie .....              | 65 |
| 7     | ZÁVĚR.....                                                              | 68 |
|       | SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....                                            | 69 |
|       | SEZNAM TABULEK .....                                                    | 72 |
|       | SEZNAM GRAFŮ .....                                                      | 73 |
|       | SEZNAM OBRAZKŮ .....                                                    | 74 |
|       | SEZNAM ZKRATEK .....                                                    | 75 |
|       | SEZNAM PŘÍLOH .....                                                     | 77 |

# 1 ÚVOD

V současnosti při výstavbě nových rodinných domů, bytových domů nebo staveb s jiným účelem než pro bydlení se přihlíží hlavně na energetickou náročnost dané stavby. Cílem jsou co nejnižší náklady za energie a šetrnost k životnímu prostředí. Takového stavu lze docílit správným návrhem konstrukcí a konstrukčních systémů, které mají výborné tepelně – izolační vlastnosti, návrhem vhodného mechanismu, který využívá alternativní zdroje energie, nebo kombinací dvou uvedených postupů. Alternativní zdroje energie jsou stále více využívány vzhledem k jejich obrovské výhodě. Jsou zdarma. Ale samozřejmě to není tak jednoduché. Abychom mohli využívat obnovitelné zdroje energie, které využívají např. energii slunce, větru, vody biomasy nebo geotermální energii, je zapotřebí nejdříve investovat mnohdy nemalé peníze na realizaci systému, který následně využívá některou z uvedených obnovitelných energií a přivádí ji do objektu. Cílem takových investic je předpoklad tzv. doby návratnosti. Energií zdarma investoři získávají až po několika letech provozu systému, do kterého museli nejdříve investovat. Doba návratnosti stanovuje uplynutí časového intervalu od počátku investice až po dobu, kdy systém navrátí investované peníze tím, že jeho realizace a provoz pokryjí náklady, které by vynaložil jen za provoz původního systému.

Nejčastějšími investicemi obnovitelných energií jsou investice do solárních panelů se zásobníky tepla nebo fotovoltické panely, které využívají především energii slunce. Solární panely se zásobníky dodávají tepelnou energii na vytápění a ohřev užitkové vody. Fotovoltické panely dovádějí elektrickou energii. V neposlední řadě se hojně investuje do tepelných čerpadel, které mohou fungovat na více principech. Praktická část se věnuje tepelnému čerpadlu, jeho aplikaci na daný objekt a následnou kalkulaci. Kalkulace tepelného čerpadla je základním údajem pro stanovení doby návratnosti v závislosti na analýze vývoje cen energií za uplynulé desetiletí.

## 2 REŠERŠE

Obnovitelné zdroje energie mohou napomáhat nejen k úsporám za energie, ale také především životnímu prostředí, které je fosilními palivy znečišťováno. To napomáhá tvorbě skleníkovému efektu.

### 2.1 NÍZKOENERGETICKÉ A PASIVNÍ DOMY

#### 2.1.1 Zásady pro návrh nízkoenergetických a pasivních domů

Výstavba nízkoenergetického nebo pasivního domu se odvíjí od vyváženosti všech složek, které ovlivňují energetickou bilanci objektu. Díky vhodnému koncepčnímu stavebnímu řešení dosahují stavby nízkou spotřebu tepla na vytápění nebo ohřev vody. Tento jev je možné kombinovat s vhodnými soustavami, které využívají alternativní zdroje energie. Nízká energetická náročnost by měla být zachována v celém životním cyklu budovy. [1]

**Správné umístění stavby na pozemku** – Ideálně je stavba situována u severní a východní hranice parcely tak, aby jižní a západní průčelí mohlo být vystaveno solárním ziskům.

**Jednoduchý tvar stavby** – Cílem je zajištění nejkompaktnějšího tvaru domu bez zbytečných výstupků. Velkou roli hraje poměr pláště objektu k obestavěnému prostoru. Nejčastější variantou je ležatý kvádr, která je svou delší stranou situován na jih. Střešní konstrukce je zpravidla plochá nebo pultová.

**Řešení dispozice ke světovým stranám** – Obytné místnosti by měli být situovány na osluněné strany. Vstupní hala, úložné prostory a šatny zpravidla situujeme na stranu odvrácenou.

**Tepelná izolace** – Obálka budovy musí být zajištěna dostatečnou vrstvou tepelné izolace, která se snaží zamezit tvorbě nežádoucích tepelných mostů. [1]

Tab. č. 1 - Tloušťky tepelné izolace v závislosti na druhu konstrukce [1]

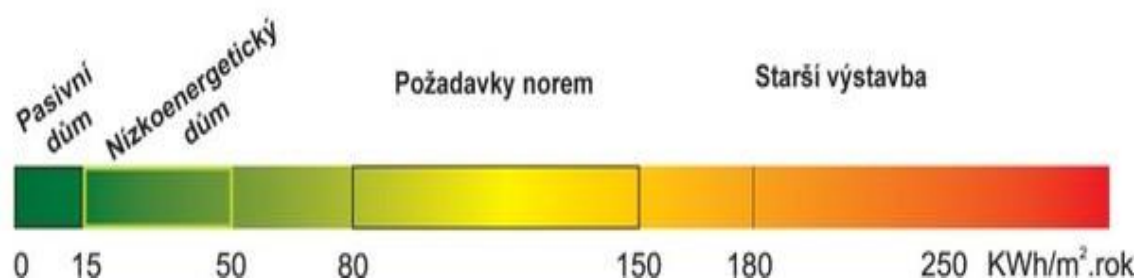
|                            |               |
|----------------------------|---------------|
| Podlaha                    | 150 mm        |
| Střešní/Stropní konstrukce | 200 až 250 mm |
| Obvodová stěna             | 300 až 350 mm |

**Podíl plochy oken k ochlazované obálce domu** – Výplně otvorů mohou způsobovat až 40 % tepelných ztrát. Pro normového oslunění stačí, aby v místnosti poměr plochy oken ke stěně 1/6.

**Požadovaná vzduchotěsnost** – Nejčastějším řešením je řízený systém větrání s rekuperací tepla a možností chlazení. Tradiční otopná soustava bývá často nahrazována teplovzdušným větráním a vytápěním s doplňkovým solárním ohřevem. [1]

## 2.1.2 Nízkoenergetické domy

Z globálního hlediska neexistuje žádná definice, která by charakterizovala nízkoenergetický dům, protože se vnitrostátní normy značně liší. Například v České republice je charakterizována hodnota pro limit spotřeby energie na 50 kWh/m<sup>2</sup> za rok. Ve Švýcarsku je například uváděna hodnota 42 kWh/m<sup>2</sup> za rok. V současné době se předpokládá, že nízkoenergetický dům využívá přibližně polovinu energie, která je uvedena v těchto normách pro vytápění. Typicky v rozsahu 20 až 30 kWh/m<sup>2</sup> ročně. [2,3]



Obr. č. 1 – Požadavky na pasivní a nízkoenergetické domy [4]

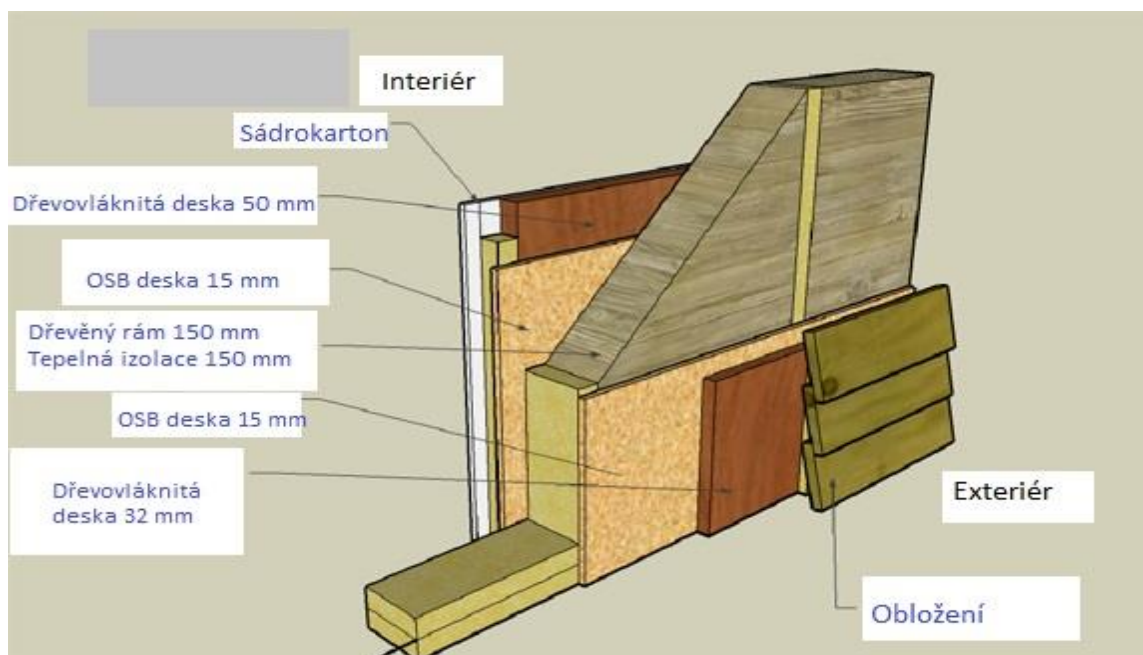
Stavební konstrukce musí mít vynikající tepelně-technické vlastnosti. Nabídka možných stavebních systému pro nízkoenergetické domy je velmi rozmanitá:

- zděná stavba s kontaktním zateplením,
- masivní nosná konstrukce s lehkými obvodovými prvky,
- samotné lehké stavební prvky
- samotné lehké stavební systémy obsahující hrubou tepelnou izolaci.

Tloušťka nosného zdiva se pohybuje v rozmezí 250 až 350 mm u dutinkových cihel, které jsou doplněné tepelnou izolací. Moderní provedení představuje dřevostavby, kde skladba nosné stěny je zpravidla sestavena jako difuzně otevřená třívrstvá konstrukce s parotěsnou rovinou na vnitřní straně tvořenou obvykle OSB deskou. [3]

Obvodovému plášti (u lehké i těžké stěny) bychom měli věnovat pozornost následujícím detailům (u nízkoenergetických i pasivních domů):

- napojení vodorovné částí základů na svislé stěny suterénního zdiva,
- ostění okna v suterénním zdivu,
- návaznost spodní stavby na vrchní v prostředí soklu a okapového chodníku,
- řešení ostění okna v nadzemní části budovy,
- návaznost obvodového pláště na strop 1.NP,
- prostup obvodovým pláštěm. [1]



Obr. č. 2 – Konstrukce obvodové stěny dřevostavby nízkoenergetického domu [5]

Nízkoenergetické domy ze dřeva jsou ve srovnání s cihlovými a betonovými lepší pro životní prostředí. Průmysl vyrábějící cihly a betonové prvky je zodpovědný za přibližně 10 % celosvětových emisí CO<sub>2</sub>. V opačném případě právě dřevo napomáhá životnímu prostředí absorbovat a skladovat CO<sub>2</sub>. [2]

Rozdíl mezi nízkoenergetickým a pasivním domem spočívá mimo odlišné požadavky na součinitele prostupu tepla U jednotlivých konstrukcí, tak i ve vzduchotěsnosti. V pasivním domě zásadě nevětráme okny nebo dveřmi. S tím je spojen úplně odlišný styl bydlení. Mimo tyhle fakty také pasivní dům má silnější vrstvy izolací. Odizolovány jsou i základy a to nejen z boční strany. Nízkoenergetický dům má doplňkový zdroj tepla. U pasivních domů tomu tak být nemusí, ale za teplot -20 °C a níž, kdy je zataženo, má i pasivní dům své nároky. [6]

Tab. č. 2 - Rozdílné požadavky U na pasivní a nízkoenergetický dům [6]

| Konstrukce | Požadovaná hodnota U [W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]<br>Nízkoenergetický dům | Požadovaná hodnota U [W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]<br>Pasivní dům |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Střecha    | 0,25                                                                               | 0,15                                                                      |
| Okna       | 1,20                                                                               | 0,80                                                                      |
| Stěna      | 0,30                                                                               | 0,15                                                                      |
| Podlaha    | 0,35                                                                               | 0,15                                                                      |

### 2.1.3 Pasivní domy

V pasivních domech se využívá teplovzdušné vytápění, které souvisí s rekuperací vzduchu. Jsou velmi dobře izolovány a musí být naprosto vzduchotěsné. Z tohoto důvodu se provádí před kolaudací pasivního domu BLOWER-DOOR TEST (test vzduchotěsnosti). Při samotné výstavbě se dbá na perfektní provedení všech konstrukčních detailů. V nejčastějších případech se jedná o montované stavby nebo dřevostavby, ale lze je zhotovit i z broušených cihel, které jsou ve svých dutinách zatepleny. Spotřeba tepla pasivního domu je asi 10x menší než spotřeba tepla u běžné novostavby. Prakticky v pasivním domě nepotřebujeme ani zdroj tepla (mimo rekuperaci). Především je využíváno zbytkového tepla z exteriéru, které se dostává do interiéru velkými plochami oken, které jsou situovány na jih.

V pasivním domě se spoří nejen náklady na vytápění. Další významné pozitivum je zbavení se běžných zdravotních problémů včetně alergií. Vlivem rekuperace vzduchu neustále probíhá jeho filtrace, která zbavuje vzduch nečistot, alergenů a hlavně prachu. Do interiéru je přiváděno jen požadované množství vzduchu. To znamená, že je zamezeno vzniku případných plísní. [6]

- **BLOWER-DOOR TEST**

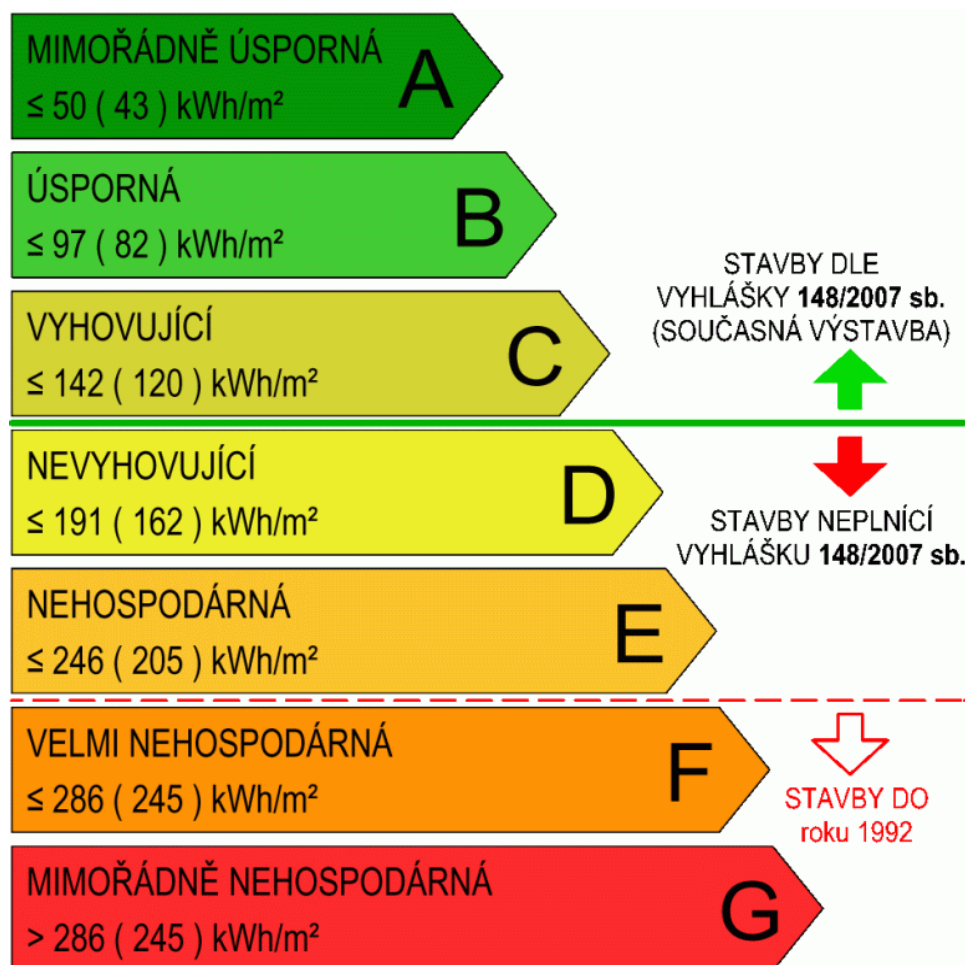
Jedná se o zkušební metodu, kterou se měří vzduchotěsnost obálky budovy prostřednictvím ventilátoru. Ventilátor je po celou dobu zkoušky zabudován ve vstupních dveřích objektu nebo může být zabudován na jiném vhodném místě. Jeho funkcí je během zkoušky průběžně měnit tlak v budově. Podle správného postupu dochází ke zvyšování a snižování tlaku. Přetlak a podtlak je dán rozdílem 50 Pa. Z výsledných naměřených hodnot potom lze odvodit, zda je objekt dostatečně či nedostatečně utěsněn. Podmínky pro zkoušku jsou přesně uvedeny v normě ČSN EN 13829. Výsledkem celé zkoušky je stanovení celkové hodnoty průvzdušnosti obvodové konstrukce objektu. [7]

| Větrání v budově                                                                                            | Doporučená hodnota celkové intenzity výměny vzduchu n50,N [h <sup>-1</sup> ] |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-----------|
|                                                                                                             | Úroveň I                                                                     | Úroveň II |
| Přirozené nebo kombinované                                                                                  | 4,5                                                                          | 3,0       |
| Nucené                                                                                                      | 1,5                                                                          | 1,2       |
| Nucené se zpětným získáváním tepla                                                                          | 1,0                                                                          | 0,8       |
| Nucené se zpětným získáváním tepla v budovách se zvláště nízkou potřebou tepla na vytápění (pasivní budovy) | 0,6                                                                          | 0,4       |

Obr. č. 3 – Schéma BLOWER-DOOR testu a doporučené hodnoty celkové intenzity výměny vzduchu [7]

## 2.1.4 Průkaz energetické náročnosti budovy – PENB

Prostřednictvím průkazu energetické náročnosti budovy se stanoví energetická náročnost daného objektu, což umožňuje získání informací o předpokládaných nákladech na provoz objektu. Jedná se o energii, kterou potřebujeme dodat pro vytápění, ohřev teplé vody, osvětlení a případně i větrání a chlazení. Celkové množství roční dodané energie se vydělí podlahovou plochou objektu. Výsledkem je měrná roční spotřeba energie na metr čtvereční - kWh·m<sup>-2</sup> za rok. Podle vypočtených hodnot se zařadí roční spotřeby mezi 7 kategorií (tříd energetické náročnosti). [8]



Obr. č. 4 – Třídy energetické náročnosti budov [8]

V dnešní době musí novostavby dosahovat hodnot pro zařazení do kategorií A až C. V opačném případě by byl problém s udělením stavebního povolení. Od 1. 1. 2009 je PENB povinnou součástí každé projektové dokumentace. Také musí být zpracováno pro budovy, jejichž podlahová plocha je větší než 1000 m<sup>2</sup>, u kterých má dojít ke změnám, které budou mít za následek ovlivnění jejich energetické náročnosti. Zavedením PENB bylo podpořeno snaha o snižování spotřeby energií. Cílem je, aby energeticky náročné budovy byly pomalu vytlačovány ze současného realitního trhu. V současné době je velkým trendem platit co nejméně za provoz stavebních objektů. [8]

## **2.2 DŮVODY PROČ VYUŽÍVAT OBNOVITELNÉ ENERGIE**

### **2.2.1 Zdraví**

Znečištění ovzduší a vody způsobené uhelnými a zemními plyny je spojeno s problémy s dýcháním, neurologickým poškozením, rakovinou a řadou dalších závažných problémů.[9] Větrné, solární a hydroelektrické systémy produkují energii bez jakýchkoliv souvisejících emisí. Geotermální a biomasové systémy emitují některé látky znečišťující ovzduší, i když celkové emise ve vzduchu produkované těmito systémy jsou obecně nižší než emise z uhlých a zemních elektráren. [10]

Větrné a sluneční energie navíc nevyžadují žádnou vodu pro provoz a tudíž neznečišťují vodní zdroje. Naproti tomu fosilní paliva mají jednoznačný vliv na vodní zdroje pitné vody. Především se jedná o těžbu uhlí a zemního plynu. Geotermální elektrárny a elektrárny na biomasu spotřebovávají vodu při chlazení. Studie o obnovitelných zdrojích energie [11], která zahrnovala geotermální energii a biomasu, zjistila, že po roce 2050 se celková spotřeba vody a její odběr v budoucnu výrazně sníží. [12]

### **2.2.2 Nevyčerpatelná energie**

Silný vítr, slunečné nebe, hojná rostlinná hmota, teplo ze země nebo rychle se pohybující voda mohou poskytnout obrovskou a neustále doplňovanou dodávku energie. Studie opakovaně ukazují, že obnovitelná energie může výrazně přispět k budoucím potřebám elektřiny. Velká studie z USA [11] zjistila, že obnovitelná energie by mohla v roce 2050 produkovat až 80 % elektřiny.

### **2.2.3 Pracovní příležitosti**

Ve srovnání s technologiemi využívajícími fosilní paliva, které jsou typicky mechanizované a kapitálově náročné, je odvětví obnovitelné energie náročnější na lidskou pracovní sílu. Solární panely potřebují lidi k jejich instalaci, větrné elektrárny potřebují techniky pro údržbu. To znamená, že v průměru se vytvoří více pracovních míst pro každou jednotku elektřiny vyrobené z obnovitelných zdrojů než z fosilních paliv. [12]

Kromě pracovních míst vytvořených v odvětví obnovitelných zdrojů energie může růst čisté energie vytvořit pozitivní ekonomické efekty. Přínosem mohou být například průmyslová odvětví v dodavatelském řetězci obnovitelných zdrojů energie. [13]

### **2.2.4 Ekonomické výhody**

Obnovitelné zdroje poskytují cenově dostupné energie a mohou pomoci stabilizovat ceny energií v budoucnu. Ačkoliv vyžadují prvotní investice na výstavbu, mohou pracovat za velmi

nízkou cenu. V tomto důsledku mohou být ceny obnovitelných energií časem velmi stabilní. Také náklady na technologie obnovitelných zdrojů energií neustále klesají a jejich pokles se předpokládá i v budoucnu. Například průměrná cena instalace solárních panelů mezi lety 2010 a 2017 klesla o více než 70 %. Náklady na výrobu elektřiny z větru mezi lety 2009 a 2016 poklesly o 66 %. Naopak ceny fosilních paliv se mohou dramaticky lišit a jsou náchylné k výrazným výkyvům cen. Příkladem je případ, kdy v roce 2008 došlo k prudkému nárůstu cen uhlí v USA v důsledku rostoucí celosvětové poptávky. Následně k prudkému poklesu, kdy globální požadavky klesly. Stejně kolísají ceny zemního plynu od roku 2000. [12,13]

Využívání obnovitelných zdrojů energie tedy může snížit ceny a poptávku po zemním plynu a uhlí zvýšením konkurence a diverzifikací našich dodávek energie. Zvýšená závislost na obnovitelných zdrojích energie může pomoci chránit spotřebitele při prudkém růstu cen fosilních paliv. Investice do obnovitelných energií jako jsou např. solární kolektory s tepelným zásobníkem nebo tepelné čerpadla jsou do budoucna určitě na místě ať už pro výrobu elektrické energie nebo pro vytápění a ohřev vody.

### **2.2.5 Spolehlivost a odolnost**

Větrná a sluneční energie jsou méně náchylné k rozsáhlému selhání, protože jsou distribuovány a modulární. Distribuované systémy jsou rozloženy po velké geografické oblasti. Z toho důvodu nebude těžká povětrnostní událost na jednom místě přerušovat napájení celé oblasti. Modulární systémy se skládají z mnoha jednotlivých větrných turbín nebo solárních panelů. I když jsou některá zařízení v systému poškozena, zbytek může pokračovat v obvyklém provozu.

Na druhé straně jaderné elektrárny a mnoho závodů na zemní plyn závisí na dostatečném množství vody pro chlazení, což znamená, že silné sucho a vlny tepla mohou ohrozit výrobu elektřiny. Větrné a solární fotovoltaické systémy nevyžadují vodu pro jejich provoz a mohou spolehlivě fungovat v podmínkách, které by vyžadovaly uzavření elektrárny na fosilní paliva. Rizika rušivých událostí se neustále zvyšují a nabývají na větší síle, protože sucha, vlny horka, intenzivnější bouře a stále silnější požáry se v důsledku globálního oteplování stávají častějšími. Tento fakt zvyšuje potřebu odolných a čistých energií. [12]

### **2.2.6 Snížení produkce CO<sub>2</sub>**

Produkce CO<sub>2</sub> má zásadní význam nejen pro lidi, ale i pro život na planetě všeobecně. Skleníkové plyny zachycují teplo a ohřívají Zemi. Za nárůst skleníkových plynů v atmosféře je převážně odpovědný člověk. Primárními zdroji vyšší produkce CO<sub>2</sub> jsou:

- **Doprava** (cca 28 %) – Největší producent CO<sub>2</sub>. Emise skleníkových plynů jsou produkovány především ze spalování fosilních paliv pro veškeré dopravní prostředky.
- **Výroba elektrické energie** (cca 27 %) – Druhý největší producent CO<sub>2</sub>. Přibližně 63 % vyrobené elektřiny pochází ze spalování fosilních paliv.
- **Průmysl** (cca 22 %) – Opět zde hrají roli fosilní paliva, ke kterým se přidávají chemické reakce nezbytné pro produkci zboží a surovin.
- **Komerční a obytné budovy** (cca 11 %) – Emise z podniků a domácností vznikají především z fosilních paliv spalujících teplo a manipulace s odpady.
- **Zemědělství** (cca 9 %) – Emise v zemědělství pocházejí ze zvířat, jako jsou např. krávy, zemědělské půdy a produkce rýže. [14]



Obr. č. 5 – Producenti CO<sub>2</sub> [15]

Evropská unie se zavázala 17. prosince 2018 k opatřením vedoucím ke snížení emisí CO<sub>2</sub>. V rámci takových opatření budou zavedeny přísnější normy emisí pro osobní automobily a lehká užitková vozidla. Nová pravidla mají zajistit, aby v roce 2030 byly emise CO<sub>2</sub> z nově vyrobených automobilů v průměru o 37,5 % nižší než úrovně v roce 2021. V časovém intervalu let od roku 2025 do roku 2029 bude vyžadováno, aby se emise z osobních automobilů a dodávek snížily o 15 %. [16]

## 2.3 TYPY OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ ENERGIE

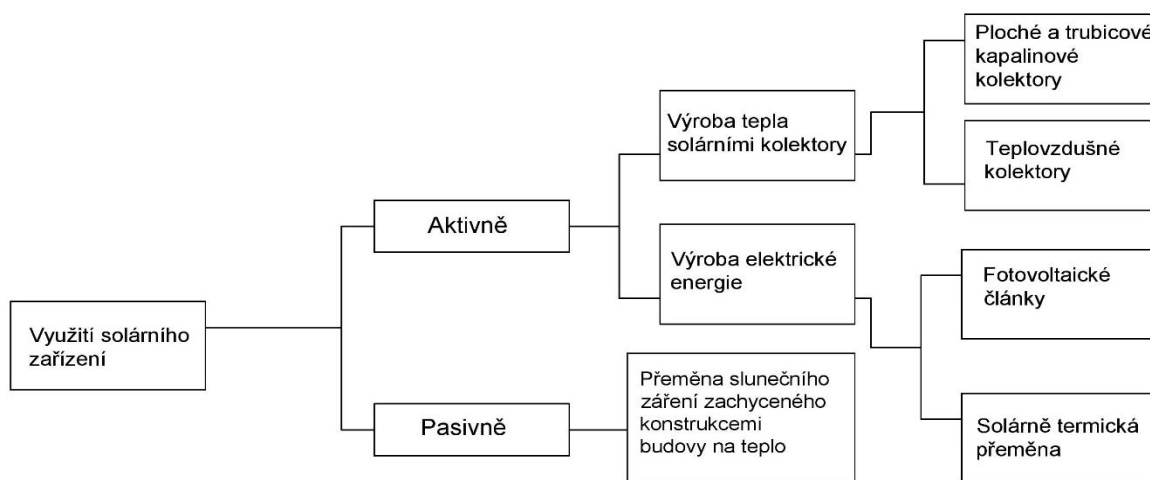
### 2.3.1 Energie slunce

Bez sluneční energie by na zemi neexistoval život. Lze ji využívat jak k získání elektrické energie, tak k výrobě tepla a ohřevu užitkové vody ve stavebních objektech. [17]

#### Ohřev vody a vzduchu

Fototermální přeměnu nebo přeměnu světelného záření v tepelnou energii lze rozčlenit na 2 možnosti využití:

- **Pasivní** – tepelná energie je získávána pomocí pasivních solárních prvků, ke kterým řadíme např. prosklené fasády nebo zimní zahrady;
- **Aktivní** – tepelná energie je získávána pomocí přídavných technických zařízení především kolektory (slunečními sběrači).



Obr. č. 6 – Schéma pasivního a aktivního využití sluneční energie [17]

#### Pasivní solární systém

Energie získávána pasivním solárním systémem je závislá na mnoha faktorech, jako jsou např. poloha budovy, architektonické řešení, druh budovy, materiály použité na výstavbu a vytápěcí systém. U tohoto systému je důležité vyřešení rizika spojeného s tepelnou zátěží. Tím je myšleno především řádné odvětrávání a možnost akumulace energie do stavebních konstrukcí. [17]

Pasivní solární systémy zajišťují v budově teplejší nebo chladnější teplotu s využitím sluneční energie bez pomoci elektrických zařízení, jako jsou například solární kolektory. V zásadě existují 3 důležité komponenty pro efektivní využívání pasivního systému s využitím sluneční energie.

- **Přímý zisk**

Nejpoužívanější solární systém, který je založen na principu průsvitu slunečních paprsků nesoucích tepelnou energii skrz okna budovy. K návrhu takového systému je třeba vypočítat celkovou velikost okenní plochy budovy a navrhnout konstrukci podlah a zdí tak, aby obsahovali materiály, které jsou schopny uchovat požadované množství energie pro celý objekt. Obecně by celková plocha oken měla být v intervalu 7 – 12 % podlahové plochy vybraného objektu. [18]

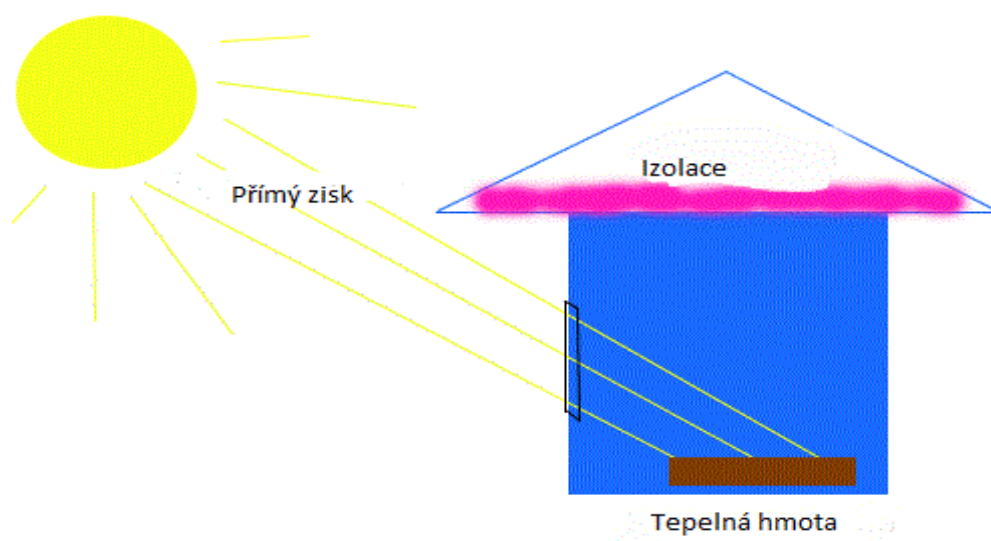
- **Tepelná hmota**

Materiály, které ukládají energii ze slunečních paprsků, obsahují tepelnou hmotu, která je schopna takovou energii uchovat a ne druhou stranu uvolnit. Uložená energie se během dne ukládá a v noci naopak uvolňuje. Tepelná hmota se vyskytuje v materiálech, které tvoří konstrukci podlah, stěn nebo krbů. Slunce nemusí přímo zasahovat na povrch těchto konstrukcí a ani povrchy nemusí mít tmavou barvu. Možnosti ukládání daného materiálu závisí na jeho tepelné vodivosti a hustotě materiálu. Obvykle materiály s vyšší hustotou mohou ukládat více tepla. [2]

- **Izolace**

Napomáhají k udržení potřebného tepla v interiéru. U tohoto systému lze využít izolační žaluzie nebo závěsy na jižních oknech zejména v zimních dnech, kdy je slunce na obloze nízké. Tyto žaluzie či závěsy mohou zvýšit pokojovou teplotu v objektu a taktéž mohou zvýšit energetickou účinnost. [18]

V dnešní době je možné se s pasivními systémy setkat v podobě prosklených částí fasád, které v podmínkách klimatu České Republiky musí být situovány na jižní straně objektu. Fungují na principu skleníkového efektu. [19]



Obr. č. 7 – 3 důležité komponenty pro efektivní využívání pasivního systému s využitím sluneční energie [18]

## **Aktivní solární systém**

Ve většině případů je možno u tohoto systému dodatečně instalovat na příslušné objekty. Nejvíce jsou aktivní systémy využívány k celoroční přípravě teplé vody, ohřevu bazénové vody nebo k vytápění budov prostřednictvím ústředního či teplovzdušného vytápění. Tepelnou energii je možné akumulovat 2 základními způsoby.

- Dlouhodobá akumulace – Méně častá. Čím delší je časový horizont akumulace, tím je tento systém méně ekonomický.
- Krátkodobá akumulace – Častější varianta. Společně s využitím otopných systémů využívají okamžité solární zisky. [17]

## **Solární kolektory**

Solární kolektor je zařízení, které je schopno pohlcovat sluneční záření a přetvořit jej v tepelnou energii, která je následně předávána teplotonosné látce protékající kolektorem. Ke zlepšení účinnosti kolektoru přispívá jeho velmi dobrá tepelná izolace. Vrchní strana se skládá z transparentního krytu vyrobeného převážně ze skla nebo polykarboxylátu, který propustí krátkovlnné sluneční záření, ale zabrání zpětnému vyzařování dlouhovlnného záření. Na spodní části a bocích je absorbér, který je izolován běžnými izolačními materiály, jako jsou například minerální vlákna nebo pěnový polyuretan. Na povrchu absorbérů se přímé záření mění na teplo pomalou difuzí. Povrch musí být schopen pohltit co nejvíce dopadajícího slunečního záření.

- **Ploché neselektivní kolektor**

Jedná se o zasklený deskový kolektor obsahující kovový absorbér, který disponuje spektrálně neselektivním povlakem (černým potěrem). Využívá se většinou k sezónnímu předehřevu vody při nízké teplotní úrovni. Vykazuje velké tepelné ztráty vlivem sálání v zimním období.

- **Ploché nekryté kolektor**

Většinou k dostání ve formě plastové rohože, která není zasklená a má velké tepelné ztráty. Ty jsou závislé především na venkovních podmínkách. Nejvíce však na rychlosti proudění větru. V praxi nacházejí uplatnění především u sezónního ohřevu bazénové vody o nízké teplotní úrovni.

- **Ploché selektivní kolektor**

Zasklený deskový kolektor s kovovým absorbérem, který na povrchu nese spektrálně selektivní povlak. Na boční a zadní straně kolektorové skříně je tepelná izolace. Nevykazují moc velké tepelné ztráty sáláním, a z toho důvodu jsou využívány jako solární ohřev vody a vytápění celoročně. Tvoří největší výskyt zasklených kolektorů na trhu.

- **Plochý vakuový kolektor**

Zasklený deskový kolektor s kovovým absorbérem se spektrálně selektivním povlakem. Atmosférický tlak v okolí kolektoru je nižší vyšší než tlak uvnitř kolektoru. Tím jsou zajištěny nízké celkové tepelné ztráty. Ploché vakuové kolektory jsou využívány pro celoroční ohřev vody, vytápění nebo pro průmyslové aplikace, jejichž provozní teploty jsou okolo 100 °C. [20]



*Obr. č. 8 – Fotografie plochého atmosférického (vlevo) a plochého vakuového kolektoru (vpravo) [20]*

- **Trubkový jednotěnný vakuový kolektor**

Kolektor s plochým spektrálně selektivním absorbérem umístěným ve vakuové skleněné trubce. Nízkoemisivní absorbér díky vakuové izolaci nevykazuje velké tepelné ztráty. Vysoký přesun tepla z absorbéru do teplotnosného média prostřednictvím svařovaného spoje potvrzuje vysokou účinnost kolektoru v celém teplotním rozsahu. V praxi jsou nejvíce využívány většinou pro kombinované soustavy pro vytápění.

- **Trubkový dvojstěnný vakuový kolektor (Sydney)**

Kolektor s válcovým spektrálně selektivním absorbérem, který je umístěn do vakuované trubice. Oproti plochým kolektorům mají nižší účinnost při nízkých teplotách. Využívány jsou především pro kombinované soustavy pro vytápění a průmyslové vysokoteplotní aplikace (provozní teploty na 100 °C).



*Obr. č. 9 – Fotografie trubkový dvojstěnný vakuový kolektor na bázi Sydney trubek [20]*

- **Soustředující (koncentrační) kolektor**

Specifický typ kolektoru, ve kterém se využívají zrcadla, čočky nebo jiné optické prvky, jejichž funkcí je usměrnit a soustředit přímé sluneční záření, které prochází aperturou kolektoru, do ohniska (absorbéru) o menší ploše než je vlastní plocha apertury. [20]

### **Tepelné zásobníky**

Úkolem tepelného zásobníku je vyrovnávat přirozené kolísání dodávek solární energie. Navrhují se na požadované využití solární energie. Společně s kolektorem tvoří 2 hlavní části solárního okruhu. Solární kolektor transformuje sluneční záření na teplo, které je převáděno do teplotonosného média (např. vody, vzduchu aj.) Prostřednictvím teplotonosného média je transportováno k danému místu spotřeby. V každém systému pro ohřev vody a vytápění musí být navržen vhodný zásobník, který zachovává tepelnou energii po dobu, dokud ji nebudeme potřebovat. Ideální by byl takový zásobník, který by přijal veškeré teplo, které se vyprodukovalo kolektorem a udržel by ho jakkoliv dlouhou dobu a taky bez tepelných ztrát. Byl by co nejmenší a za nízkou cenu. Pokud by existoval takový zásobník, byla by to revoluce v celém energetickém průmyslu.

- **Krátkodobé zásobníky**

U krátkodobých zásobníků je využíváno citelné i latentní teplo. Větších solární soustavy (nad 50 – 100 m<sup>2</sup> kolektorové plochy) představují zásobníky jako nádoby tlakové nebo beztlakové. Ze solárního okruhu přestupuje teplo pomocí deskových výměníků, které jsou vždy realizované mimo vlastní nádobu. Objemy zásobníků jsou nejvýše v řádech desítek m<sup>3</sup> a teploty pokaždé do 100 °C. Výhodou je vysoký měrný prostup tepla, protože zajišťuje nízkou cenu teplosměnné plochy.

- **Dlouhodobé zásobníky**

Sluneční záření dopadá během celého roku nerovnoměrně na zemský povrch. V zimě, kdy je potřeba tepelné energie na vytápění největší, je zachyceno nejméně solární energie. Kvůli takovému jevu solární soustava, která by měla dodávat teplo pro vytápění a ohřev vody, vyžaduje dlouhodobé ukládání tepla ze solárních kolektorů. Akumulace jsou prováděny pomocí speciálních sezónních zásobníků.

### **Přírodní podmínky**

Důležitým faktorem při využívání sluneční energie je intenzita slunečního záření. Jde o slunečního záření na povrchu Země je množství sluneční energie v kWh, která dopadá na 1 m<sup>2</sup> daného povrchu. Ovlivňuje ji především zeměpisná šířka, ale i průměrné počasí a množství oblačnosti v dané lokalitě. Celková intenzita slunečního záření dopadající na plochu pod vrstvou atmosféry je součtem přímého a difuzního záření. [20]

$$I = I_D + I_P \quad (1)$$

kde:  $I$  je celková intenzita slunečního záření [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ];  
 $I_P$  je intenzita přímého slunečního záření [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ];  
 $I_D$  je intenzita difuzního slunečního záření [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ]. [21]

- **Difúzní záření** – sluneční záření, které bylo odraženo od částecek obsažených v atmosféře, jako jsou např. vodní kapky nebo prach, a změnilo svoji trajektorii.
- **Přímé záření** – sluneční záření, které při průchodu atmosférou nebylo odraženo ani pohlceno a znovu vyzářeno. [21]

## Výroba elektřiny

Na území ČR dopadá ročně přibližně milionkrát více sluneční energie, než je spotřeba elektřiny ČR za rok. Přeměna sluneční energie na elektrickou je dražší než přeměna na energii tepelnou. Lze i získávat 2 způsoby:

- Přímo – fotovoltaické články;
- Nepřímo – větrné, vodní elektrárny nebo tepelné elektrárny, které spalují biomasu či bioplyn. [22]

### Fotovoltaické panely

Jedná se o systém, který je složen z jednoho nebo více solárních panelů kombinovaných s měničem a jiným elektrickým a mechanickým hardwarem, který využívá energii slunce k výrobě elektrické energie. Kromě solárních panelů jsou zapotřebí další komponenty, bez kterých by se tento systém neobešel. Mezi ně řadíme: střídače, spojky, odpojovače, jističe a elektroměry. [23]



Obr. č. 10 – Fotovoltaické panely integrované do střešní krytiny [22]

### 2.3.2 Větrná energie

Větrná energie je úzce spojena s energií slunce, protože vítr je tok vzduchu, jehož vznik je zapříčiněn tlakovými rozdíly mezi různě zahřátými zónami vzduchu v zemské atmosféře, nepravidelností zemského povrchu a rotací země. Jedná se tedy o horizontální složku proudění vzduchu. Vítr je využíván 2 základními způsoby. Může být přeměněn v mechanickou energii anebo v elektřinu.

- Přímá přeměna na mechanickou práci (čerpání vody, mletí obilí),
- Přímá přeměna energie větru na elektřinu,

#### Systémy přeměňující vítr na elektřinu

- Systémy nezávislé na rozvodné síti – Tzv. autonomní systémy, které slouží pro lokální zásobování elektřinou v dané oblasti. Větší autonomní systémy jsou využívány v klasických větrných elektrárnách se záložními zdroji (bez akumulace).
- Systémy dodávající energii do rozvodné sítě – Nejrozšířenější systémy, které jsou využívány v oblastech s velkým větrným potenciálem. Slouží především pro komerční výrobu elektřiny. [17]

#### Větrné elektrárny

Základním nástrojem pro získávání elektřiny z větrné energie jsou větrné turbíny. Pomocí lopatkových vrtulových letounů, které se otáčejí vzduchem a napájí elektrický generátor. Většina moderních turbín má horizontální osu otáčení. Málokdy se setkáváme s turbínou, která by měla vertikální osu otáčení.

Větrné turbíny jsou často seskupeny do jedné větrné elektrárny a generují hromadně elektrickou energii. Elektřina z těchto turbín je přiváděna do rozvodné sítě a distribuována zákazníkům. [24]

#### Výběr vhodných lokalit pro umístění větrných elektráren

V podmínkách klimatu ČR jsou nejlepšími variantami lokality převážně ve vyšších nadmořských výškách, obvykle nad 500 m n. m. Rozhodujícími faktory o využití větrného potenciálu jsou především průměrná rychlost a četnost směru větru. [20]

K ohodnocení dané lokality se nejčastěji využívá stanovení distribuční charakteristiky, což je rozdělení četnosti rychlostí větru, které se zjišťuje pomocí kontinuálního měření rychlosti ve výšce osy rotoru. Měření se provádí v nejlepším případě celý rok a následně se porovná s dlouhodobými údaji na meteorologických stanicích, které jsou situovány nejblíže ke zkoumané lokalitě. Jelikož se jednotlivé roky mohou hodně lišit, proto jsou důležité následující vstupní údaje

- měřené průměrné rychlosti větru včetně četnosti směru;

- množství a parametry překážek, které způsobují turbulenci a brání laminárnímu proudění větru (porosty, stavby, stromy);
- chod ročních venkovních teplot či jiných nepříznivých meteorologických jevů;
- nadmořská výška (hustota vzduchu);
- možnost umístění vhodné technologie:
  - únosnost podloží, geologické podmínky pro základy elektrárny;
  - dostupnost lokality pro těžké mechanismy;
  - vzdálenost od přípojky VN nebo VNN;
  - vzdálenost od obydlí;
- míra zásahu do okolní přírody – zátěž při výstavbě elektrárny, zátěž budováním přípojky, zásah do vzhledu krajiny;
- majetkoprávní vztahy k pozemku. [17]

#### Výhody a nevýhody elektrické energie získávané z větru:

- **Obnovitelný neznečišťující zdroj energie** – bez ohledu na to, jak moc či málo se dnes využívá, budou v budoucnu stále stejné dodávky. Na rozdíl od konvenčních elektráren nevznikají chodem větrné elektrárny žádné znečišťující látky ani skleníkové plyny.
- **Problémy s náklady** – přestože náklady na větrnou energii dramaticky klesly za posledních 10 let, technologie vyžaduje vyšší počáteční investice než generátory s fosilními palivy. Zhruba 80 % nákladů je strojní zařízení a zbytek příprava a instalace. Pokud porovnáváme systémy větrné elektrárny se systémy na fosilních palivech na bázi „životního cyklu“, náklady větru jsou mnohem konkurenceschopnější s jinými technologiemi výroby, přestože neexistuje žádné palivo ani minimální provozní náklady.
- **Environmentální obavy** – přestože větrné elektrárny mají relativně malý vliv na životní prostředí ve srovnání oproti elektrárnami na fosilní paliva, existují určité obavy z hluku, který je produkován lopatkami rotoru nebo mohou lopatky usmrtit ptactvo či netopýry. Tyto problémy jsou řešeny a výrazně omezeny správným umístěním větrných elektráren. [24]
- **Dodávky a dopravní problémy** – stejně jako u sluneční energie, kdy paprsky dopadají na povrch země, tak i u větru nelze zaručit, že bude v danou dobu foukat. Ne vždy tedy pofukuje, když je zapotřebí elektrická energie. Dobré větrné lokality se často nacházejí daleko od oblastí poptávky elektrické energie (města). [24]

### 2.3.3 Energie biomasy

Nejstarší využívaný zdroj energie. Do poloviny 18. století bylo dřevo praktický jediným palivem, které se využívalo pro získávání tepelné energie. V 19. století bylo z velké části nahrazeno fosilními palivy. Na konci minulého století v souvislosti se snahou snížit vliv lidstva na změnu klimatu, nachází tento zdroj energie na svůj význam a řadí se mezi významné zdroje energie v technicky vyspělých zemích.

Biomasa je veškerá organická hmota na zemi, která je účastníkem koloběhu živin v biosféře. Bez sluneční energie by nemohla existovat. Může být buď cíleně pěstována, nebo se jedná o odpady, které pochází ze zemědělské, potravinářské či lesní produkce. Energetická biomasa jsou především rostliny. Ty využívají sluneční záření k fotosyntéze, při které se využívají jednoduché anorganické látky ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ) pro tvorbu energeticky bohatých sloučenin. V rostlinách je tedy naakumulovaná energie ze slunce, ale má poměrně nízkou účinnost. Naproti tomu je dlouhodobá a také při ní nedochází v podstatě k žádným ztrátám. [17,25]

#### Kategorie biomasy v závislosti na přírodních podmínkách

- **Biomasa odpadní**
  - Rostlinné odpady – odpady především ze zemědělské výroby nebo údržby krajiny;
    - Řepková a kukuřičná sláma, obilná sláma, seno, zbytky po likvidaci křovin, odpady ze sadů a vinic;
  - Lesní odpady – jedná se o odpady, které zůstávají nadále v lese po těžbě dříví;
    - Pařezy, kořeny, kůra, vršky stromů, větve, šišky;
  - Organické odpady z průmyslových výrob – odpady z dřevařského průmyslu;
    - Odřezky, piliny, hobliny, kůra;
  - Odpady z živočišné výroby;
    - Hnůj, kejda, zbytky krmiv, odpady z přidružených zpracovatelských kapacit;
  - Komunální organické odpady;
    - Kaly, organický tuhý komunální odpad. [17]
- **Biomasa pěstovaná pro energetické účely**

V současné době mimo obvykle pěstovaných potravinářských nebo krmných zemědělských plodin se pěstují také i plodiny, které jsou využívány pro energetické účely. Především jsou to rychle rostoucí rostliny nebo rostliny bylinného charakteru. Jsou využívány díky jejich snadnému výsevu, krátkému vegetačnímu období a možnosti využití i na neenergetické účely. [17,25]

- Lignocelulózové;
  - Rychle rostoucí dřeviny – topol, vrba, olše, akát, líska;
  - Obiloviny;

- Travní porosty – sloní tráva, chřastice, trvalé lesní porosty
- Rostliny bylinného charakteru – konopí, štovík, ostřík;
- Olejnaté:
  - Řepka olejná, slunečnice, len, dýně na semeno
- Škrobo-cukernaté:
  - Brambory, cukrová řepa, cukrová třtina, kukuřice. [25]

### Technologie zpracování a přípravy biomasy

Z energetického hlediska můžeme energii z biomasy získávat především spalováním, tedy termochemickou přeměnou. Biomasa může být spalována dvěma způsoby. Je spalována buď přímo, nebo jsou spalovány kapalné či plynné produkty jejího zpracování. [17]

*Tab. č. 3 - Rozdělené technologie zpracování a přípravy biomasy [17]*

| Proces    | Přeměna             | Děje                                            |
|-----------|---------------------|-------------------------------------------------|
| Suchý     | Termochemická       | Spalování                                       |
|           |                     | Pyrolýza (produkce plynu, pyrolýzní oleje)      |
|           |                     | Zplyňování (produkce plynu)                     |
| Mokrý     | Biochemická         | Fermentace, alkoholové kvašení (ethanol)        |
|           |                     | Anaerobní vyhnívání, metanové kvašení (bioplyn) |
| Speciální | Mechanicko-chemická | Lisování olejů (produkce kapalných paliv, olej) |
|           |                     | Esterifikace surových bioolejů (bionafta)       |
|           |                     | Štípání drcení, lisování, mletí (pevná paliva)  |

Nejstarší metodou, kterou lze získat energii u biomasy je spalování. Při takovém procesu dochází k rozkladu organického materiálu na hořlavé plyny a další látky. Následně probíhá oxidace, při které se uvolňuje  $\text{CO}_2$ , voda i teplo. V porovnání s fosilními palivy se spalování biomasy prezentuje téměř nulovou bilancí  $\text{CO}_2$ , jehož množství uvolňujícího se do ovzduší je podobné jako množství, které absorbují rostliny během svého života při fotosyntéze.

Biomasa je složité palivo, protože podíl těkavé látky je velmi vysoký a plyny, které vznikají, jsou charakteristické různými spalovacími teplotami. Aby bylo spalování dokonalé, musí být provedeno za přítomnosti vysoké teploty a účinně promíseno se vzduchem. Při produkci tepla nabývá biomasa nejvyšší účinnosti (přes 90 %). Velmi často se biomasa využívá jako zdroj tepelné energie v domácnostech. [25]

### 2.3.4 Energie vody

Voda je podstatnou částí života na zemi. Pokrývá 75 % povrchu naší Země. Tělo každého člověka je tvořené ze 2/3 jen vodou. Z chemického hlediska se voda skládá ze dvou prvků. Chemický vzorec vody je  $H_2O$ . Skládá se ze dvou plynů – 2 atomy vodíku a jeden atom kyslíku.

Energii vody je možno získat:

- Prouděním – pohybová energie (kinetická);
- Využitím jejího tlaku – tlaková energie (potencionální);
- Kombinací uvedených možností. [17]

#### Kinetická energie vody

Jinak řečeno pohybová energie je určena ve vodních tocích rychlostí proudění. Rychlost proudění závisí především na spádu toku. Kinetickou energii je možno využívat prostřednictvím rovnotlakých strojů, které jsou založeny na rotačním principu. Pro optimální využití je třeba, aby obvodová rychlost stroje byla nižší, než je rychlost proudění vody. Při stejné rychlosti proudění a obvodové rychlosti stroje, lopatky stroje pouze ustupují proudu a nepřebírají energii. [17]

#### Potencionální energie

Vznik potencionální energie je zapříčiněn působením gravitace. Voda přitéká vhodným přivaděčem přirozeně z vyšší úrovně hadiny do její nižší úrovně. Následně je vytvořen tlak, který vzniká prostřednictvím rozdílu těchto dvou potenciálů. Vyvinutý tlak je následně využíván na strojích, které se nazývají tlakové (reakční). Mezi takové stroje řadíme různé typy turbín – Kaplanova, Francisova nebo Reiffensteinova. [17]

#### Vodní elektrárny

Výkon, který je odebírán z vodních toků, je závislý především na 2 základních parametrech. Jedná se o **průtočné množství** a **spád vody**. Drtivá většina vodních elektráren využívá přírodní výškové rozdíly pomocí různých technických prostředků.

- **Průtočné vodní elektrárny**

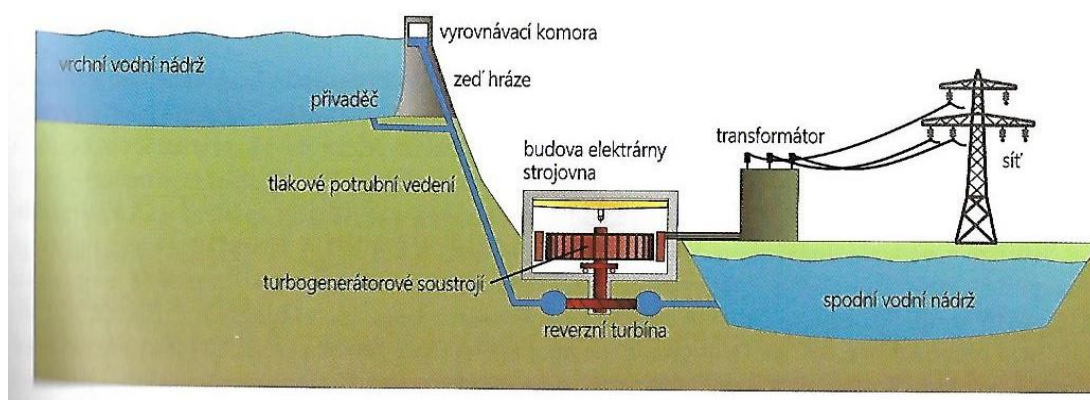
Přírodní toky jsou charakteristické značným soustředěním velkého množství vody. Pokud se na říčním toku nachází místo s větším výškovým rozdílem, lze na takovém místě vybudovat průtočnou (říční) elektrárnu. Vytvořená hráz zadržuje vodu a vytváří vzdutí. Tím se na jezu či přehradě vytváří výškový rozdíl mezi místy toku před elektrárnou a za ní. Pomocí vzdouvacího stupně teče voda na turbínu, která pohání generátor. Česlo na náhonu má funkci zabraňovat proniknutí odpadků a naplavenin k turbíně. Transformátor plní funkci usměrňovače napětí generátoru na požadované napětí v rozvodné síti.

- **Akumulační vodní elektrárny**

Jsou charakterizovány vyššími výkony. Přehradní nádrž zadržuje v zeměpisně výhodně situovaných místech velké množství vody. Tzv. údolní nádrže umožňují instalaci a provoz takových elektráren v horských oblastech. Voda do strojovny je přiváděna pomocí tlakového přivodního potrubí. Vlivem vysokého spádu je vytvářen vysoký přetlak až 20 MPa. Ve strojovně voda pohání turbíny, které pohánějí generátory a produkují elektrický proud. [26]

- **Přečerpávací elektrárny**

Pro vybudování přečerpávací elektrárny jsou zapotřebí geograficky příznivé podmínky. Aby mohli vzniknout, musí být zrealizovány 2 vodní nádrže, jejichž vzájemný spádový rozdíl by měl být co nejvyšší. Pro přečerpávací elektrárnu je důležitý přirozený přítok, skrze který vyúsťuje řeka do horní nádrže. Elektrárny bez přirozeného přítoku vody jsou čistě přečerpávací přehrady. K výrobě elektřiny je zapotřebí přítok vody z horní nádrže přiváděcím tlakovým potrubím voda k turbíně. Turbína odebírá energii z vody a pohání generátor. Následně voda odtéká do spodní nádrže. Transformátor bere energii z generátoru a převádí ji do elektrické sítě. Při přebytku energie přechází elektrárna do reverzního režimu.



Obr. č. 11 – Schéma přečerpávací vodní elektrárny [26]

- **Přlivové elektrárny**

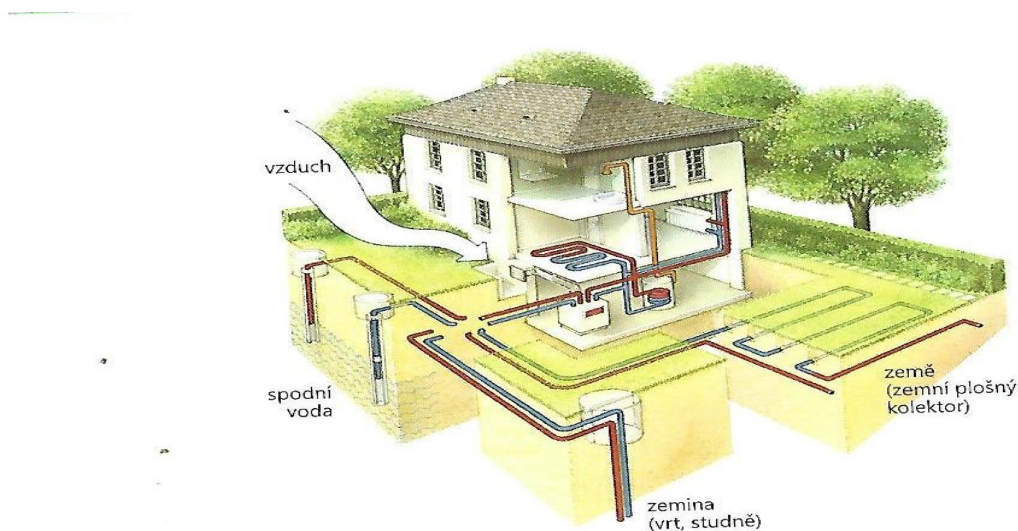
Vlivem působení gravitačních sil Měsíce, Slunce a Země, se střídá příliv a odliv. Příliv, který je vyvolán Měsícem, vzniká na určitém místě na Zemi v časovém horizontu každých 12 hodin. V oblastech, kde je vysoký rozdíl stavu vody při přílivu a odlivu, se mořská zátoka rozčlení na přehradní hrázi. Při přílivu působí voda na turbínu v zátoce a při odlivu rovněž opačným směrem. Turbína, která je spojena s generátorem přeměňuje energii vody na elektrickou energii.

- **Vlnové elektrárny**

Pro budování vodních elektráren s využitím takové energie jsou vhodné oblasti, které jsou zejména mělké pobřežní vody s nízkou hloubkou. [26]

### 2.3.5 Geotermální energie

99 % objemu Země má vyšší teplotu než 1000 °C. Takové vysoké teploty se ale vyskytují pouze v zemském nitru. Za pomoci různých prostředků a technik, je možno teplo ze zemského nitra odebírat. [26]



Obr. č. 12 – Zdroje tepla pro stavební objekty [26]

#### Výskyt geotermální energie a její zdroje

Teplo z vnitra země postupuje k povrchu a permanentně vyzařuje do prostoru. Geotermální zdroje představují tu část geotermální energie tuhé, kapalné nebo plyné, kterou můžeme ekonomicky těžit a využívat při současně dostupných technologiích. Zdrojem takové energie je zůstatkové teplo Země, teplo uvolňující se při radioaktivním rozpadu hornin za pohybu litosférických desek. Z tohoto hlediska je geotermální energie považovaná za netradiční obnovitelný zdroj energie. Zdroje geotermální energie lze možno klasifikovat na základě kritérií vztahujících se na jejich fyzikálně-chemické vlastnosti nebo na geologické procesy, které souvisejí s jejím vznikem. [27]

#### Geotermální energetické systémy

Využívání energetických systémů doprovází také prvky a zařízení, které jsou zapotřebí k provozu a dodávají energie, tam kde jsou potřebné.

##### Rekuperační výměníky tepla

Výměníky tepla jsou strojová zařízení, které jsou zabudované do geotermálních stanic tepla geotermálního energetického systému a probíhá v nich proces předávání tepla podle zákonů termodynamiky z primární (teplejší) teplonosné látky do sekundární (chladnější) látky. Z hlediska duhu teplonosné pracovní látky se pro geotermální systémy využívá rekuperační výměníky typu voda – voda. [27]

Hlavním úkolem rekuperačních výměníků tepla v geotermálním energetickém systému je přizpůsobit parametry na sekundární straně okamžitým potřebám odběratele tepla a odebrat z primární sítě jen takové množství tepla, které je pro daný moment potřeba. Ve výměnících nedochází k vzájemnému střetnutí primární a sekundární teponosné látky. Jsou od sebe odděleny pevnou plochou.

### **Potrubí**

Konstrukční vyhotovení potrubí pro odběrné místa je podobné jako při klasických teplovodních topných soustavách na rozvod a přípravu užitkové vody. V sekundární spotřební síti proudí upravená užitková voda. V technické praxi se potrubí rozvody dimenzují na měrný tlakový spád, který se doporučuje v rozmezí 50 až 100 Pa·m<sup>-1</sup>. [27]

### **Tepelné čerpadlo**

Mechanicky nebo elektricky poháněné čerpadlo dodává teplo. Aby se tak stalo, musí odebrat teplo ze zdroje v okolním prostředí. Obdobně jako vodní čerpadlo, jehož úkolem je přečerpat vodu z nižší hladiny do vyšší, tepelné čerpadlo ta pracuje s teplem. K řádnému provozu tepelného čerpadla je zapotřebí nízkoteplotní zdroj v okolním prostředí. Čím vyšší bude teplotní hladina tepelného zdroje, tím více bude čerpadlo pracovat s větší efektivitou. Pro obytné domy přicházejí v úvahu následující zdroje tepla:

- Spodní voda (voda/voda);
- Země, tepelný výměník v zemi/zemní kolektor (nemrznoucí roztok/voda);
- Země, podzemní vrt (nemrznoucí roztok/voda);
- Okolní ovzduší (vzduch/voda);
- Odpadní vzduch/voda;
- Odpadní voda/voda;
- Hybridní. [28]

Z ekonomického a ekologického hlediska má zásadní důležitost velikost ročního provozního topného faktoru. Nejlepší tepelná čerpadla čerpají teplo ze země. O něco menší hodnoty ročního faktoru vykazují tepelná čerpadla, která využívají jako tepelný zdroj spodní vodu. Je to dáno tím, že k čerpání vody z podzemních zásob je potřeba vyšší výkon tepelného čerpadla než v uzavřeném koloběhu nemrznoucího roztoku v zemi. Kromě toho se ve studničním vrtu podzemní vody musí instalovat lapače, které zachytávají nečistoty a zvyšují výkonovou náročnost tepelného čerpadla. Protože v zimním období je teplota vzduchu nižší než teplota půdy resp. spodní vody, mají čerpadla, které využívají vzduch jako tepelný zdroj, nejnižší účinnost. [26]

Energetickou kvalitu čerpadla můžeme posuzovat prostřednictvím dvou parametrů – COP (topný faktor) a SCOP (sezónní topný faktor):

- **Topný faktor (COP – coefficient of performance)** - je určen pro jeden standartní provozní bod, který je přibližný nejčastějšímu provoznímu stavu.

V normě pro laboratorní zkoušení tepelných čerpadel a chladících zařízení ČSN EN 14511 je uvedená definice topného faktoru jako efektivita tepelného čerpadla. Jedná se o poměr topného výkonu k celkovému elektrickému příkonu čerpadla za předpokladu ustálených provozních podmínek. Není pevně stanoven a může se měnit v závislosti na rozdílných podmínkách, ve kterých čerpadlo pracuje. [29]

*Obecný výpočet COP:*

$$COP = \frac{\phi}{P_c + P_{aux}} \quad (2)$$

kde:  $\phi$  je tepelný výkon tepelného čerpadla [kW],  
 $P_c$  je elektrický příkon kompresoru [kW],  
 $P_{aux}$  je elektrický příkon potřebný pro překonání tlakové ztráty výparníku a kondenzátoru, odtávání výparníku a vlastní regulaci tepelného čerpadla [kW]. [29]

Při laboratorním zkoušení z hlediska časového úseku je zapotřebí uskutečnit několik cyklů odtávání výparníku tepelného čerpadla. Do celkového elektrického příkonu započítáváme následující veličiny:

- příkon kompresoru,
  - náročnost odtávání,
  - potřebu elektrické energie regulačních a zabezpečovacích prvků,
  - elektrický příkon nutný pro překonání tlakových ztrát výměníku tepelného čerpadla při požadovaném průtoku teplotnosných látek. [29]
- **Sezónní topný faktor (SCOP – seasonal coefficient of performance)** – integrovaný parametr vyjadřující energetickou náročnost čerpadla během sezóny.

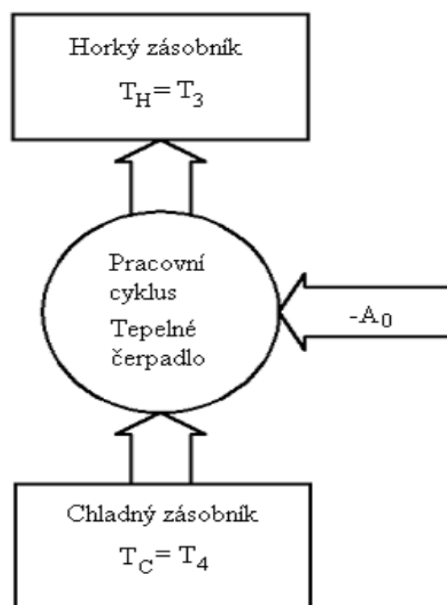
Počítá se na konkrétní návrhovou tepelnou ztrátu budovy. Stanovuje se laboratorním měřením. Pro danou kombinaci provozních podmínek nevyjadřuje dostatečnou provozní efektivitu tepelného čerpadla, které bude provozováno po celý rok v měnících se teplotních podmínkách jak na straně výparníku, tak na straně kondenzátoru. Výpočet vychází z celoroční bilance produkce tepla a uvažovaného tepelného čerpadla a krytím potřeby tepla budovy, které je definované návrhovou tepelnou ztrátou v otopné sezóně. [29]

Tab. č. 4 – Výhody a nevýhody jednotlivých typů čerpadel [28]

|                                            |                                                                                                                                           |
|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Vzduch/voda</b>                         |                                                                                                                                           |
| Výhody                                     | nejlevnější, možnost změny umístění                                                                                                       |
| Nevýhody                                   | zimní provoz (horší COP), velký rozdíl výkonu v zimě a v létě, konstrukčně složitější zařízení, nutno řešit odtávání námrazy na výparníku |
| <b>Země/voda s horizontálním výměníkem</b> |                                                                                                                                           |
| Výhody                                     | téměř stálé podmínky (dobré COP), levnější než provedení vrtem                                                                            |
| Nevýhody                                   | potřeba větší plochy pro instalaci horizontálního výměníku, kolísá teplota                                                                |
| <b>Země/voda se svislým zemním vrtem</b>   |                                                                                                                                           |
| Výhody                                     | stálé podmínky (dobré COP), možnost pasivního chlazení                                                                                    |
| Nevýhody                                   | větší investiční náklady na tepelné čerpadlo a vrt                                                                                        |
| <b>Voda/voda</b>                           |                                                                                                                                           |
| Výhody                                     | stálé podmínky (dobré COP)                                                                                                                |
| Nevýhody                                   | výskyt vhodných zdrojů                                                                                                                    |
| <b>Odpadní vzduch/voda</b>                 |                                                                                                                                           |
| Výhody                                     | stálé pracovní podmínky (při vysoké teplotě odpadního vzduchu je vysoké COP)                                                              |
| Nevýhody                                   | dostupnost vhodného odpadního vzduchu v blízkosti místa potřeby                                                                           |
| <b>Odpadní voda/voda</b>                   |                                                                                                                                           |
| Výhody                                     | stálé pracovní podmínky (při vysoké teplotě odpadního vzduchu je vysoké COP)                                                              |
| Nevýhody                                   | dostupnost vhodného odpadního vzduchu v blízkosti místa potřeby                                                                           |

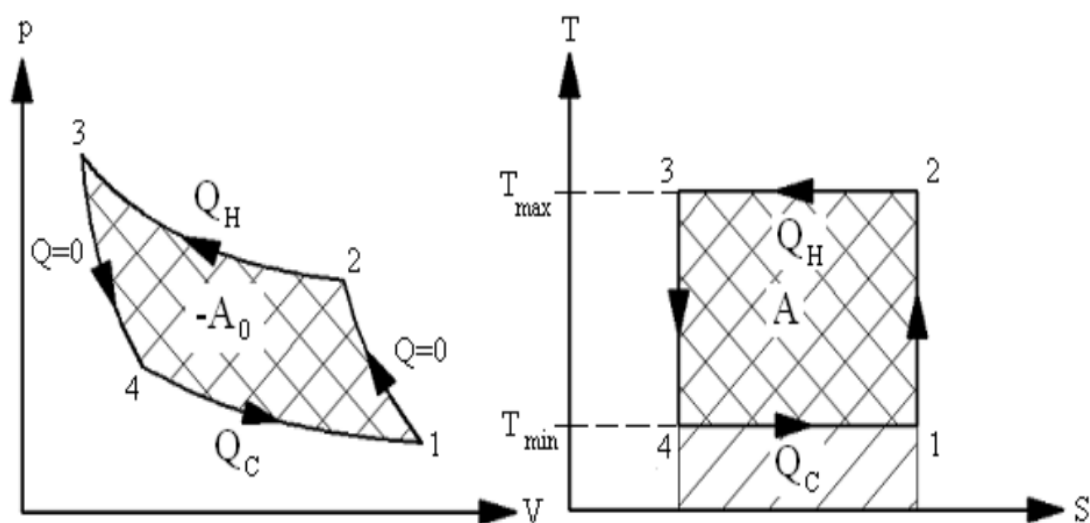
- **Princip tepelného čerpadla (obrácený Carnotův cyklus)**

Obrácený Carnotův cyklus se využívá při zjišťování hospodárnosti chladících nebo tepelných čerpadel. Tento jev vždy ohraničuje práci. V případě, že cyklus pracuje ve směru hodinových ručiček, vytváří se práce. V opačném případě oblast ohraničená křivkami proti směru hodinových ručiček je práce, kterou naopak musíme systému dodat. Tepelné čerpadlo odebírá energii v oblasti s nízkou teplotní hladinou a následně ji předává do oblasti s vysokou teplotní hladinou. [30]



Obr. č. 13 – Pracovní cyklus tepelného čerpadla [26]

Teoreticky je obrácený Carnotův cyklus ideálním dějem, který se využívá pro zjišťování hospodárnosti tepelných čerpadel a chladících zařízení. Graficky jej lze vyjádřit ve 2 diagramech:



Obr. č. 14 – T-S a p-V diagramy zobrazující obrácený Carnotův děj [30]

- p-V diagram, kde p je tlak [Pa] a V je objem [m<sup>3</sup>]
- T-S diagram, kde T je teplota [K] a S je entropie [J·K<sup>-1</sup>]

Obrácený Carnotův cyklus se skládá ze 4 dějů:

1. Mezi body 1 a 2 nastává adiabatická komprese – dochází ke zmenšování objemu plynu a narůstá jeho teplota a tlak. Chladivo se v plyném stavu zmenšuje.
2. Mezi body 2 a 3 nastává izotermická komprese – za konstantní teploty dochází ke snižování objemu plynu a narůstá tlak. Chladivo je zkapalněno a předává skupenské teplo do okolí.

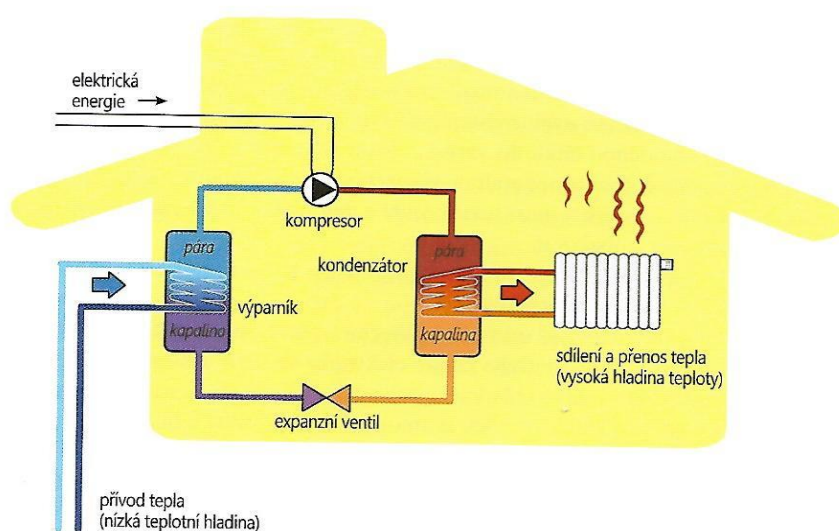
3. Mezi body 3 a 4 nastává adiabatická expanze – snižuje se teplota a tlak a narůstá objem.
4. Mezi body 4 a 1 nastává izotermická expanze – za konstantní teploty se zvyšuje objem a snižuje se tlak. Když se tlak sníží na určitou hodnotu, kapalina se začíná vypařovat. Pro tuto skupenskou přeměnu potřebujeme dodávat teplo.

Všechna tepelná čerpadla vyžadují chladivo, které cirkuluje u uzavřeném okruhu. Na jedné straně čerpadlo odebírá tepelnou energii z vnějšího prostředí předmětům, jejichž teplotní hladina je nižší. Následně tuto energii využívá při ohřevu jiné látky s vyšší hladinou teploty. Podle principu rozlišujeme tepelná čerpadla:

- Kompresorová;
- Absorpční;
- Adsorbční. [26]

### Kompresorové tepelné čerpadlo

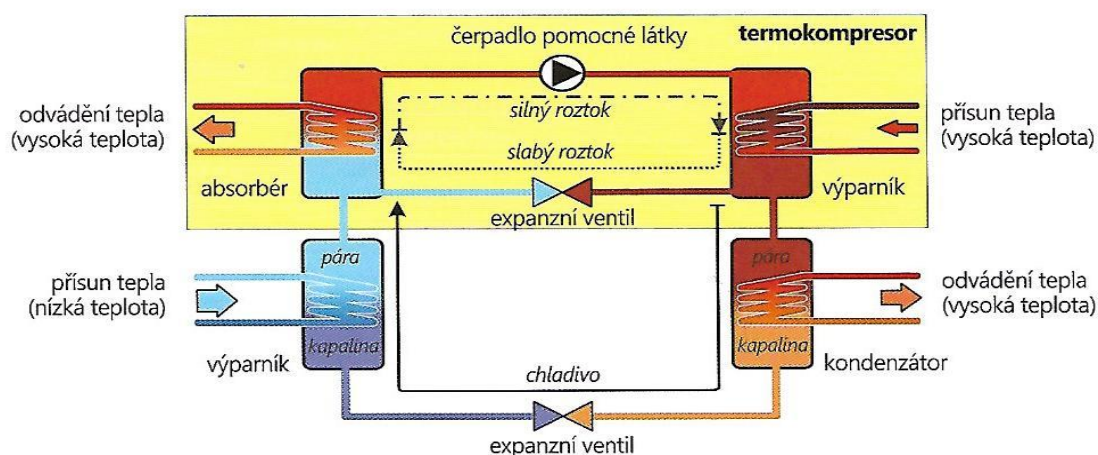
Nejrozšířenější typ tepelných čerpadel je kompresorové tepelné čerpadlo. Princip fungování spočívá v tom, že chladivo s nízkým bodem varu se při nízké teplotě odpařuje a pod vysokým tlakem se komprimuje. Teplo přiváděné z nízkopotencionálního zdroje postačí k tomu, aby se chladivo odpařovalo. Kompresor, který je poháněný ve většině případů elektromotorem, stlačuje odpařené chladivo v plynném skupenství na vysoký provozní tlak. V důsledku takových procesů se silně ohřívá. Teplo zahřátého chladiva je následně využíváno na vytápění místnosti nebo ohřev užitkové vody. Sdílení tepla je uskutečňováno v kondenzátoru, kde se chladivo zkapalňuje. Za pomoci expanzního ventilu expanzního ventilu je chladivo pod tlakem opět uvolňováno. Proces pokračuje opět ochlazením a navrácením se do výparníku. [26]



Obr. č. 15 – Schéma principu kompresorového tepelného čerpadla [16]

## Absorpční tepelná čerpadla

Obdobně jako kompresorová čerpadla, tak i absorpční čerpadla využívají tepla z nízkopotencionálního zdroje k odpaření chladiva. Elektricky poháněný kompresor je u tohoto typu nahrazen termokompresorem. Funkcí termokompresoru je stlačit chladivo a využít odpařeného tepla. Takový proces probíhá při chemickém technologickém postupu – sorpci. Sorpcí se uvolněné teplo dá využít pro vytápění. Přiváděné teplo je o dost menší než odváděné užitečné teplo. Největší výhodou absorpčního čerpadla je podstatně menší spotřeba elektrické energie. Tyto typy lze využít jen pro větší výkony. [26]



Obr. č. 16 – Princip fungování absorpčního tepelného čerpadla [26]

## Adsorpční tepelná čerpadla

Rovněž jako u absorpčních čerpadel využívají pohodu elektrické energie. Adsorpcí je míněno pohlcování a ukládání plynu nebo páry v pevné látce (aktivní uhlí, silikagel nebo zeolit). Při adsorpci vznikají vysoké teploty, které jsou využitelné tepelným čerpadlem. Adsorpční tepelná čerpadla se stále nacházejí ve fázi výzkumu a vývoje. [26]

## Geotermální teplárny a elektrárny

- Geotermální teplárny

V případě, že jsou k dispozici hloubkové vrtly v oblasti s ložiskem termální vody, lze zajistit snadnou dodávku tepla. Geotermální teplárna využívá dopravní čerpadlo, které z hloubkového vrtu dovádí horkou termální vodu k povrchu. Termální voda obsahuje velké množství minerálních solí i přítomnost určitých přírodních radioaktivních příměsí, a proto sama není přímo teplonosným médiem. Tepelný výměník odebírá vodě její vnitřní tepelnou energii a posílá ji do sítě dálkového vytápění. Vrt pro zpětnou injektáž technologické vody zaručuje dodávku ohlazené termální vody nazpět do země.

- **Geotermální elektrárny**

Jedná se o složitější proces. Geotermální zdroje zajišťující výrobu elektrického proudu jsou složitější než při zajišťování tepla. Energetika se musí vyrovnat s docela nízkou teplotou geotermálního média, čímž je způsobeno vyžadování nové koncepce výroby elektrické energie:

- Přímé využití páry;
- Elektrárny „flash“;
- Elektrárny ORC;
- Kalinův proces.

Na výhodných geotermálních lokalitách, kde je možné využít páry o teplotě 200 – 300 °C, lze využít normální elektrárny s parními turbínami. Pokud je k dispozici teplo z nitra Země, je možné takovou parou přímo pohánět turbíny. Jestliže je termální voda pod tlakem, horká tlaková voda se může v expanzním stupni odpařit. Tato technika se nazývá Flash Proces. Při teplotách okolo 100 °C nebo i méně už geotermální energie na odpaření vody nestačí. V takovém případě se využívá principu tzv. ORC (Organic Rankine Cycle) elektrárny. Centrem takové elektrárny je parní turbína, ovšem místo vody je poháněna organickým médiem. Tepelný výměník posílá teplo, které bylo získáno z geotermálního oběhu, organickému pracovnímu médiu. Pracovní médium je odpařováno pod vysokým tlakem pouze při teplotách nižších než 100 °C. Pára pracovního média pohání turbínu a následně expanduje. V kondenzátoru se sráží a zpětně je navracena jako kapalné médium do oběhu. Teplo, které zbude, je odváděno do chladicí věže. Napájecí čerpadlo znovu dodává oběhu pracovního média tlak a tepelný výměník uzavírá celý tento oběh. [26]

- **Geotermální HDR elektrárny**

Vrty, které jsou hluboké až 5000 metrů, jsou téměř vždy určeny na geotermální výrobu elektrické energie. V takových hloubkách jsou udržovány teploty v řádu 200 °C. Kvůli tomu se při jejich využití dosahuje přijatelné spotřeby. Ložiska termálních vod se při hloubce 5000 metrů pod povrchem nedají odkrýt. Nacházejí se zde horké suché horniny – HOT DRY ROCKS (HDR). Abychom byli schopni odjímat teplo horninám, je zapotřebí vytvořit umělé podzemní dutiny. K jejich vytvoření se musí vhnět do vrtů pod tlakem voda. Vlivem tepla voda expanduje a vytváří nové trhliny a rozšiřuje stávající spáry. Tímto způsobem vzniká systém podzemních puklin, které mohou odkrýt a zpřístupnit velký objem krychlových kilometrů. Tyto aktivity lze sledovat pomocí ultrazvukových sond. [26]

### 3 FORMULACE PROBLÉMŮ A STANOVENÍ CÍLŮ ŘEŠENÍ

V moderní domácnosti je moderní platit za energii co nejméně. Ne vždy je pro zvolený objekt navržen vhodný zdroj energie pro vytápění, který by byl nejúspornější. Velkou roli v tomto případě hrají tepelné ztráty. Vhodný návrh zdroje energie by měl vycházet z vypočítaných ztrát stávajícího objektu. Jedna z možností využití alternativního zdroj energie je tepelné čerpadlo, jehož správná investice se projeví až po několika letech tím, že se jeho investice majiteli vrátí. Vhodný návrh tepelného čerpadla závisí především na tepelných ztrátách, pro jejichž výpočet je zapotřebí znát všechny dílčí součinitele prostupu tepla všech konstrukcí v domě. V případě, že máme k dispozici návrh tepelného čerpadla a známe jeho potřebu energie např. za rok, můžeme si s ohledem na ceny energií dopočítat, kdy se nám investice navrátí.

Na vybraném rodinném domě je jako zdroj energie pro vytápění a ohřev užitkové vody plynový kotel. Jedná se o dřevostavbu, která je velmi dobře zateplena. Pro současný stav rodinného domu bude navrženo tepelné čerpadlo, které bude záviset na vypočítaných tepelných ztrátách dřevostavby.

Cílem praktické části bude zhodnotit a zanalyzovat investici tepelného čerpadla a jeho návratnost v porovnání se stávajícím provozem plynového kotle. Tepelné čerpadlo jistě sníží potřebu energie na vytápění rodinného domu. Protože jeho provoz vyžaduje elektrickou energii, je na místě analýza vývoje cen elektrické energie i energie zemního plynu, který je dodáván do objektu na vytápění i ohřev užitkové vody. Oba zdroje energie mají rozdílnou cenu za 1kWh. Plyn je podstatně levnější než elektřina. Jelikož cena za energii, ať už plynu nebo elektřiny, může být v průběhu času rozdílná, budou analyzovány průběhy vývoje cen obou energií. Z provedených analýz budou navrženy další možné vývoje cen, které mohou nastat v závislosti na vývoji cen za posledních 10 let. Z navržených vývojů cen v budoucnu budou vypočítány různé kombinace, které zohlední všechny možné varianty vývojů zemního plynu i elektřiny. Z takových kombinací potom bude zřejmé, kdy se navrátí investice, která byla vynaložena na realizaci a provoz tepelného čerpadla. Různé kombinace znamenají různé doby návratnosti. Výsledkem bude nalezení varianty, která předpokládá nejkratší dobu návratnosti a varianty, která předpokládá nejdelší dobu návratnosti. Vypočítané doby návratnosti investice povedou k diskuzi, zda je tepelné čerpadlo vhodným zdrojem, který by měl nahradit současný stav, který využívá pro zdroj energie plynový kotel.

## 4 POPIS VÝPOČTŮ A PRŮBĚHU PRAKTICKÉ ČÁSTI

K dosažení stanovených cílů je zapotřebí ze všeho nejdříve vypočítat součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí rodinného domu. Výpočet součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí byl proveden v programu Teplo 2017 EDU, který umožňuje výpočet součinitele prostupu tepla, teplotního faktoru a rizika kondenzace vodní páry ve skladbě konstrukce podle EN ISO 6946, EN ISO 13788, ČSN 730540 a STN 730540. Pro výpočet byly uvažovány okrajové podmínky, které odpovídají podmínkám v okrese Kroměříž. Na dílčí výpočty tepelné vodivosti různých vrstev o více materiálech bylo využito vzorce pro  $\lambda_{\text{eff}}$ . Z dílčích vypočtených výsledků součinitelů prostupu tepla se následně vypočítá celkový součinitel prostupu tepla obálky domu.

**Pro výpočet jsou zapotřebí následující veličiny:**

|           |                                              |                                        |
|-----------|----------------------------------------------|----------------------------------------|
| $D$       | je tloušťka vrstvy                           | [m]                                    |
| $\lambda$ | je návrhová hodnota tepelné vodivosti vrstvy | [W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ]  |
| $c$       | je měrná tepelná kapacita                    | [J·kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ] |
| $OH$      | je objemová hmotnost materiálu               | [kg·m <sup>-3</sup> ]                  |
| $M_i$     | je faktor difuzního odporu vrstvy            | [-]                                    |
| $M_a$     | je počáteční zabudovaná vlhkost ve vrstvě    | [kg·m <sup>-2</sup> ]                  |

**Okrajové podmínky výpočtu pro všechny řešené skladby konstrukcí:**

|                                                       |                                        |
|-------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru $R_{si}$ | 0,17 m <sup>2</sup> ·K·W <sup>-1</sup> |
| dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty $R_{si}$   | 0,25 m <sup>2</sup> ·K·W <sup>-1</sup> |
| Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru $R_{se}$ | 0,04 m <sup>2</sup> ·K·W <sup>-1</sup> |
| dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty $R_{se}$   | 0,04 m <sup>2</sup> ·K·W <sup>-1</sup> |
| Návrhová venkovní teplota $T_e$                       | - 15 °C                                |
| Návrhová teplota vnitřního vzduchu $T_{ai}$           | 20 °C                                  |
| Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu $RH_e$  | 84 %                                   |
| Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu $RH_i$   | 55 %                                   |

V případě, že známe součinitele prostupu tepla obálky budovy rodinného domu, dalším krokem je vypočítání tepelných ztrát objektu. Výpočet tepelných ztrát byl proveden podle normy ČSN EN 12831 – Tepelné soustavy v budovách – Výpočet tepelného výkonu. Rodinný dům byl uvažován jako jedna zóna s vnitřní návrhovou teplotou 20 °C. Nutno brát v úvahu nejen tepelné ztráty prostupem konstrukcí, ale i tepelné ztráty větráním, které je v posuzovaném rodinném domě přirozené.

Následující krok spočívá v návrhu vhodného tepelného čerpadla, které bylo navrženo podle vypočítaných tepelných ztrát. Výpočet bude proveden v programu HPC od firmy Thermia. Návrhem tepelného čerpadla se stanoví úspora tepelné energie, která má rozhodující vliv na návratnost investice. V návaznosti na návrh tepelného čerpadla se vypočítá kalkulace realizace tepelného čerpadla (počáteční investice). Ta byla provedena pomocí katalogu výrobce uvedeného ve zdrojích práce.

Po doposud uvedených krocích je zapotřebí analyzovat vývoje cen energií (plynu a elektřiny), které hrají významnou roli při počítání návratnosti investice do tepelného čerpadla. Nejsou pevné a mění se v závislosti na mnoha faktorech. Za pomocí grafů měsíčních vývojů cen za posledních 10 let budou analyzovány možné budoucí průběhy cen za tyto energie. Jelikož nelze s přesností tvrdit, kolik bude stát např. elektrická energie za 2 roky, bude výsledkem analýzy více možných budoucích průběhů, které budou odvozeny z vývoje cen za posledních 10 let. Z odvozených průběhů budou následně vypočítány různé kombinace, které nastíní, jak dlouho může návratnost investice trvat.

Posledním krokem je vypočítání návratnosti investic, pro kterou budou využity následující vzorce:

$$N_{T\check{C},R} = C \cdot \frac{Q_{C,R}}{COP} \cdot \eta + C \cdot Q_{C,R} \cdot (1 - \eta) \quad (3)$$

kde:  $N_{T\check{C},R}$  jsou náklady za provoz tepelného čerpadla za rok  
 $Q_{C,R}$  je celková energie na provoz tepelného čerpadla za rok  
 $COP$  je průměrný roční topný faktor  
 $C$  je cena za 1 kWh elektrické energie  
 $\eta$  je účinnost tepelného čerpadla

Výpočet nákladů na vytápění plynovým kotlem za rok:

Pro výpočet uvažujeme potřebu tepelné elektrické energie 14 990 kWh/rok. Cena opět závisí na jednotlivých trendech.

$$N_{PK,R} = C_P \cdot Q_{PK} \quad (4)$$

kde:  $N_{PK,R}$  jsou náklady vynaložené na provoz plynového kotle za rok  
 $Q_{PK}$  je celková energie na provoz plynového kotle  
 $C_P$  je cena za 1 kWh plynu

Výpočet roční úspory:

$$N_{UR} = N_{PK,R} - N_{T\check{C},R} \quad (5)$$

kde:  $N_{UR}$  je roční úspora

## 5 DOSAŽENÉ VÝSLEDKY

### 5.1 VÝPOČET SOUČiniteLE PROSTUPU TEPLA:

#### 5.1.1 Součinitel prostupu tepla podlahy

Tab. č. 5 – Konstrukční uspořádání skladby podlahy rodinného domu [vlastní zdroj]

| Skladba konstrukce (od interiéru) |                         |            |                                                    |                                               |                                 |              |                                |
|-----------------------------------|-------------------------|------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------|--------------|--------------------------------|
| Číslo                             | Název                   | $D$<br>[m] | $\lambda$<br>[W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ] | $c$<br>[J·kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ] | $\rho$<br>[kg·m <sup>-3</sup> ] | $M_i$<br>[-] | $M_a$<br>[kg·m <sup>-2</sup> ] |
| 1                                 | Betonová mazanina       | 0,0500     | 1,360                                              | 1 020                                         | 2 100                           | 17           | 0                              |
| 2                                 | PE fólie                | 0,0001     | 0,350                                              | 1 470                                         | 900                             | 144 000      | 0                              |
| 3                                 | Rigips EPS 100 S Stabil | 0,1600     | 0,040                                              | 1 270                                         | 20                              | 30           | 0                              |
| 4                                 | HI A 330 H              | 0,0050     | 0,210                                              | 1 470                                         | 1 200                           | 17 000       | 0                              |
| 5                                 | ŽB základová deska      | 0,1500     | 1,740                                              | 1 020                                         | 2 400                           | 23           | 0                              |
| 6                                 | Štěrk                   | 0,1900     | 0,930                                              | 800                                           | 1 650                           | 15           | 0                              |

Podrobný výpočet obsahuje příloha č. 3

Typ hodnocené konstrukce

Podlaha v zemině

Korekce součinitele prostupu  $dU$

0,000 W·m<sup>-2</sup>·K<sup>-1</sup>

Tepelný součinitel prostupu tepla a tepelný odpor podle EN ISO 6946:

Součinitel prostupu tepla podlahy  $U_p$

0,220 W·m<sup>-2</sup>·K<sup>-1</sup>

Tepelný odpor podlahy  $R_p$

4,330 m<sup>2</sup>·K·W<sup>-1</sup>

Teplo v typickém místě konstrukce v ustálených návrhových podmínkách



Graf č. 1 – Teplotní závislost na jednotlivých skladbách konstrukce podlahy a jejich tloušťkách [program teplo 2017]

## 5.1.2 Součinitele prostupu tepla obvodové stěny

Tab. č. 6 – Konstrukční uspořádání skladby obvodové stěny rodinného domu [vlastní zdroj]

| Skladba konstrukce (od interiéru) |                                                     |            |                                                    |                                               |                                 |              |                                |
|-----------------------------------|-----------------------------------------------------|------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------|--------------|--------------------------------|
| Číslo                             | Název                                               | $D$<br>[m] | $\lambda$<br>[W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ] | $c$<br>[J·kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ] | $\rho$<br>[kg·m <sup>-3</sup> ] | $M_i$<br>[-] | $M_a$<br>[kg·m <sup>-2</sup> ] |
| 1                                 | Rigistabil                                          | 0,0125     | 0,142                                              | 960                                           | 840                             | 12           | 0                              |
| 2                                 | Dřevěný rošt 60x40 +<br>vzduchová vrstva            | 0,0400     | 0,306                                              | 2 510                                         | 400                             | 157          | 0                              |
| 3                                 | PE fólie;                                           | 0,0001     | 0,350                                              | 1 470                                         | 900                             | 144 000      | 0                              |
| 4                                 | Rámová konstrukce<br>KVH 60x140 +<br>minerální vlna | 0,1400     | 0,055                                              | 2 510                                         | 400                             | 157          | 0                              |
| 5                                 | Rigidur                                             | 0,0125     | 0,202                                              | 1 020                                         | 1 100                           | 40           | 0                              |
| 6                                 | Rigips EPS 70 F Fasádní                             | 0,1900     | 0,039                                              | 1 270                                         | 1 270                           | 20           | 0                              |
| 7                                 | Tenkovrstvá fasádní<br>omítka                       | 0,0100     | 0,120                                              | 850                                           | 630                             | 151          | 0                              |

Podrobný výpočet obsahuje příloha č. 4

**Typ hodnocené konstrukce**

Korekce součinitele prostupu  $dU$

**Stěna vnější jednoplašťová**

0,000 W·m<sup>-2</sup>·K<sup>-1</sup>

**Tepelný součinitel prostupu tepla a tepelný odpor podle EN ISO 6946:**

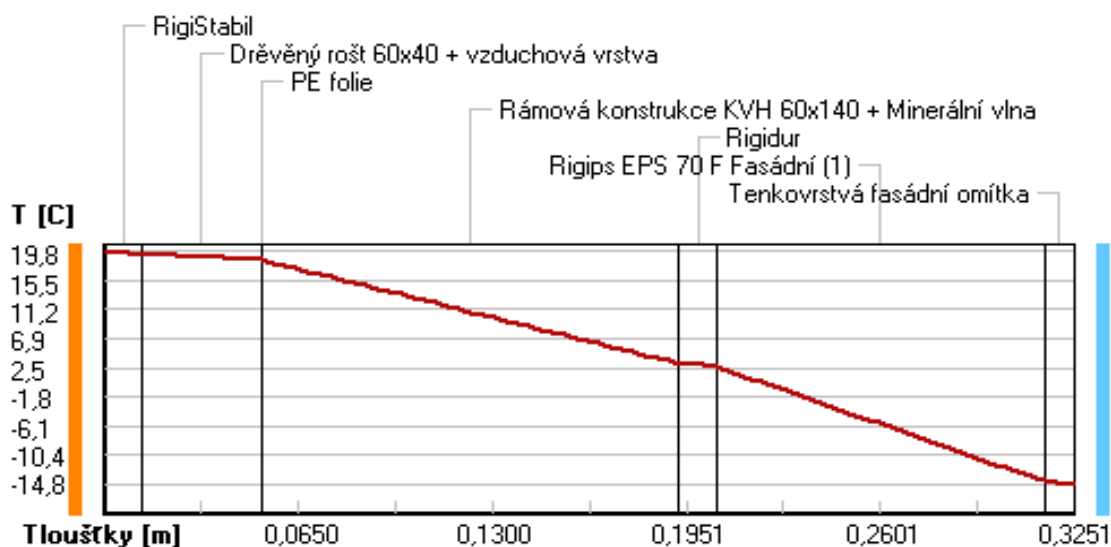
Součinitel prostupu tepla obvodové stěny  $U_{os}$

0,169 W·m<sup>-2</sup>·K<sup>-1</sup>

Tepelný odpor obvodové stěny  $R_{os}$

5,730 m<sup>2</sup>·K·W<sup>-1</sup>

### Teplo v typickém místě konstrukce v ustálených návrhových podmínkách



Graf č. 2 – Teplotní závislost na skladbách konstrukce obvodové stěny a jejich tloušťkách [program teplo 2017]

### 5.1.3 Součinitel prostupu tepla stropu

Tab. č. 7 – Konstrukční uspořádání skladby stropu rodinného domu [vlastní zdroj]

| Skladba konstrukce (od interiéru) |                                          |            |                                                    |                                               |                                   |              |                                |
|-----------------------------------|------------------------------------------|------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------|--------------|--------------------------------|
| Číslo                             | Název                                    | $D$<br>[m] | $\lambda$<br>[W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ] | $c$<br>[J·kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ] | $\rho_H$<br>[kg·m <sup>-3</sup> ] | $M_i$<br>[-] | $M_a$<br>[kg·m <sup>-2</sup> ] |
| 1                                 | Sádrokarton                              | 0,0125     | 0,220                                              | 1 060                                         | 750                               | 9            | 0                              |
| 2                                 | PE fólie                                 | 0,0001     | 0,350                                              | 1 470                                         | 900                               | 144 000      | 0                              |
| 3                                 | Minerální vlna +<br>kovový rošt          | 0,0600     | 1,230                                              | 870                                           | 7 850                             | 1 000 000    | 0                              |
| 4                                 | Minerální vlna +<br>konstrukce vazníků   | 0,2400     | 0,044                                              | 900                                           | 1 200                             | 1,5          | 0                              |
| 5                                 | Dřevěný rošt 18x40<br>+ vzduchová mezera | 0,0180     | 0,306                                              | 251                                           | 2 400                             | 23           | 0                              |
| 6                                 | OSB desky                                | 0,0400     | 0,130                                              | 1 700                                         | 1 650                             | 15           | 0                              |

Podobný výpočet obsahuje příloha č. 5

Typ hodnocené konstrukce

Korekce součinitele prostupu  $dU$

Strop pod nevytápěným prostorem

0,000 W·m<sup>-2</sup>·K<sup>-1</sup>

Tepelný součinitel prostupu tepla a tepelný odpor podle EN ISO 6946:

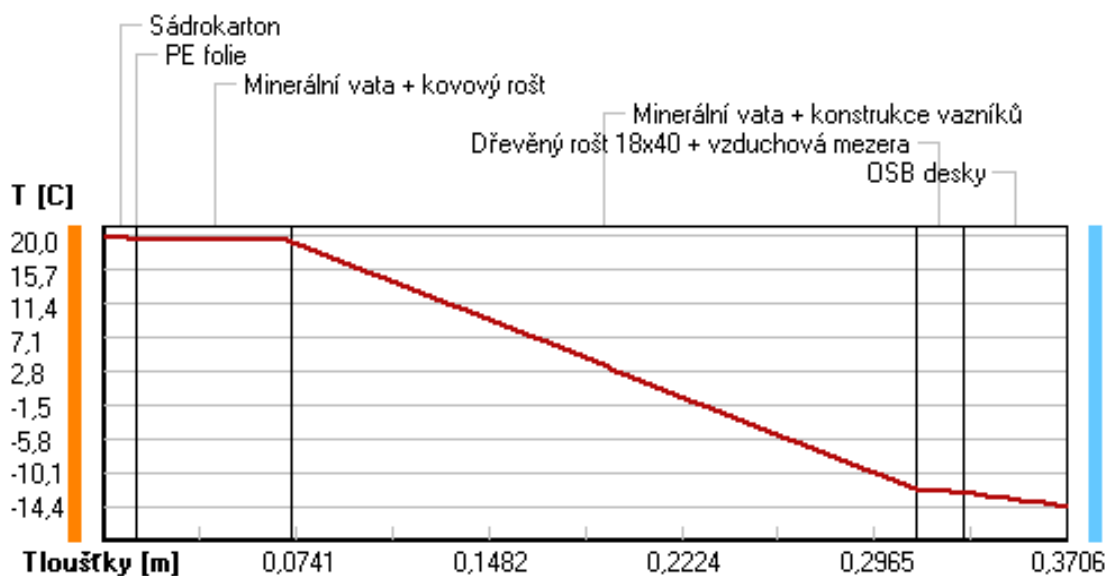
Součinitel prostupu tepla stropu  $U_s$

0,163 W·m<sup>-2</sup>·K<sup>-1</sup>

Tepelný odpor stropu  $R_s$

5,927 m<sup>2</sup>·K·W<sup>-1</sup>

#### Teploty v typickém místě konstrukce v ustálených návrhových podmínkách



Graf č. 3 – Teplotní závislost na jednotlivých skladbách konstrukce stropu a jejich tloušťkách [program teplo 2017]

### 5.1.4 celkový součinitel prostupu tepla rodinného domu

Tab. č. 8 – Základní údaje pro výpočet celkového součinitele prostupu tepla [vlastní zdroj]

| Konstrukce obálky budovy: | U<br>[W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ] | A<br>[m <sup>2</sup> ] | Činitel tepelné redukce b <sub>j</sub> [-] |
|---------------------------|--------------------------------------------|------------------------|--------------------------------------------|
| Obvodová stěna            | 0,169                                      | 134,10                 | 1,00                                       |
| Podlaha                   | 0,222                                      | 131,42                 | 0,74                                       |
| Dveře vchodové            | 1,300                                      | 2,37                   | 1,00                                       |
| Otvorová výplň ostatní    | 1,100                                      | 2,20                   | 1,00                                       |
| Půdní schody              | 1,100                                      | 0,90                   | 1,00                                       |
| Strop                     | 0,163                                      | 130,52                 | 1,00                                       |
| Okno A                    | 0,930                                      | 4,16                   | 1,00                                       |
| Okno B                    | 0,970                                      | 2,73                   | 1,00                                       |
| Okno C                    | 0,890                                      | 1,43                   | 1,00                                       |
| Okno D                    | 0,890                                      | 3,52                   | 1,00                                       |
| Okno E                    | 0,890                                      | 3,52                   | 1,00                                       |
| Okno F                    | 0,870                                      | 7,92                   | 1,00                                       |

Celková plocha obálky budovy je **424,89 m<sup>2</sup>** a objem vytápěné zóny činní **335,12 m<sup>3</sup>**.

Obecný vzorec pro výpočet celkového prostupu tepla obálky budovy  $U_{em}$

$$U_{em} = \frac{\sum A_i + U_i + b_i}{A} \quad (3)$$

$$U_{em} = \frac{134,1 \cdot 0,169 \cdot 1 + 131,42 \cdot 0,222 \cdot 0,74 + 2,37 \cdot 1,3 \cdot 1 + 2,2 \cdot 1,1 \cdot 1}{424,89} +$$

$$\frac{0,9 \cdot 1,1 \cdot 1 + 130,52 \cdot 0,163 \cdot 1 + 4,16 \cdot 0,93 \cdot 1 + 2,73 \cdot 0,97 \cdot 1}{424,89} +$$

$$\frac{1,43 \cdot 0,97 \cdot 1 + 3,52 \cdot 0,89 \cdot 1 + 3,52 \cdot 0,89 \cdot 1 + 7,92 \cdot 0,87 \cdot 1}{424,89}$$

$$U_{em} = 0,22 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

Celkový součinitel prostupu tepla dřevostavby rodinného domu byl výpočty stanoven na hodnotu **0,22 W·m<sup>-2</sup>·K<sup>-1</sup>**.

## 5.2 VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT A ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI RODINNÉHO DOMU

### 5.2.1 Tepelné ztráty prostupem

Tab. č. 9 – Základní údaje pro výpočet [vlastní zdroj]

| Parametr                             | Množství | Jednotka       |
|--------------------------------------|----------|----------------|
| Návrhová teplota interiéru $T_i$     | 20       | °C             |
| Návrhová teplota exteriéru $T_e$     | - 15     | °C             |
| Obvod budovy $O_b$                   | 52,72    | m              |
| Zastavěná plocha $A_z$               | 148,55   | m <sup>2</sup> |
| Součinitel redukce teploty $b_u$     | 0,74     | -              |
| Charakteristické číslo budovy $B'$   | 5,63     | -              |
| Teplota v nevytápěném prostoru $T_u$ | - 6      | °C             |

$$b_u = \frac{T_i - T_u}{T_i - T_e} = \frac{20 - (-6)}{20 - (-15)} = 0,74 \quad (6)$$

$$B' = \frac{A_z}{0,5 \cdot O_b} = \frac{148,55}{0,5 \cdot 52,72} = 5,63 \quad (7)$$

Tab. č. 10 – Výpočet tepelných ztrát do vnějšího prostředí [vlastní zdroj]

| Konstrukce       | $A_k$<br>[m <sup>2</sup> ] | $U$<br>[W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ] | $\Delta U$<br>[W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ] | $U_{kc}$<br>[W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ] | $e_k$<br>[-] | $H_{Tie}$<br>[W·K <sup>-1</sup> ] |
|------------------|----------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------|-----------------------------------|
| Stěna            | 134,2                      | 0,169                                        | 0,02                                                | 0,189                                             | 1,00         | 23,363                            |
| Okno A           | 4,16                       | 0,930                                        | 0,00                                                | 0,930                                             | 1,00         | 3,868                             |
| Okno B           | 2,73                       | 0,970                                        | 0,00                                                | 0,970                                             | 1,00         | 2,648                             |
| Okno C           | 1,43                       | 0,890                                        | 0,00                                                | 0,890                                             | 1,00         | 1,272                             |
| Okno D           | 3,52                       | 0,890                                        | 0,00                                                | 0,890                                             | 1,00         | 3,132                             |
| Okno E           | 3,52                       | 0,890                                        | 0,00                                                | 0,890                                             | 1,00         | 3,449                             |
| Okno F           | 7,92                       | 0,870                                        | 0,00                                                | 0,870                                             | 1,00         | 6,890                             |
| Dveře            | 2,37                       | 1,300                                        | 0,00                                                | 1,300                                             | 1,00         | 3,081                             |
| $\Sigma H_{Tie}$ |                            |                                              |                                                     |                                                   |              | 49,707                            |

kde:  $A_k$  je celková plocha konstrukce  
 $U$  je součinitel prostupu tepla dané konstrukce  
 $\Delta U$  je celkový průměrný vliv tepelných vazeb mezi konstrukcemi  
 $U_{kc}$  je součet  $U + \Delta U$   
 $e_k$  je korekční činitel zahrnující exponování a klimatické podmínky  
 $H_{Tie}$  jsou tepelné ztráty do vnějšího prostředí [ $H_{Tie} = A_k \cdot U_{kc} \cdot e_k$ ]

Tab. č. 11 – Výpočet tepelných ztrát nevytápěným prostorem [vlastní zdroj]

| Konstrukce       | $A_k$<br>[m <sup>2</sup> ] | $U$<br>[W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ] | $\Delta U$<br>[W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ] | $U_{kc}$<br>[W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ] | $b_u$<br>[-] | $H_{Tiu}$<br>[W·K <sup>-1</sup> ] |
|------------------|----------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------|-----------------------------------|
| Strop            | 130,52                     | 0,163                                        | 0,02                                                | 0,183                                             | 0,74         | 17,743                            |
| Půdní schůdky    | 0,90                       | 1,100                                        | 0,00                                                | 1,100                                             | 1,00         | 0,990                             |
| $\Sigma H_{Tiu}$ |                            |                                              |                                                     |                                                   |              | 18,733                            |

kde:  $H_{Tiu}$  jsou tepelné ztráty nevytápěným prostorem [ $H_{Tiu} = A_k \cdot U_{kc} \cdot b_u$ ]

Tab. č. 12 – Výpočet tepelných ztrát zeminou [vlastní zdroj]

| Konstrukce       | $A_k$<br>[m <sup>2</sup> ] | $U_{eq}$<br>[W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ] | $f_{g1}$<br>[-] | $f_{g2}$<br>[-] | $G_w$<br>[-] | $H_{Tig}$<br>[W·K <sup>-1</sup> ] |
|------------------|----------------------------|---------------------------------------------------|-----------------|-----------------|--------------|-----------------------------------|
| Podlaha          | 131,42                     | 0,17                                              | 1,45            | 0,46            | 0,46         | 14,809                            |
| $\Sigma H_{Tig}$ |                            |                                                   |                 |                 |              | 14,809                            |

kde:  $U_{eq}$  je ekvivalentní součinitel prostupu tepla konstrukce v kontaktu se zeminou [příloha č. 6]

$f_{g1}$  je opravný součinitel, uvažující vliv roční změny průběhu venkovní teploty, stanovena národní hodnota

$f_{g2}$  je opravný teplotní součinitel, zahrnující rozdíl mezi roční průměrnou venkovní teplotou a výp. Venkovní teplotou

$G_w$  je opravný součinitel na vliv spodní vody; je-li předpokládána hladina méně než 1 m od úrovně podlahy suterénu, uvažuje se 1,15. Jinak je roven 1

$H_{Tig}$  jsou tepelné ztráty zeminou [ $H_{Tig} = A_k \cdot U_{eq} \cdot f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot G_w$ ]

$$b_u = \frac{T_i - T_u}{T_i - T_e} = \frac{20 - 4}{20 - (-15)} = 0,46 \quad (8)$$

Tab. č. 13 – Celkové ztráty prostupem [vlastní zdroj]

| $H_{Tl}$ [W·K <sup>-1</sup> ] | $T_i$ [°C] | $T_e$ [°C] | $T_i - T_e$ [°C] | $\Phi T_i$ [W] |
|-------------------------------|------------|------------|------------------|----------------|
| 83,249                        | 20         | -15        | 35               | 2 914,745      |

kde:  $H_{Tl}$  je celková měrná tepelná ztráta prostupem [ $H_{Tl} = H_{Tiu} + H_{Tie} + H_{Tig}$ ]

$\Phi T_i$  je návrhová ztráta prostupem [ $\Phi T_i = H_{Tl} \cdot (T_i - T_e)$ ]

Pro celkové tepelné ztráty prostupem byla vypočítána hodnota **2914,745 W**.

## 5.2.2 Tepelné ztráty větráním

Tab. č. 14 – Ztráty větráním [vlastní zdroj]

| $V_i$ [m <sup>3</sup> ]      | $T_e$ [°C] | $T_i$ [°C] | $n$ [h <sup>-1</sup> ] | $V_{min}$ [m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> ] |
|------------------------------|------------|------------|------------------------|----------------------------------------------|
| 335,12                       | -15        | 20         | 0,5                    | 165,562                                      |
| $n_{50}$ [-]                 |            | $e$ [-]    | $\varepsilon$ [-]      | $V_{inf}$ [m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> ] |
| 4,5                          |            | 0,05       | 1                      | 150,805                                      |
| max. z $V_{inf}$ , $V_{min}$ |            | $H_{Vi}$   | $T_i - T_e$ [°C]       | $\Phi V_i$ [W]                               |
| 165,562                      |            | 56,971     | 35                     | <b>1 993,985</b>                             |

- kde:
- $V_i$  je vytápěný objem zóny
  - $n$  je násobnost výměny vzduchu, závisí na typu místnosti [příloha č. 6]
  - $V_{min}$  je nejmenší požadované množství vzduchu z hygienických důvodů  
[ $V_{min} = n \cdot V_i$ ]
  - $n_{50}$  je hodnota intenzity výměny vzduchu při rozdílu tlaku 50 Pa zjištěna měřením, hodnota závisí na stupni těsnosti obvodového pláště budovy a způsobu větrání [příloha č. 6]
  - $\varepsilon$  korekční součinitel na výšku od úrovně terénu (tzn. především vliv větru ve vyšších podlažích); jeho hodnota je dle středu výšky místnosti od úrovně terénu (0 až 10 m - 1; nad 10 m do 30 m - 1,2; nad 30 m - 1,5)
  - $e$  je stínící součinitel, závislý na poloze budovy v krajině [příloha č. 6]
  - $V_{inf}$  je množství vzduchu, které projde do budovy díky infiltraci pláště  
[ $V_{inf} = 2 \cdot V_i \cdot n_{50} \cdot e \cdot \varepsilon$ ]
  - $H_{Vi}$  je celková měrná ztráta větráním [ $H_{Vi} = 0,34 \cdot \max. z V_{inf}, V_{min}$ ]
  - $\Phi V_i$  je návrhová tepelná ztráta větráním [ $\Phi V_i = H_{Vi} \cdot (T_i - T_e)$ ]

Pro celkové tepelné ztráty větráním byla vypočítána hodnota **1 993,985 W**.

**Celková tepelné ztráty  $\Phi T_{HL} = \Phi T_i + \Phi V_i = 2\,914,745 + 1\,993,985 = 4\,907,73\text{ W}$**

## 5.2.3 Výpočet roční potřeby energie na vytápění

Lokalita – Kroměříž, venkovní výpočtová teplota  $T_e = -15\text{ °C}$ , délka topného období  $d = 258$  dnů, průměrná teplota během otopného období  $T_{es} = 5,1\text{ °C}$ , průměrná vnitřní návrhová teplota  $T_{is} = 20\text{ °C}$ , tepelná ztráta objektu  $\Phi T_{HL} = 4,907\text{ kW}$ , účinnost možnosti regulace soustavy  $\eta_0 = 0,95$  a účinnost rozvodů na vytápění  $\eta_r = 0,95$ .

- Vytápěcí denostupně [K·dny]

$$D = d \cdot (T_{is} - T_{es}) = 258 \cdot (20 - 5,1) = 3844 \text{ dní} \quad (9)$$

- Opravný součinitel [-]

$$\varepsilon = e_i \cdot e_t \cdot e_d = 0,85 \cdot 0,90 \cdot 1 = 0,765 \text{ [-]} \quad (10)$$

kde:  $\varepsilon$  je opravný součinitel [-]  
 $e_i$  je součinitel nesoučasnosti tepelné ztráty infiltrací a prostupem [-]  
 $e_t$  je součinitel snížení teploty během dne respektive noci [-]  
 $e_d$  je součinitel zkrácení doby vytápění objektu s přestávkami provozu [-]

- Roční potřeba tepla na vytápění

$$Q_{vyt,r} = \frac{\varepsilon}{\eta_0 \cdot \eta_r} \cdot \frac{24 \cdot \Phi_{T_{HL}} \cdot D}{T_{is} - T_{es}} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} = \frac{0,765}{0,95 \cdot 0,95} \cdot \frac{24 \cdot 4,907 \cdot 3844}{20 - 5,1} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} \quad (11)$$

$$Q_{vyt,r} = 39,5 \text{ GJ/rok} = 11,19 \text{ MWh/rok}$$

## 5.2.4 Výpočet roční potřeby energie na ohřev teplé vody

Lokalita – Kroměříž, teplota studené vody  $T_1 = 10 \text{ °C}$ , teplota horké vody  $T_2 = 55 \text{ °C}$ , hustota vody  $\rho = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ , měrná tepelná kapacita vody  $c = 4186 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ , celková spotřeba vody za 1 den  $V_{2p} = 0,2 \text{ m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$ , koeficient energetických ztrát  $z = 0,5$ , teplota studené vody v létě  $T_{svl} = 15 \text{ °C}$ , teplota studené vody v zimě  $T_{svz} = 5 \text{ °C}$ , počet pracovních dní soustavy v roce  $N = 365$  dní.

$$Q_{tuv,d} = (1 + z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot V_{2p} \cdot (T_2 - T_1)}{3600} = (1 + 0,5) \cdot \frac{1000 \cdot 4186 \cdot 0,2 \cdot (55 - 10)}{3600} = 25,7 \text{ kWh} \quad (12)$$

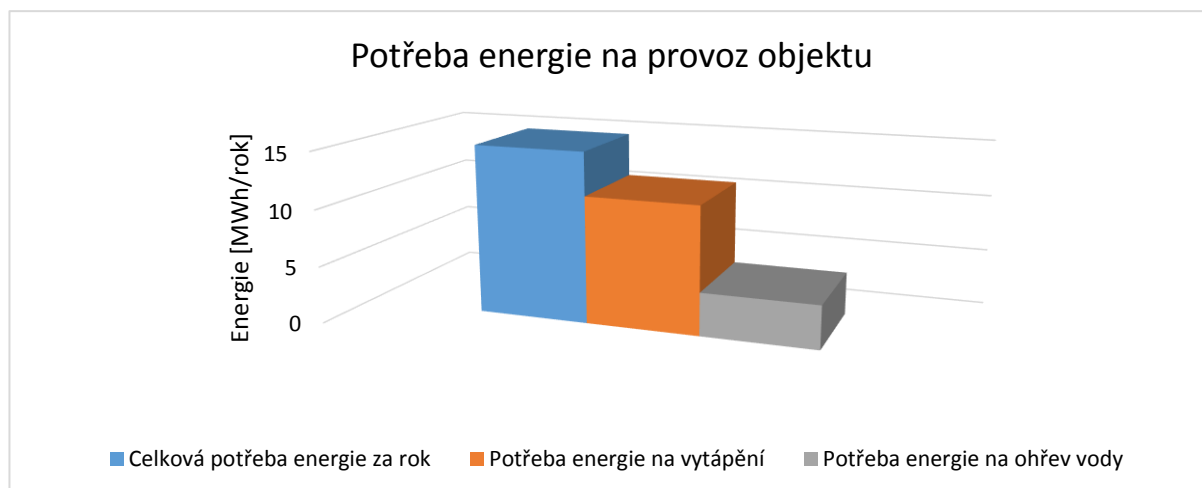
$$Q_{tuv,r} = Q_{tuv,d} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{tuv,d} \cdot \frac{T_2 - T_{svl}}{T_2 - T_{svz}} \cdot (N - d) = \quad (13)$$

$$Q_{tuv,r} = 25,7 \cdot 258 + 0,8 \cdot 25,7 \cdot \frac{55 - 15}{55 - 5} \cdot (365 - 258) =$$

$$Q_{tuv,r} = 13,5 \text{ GJ/rok} = 3,80 \text{ MWh/rok}$$

## 5.2.5 Celková potřeba energie za rok

$$Q_r = Q_{tuv,r} + Q_{vyt,r} = 11,19 + 3,80 = 14,99 \text{ MWh/rok}$$



Graf č. 4 – Potřeba energie na provoz objektu [vlastní zdroj]

## 5.3 NÁVRH TEPELNÉHO ČERPADLA

Tepelné čerpadlo IVAR.HP ATEC-PLUS - vzduch/voda - 6kW; t max. 60° C se systémem vzduch/voda. Výpočet byl proveden v programu HPC od firmy Thermia.



Obr. č. 17 – Tepelné čerpadlo IVAR.HP ATEC-PLUS - vzduch/voda [31]

Tab. č. 15 – Technické parametry čerpadla [32]

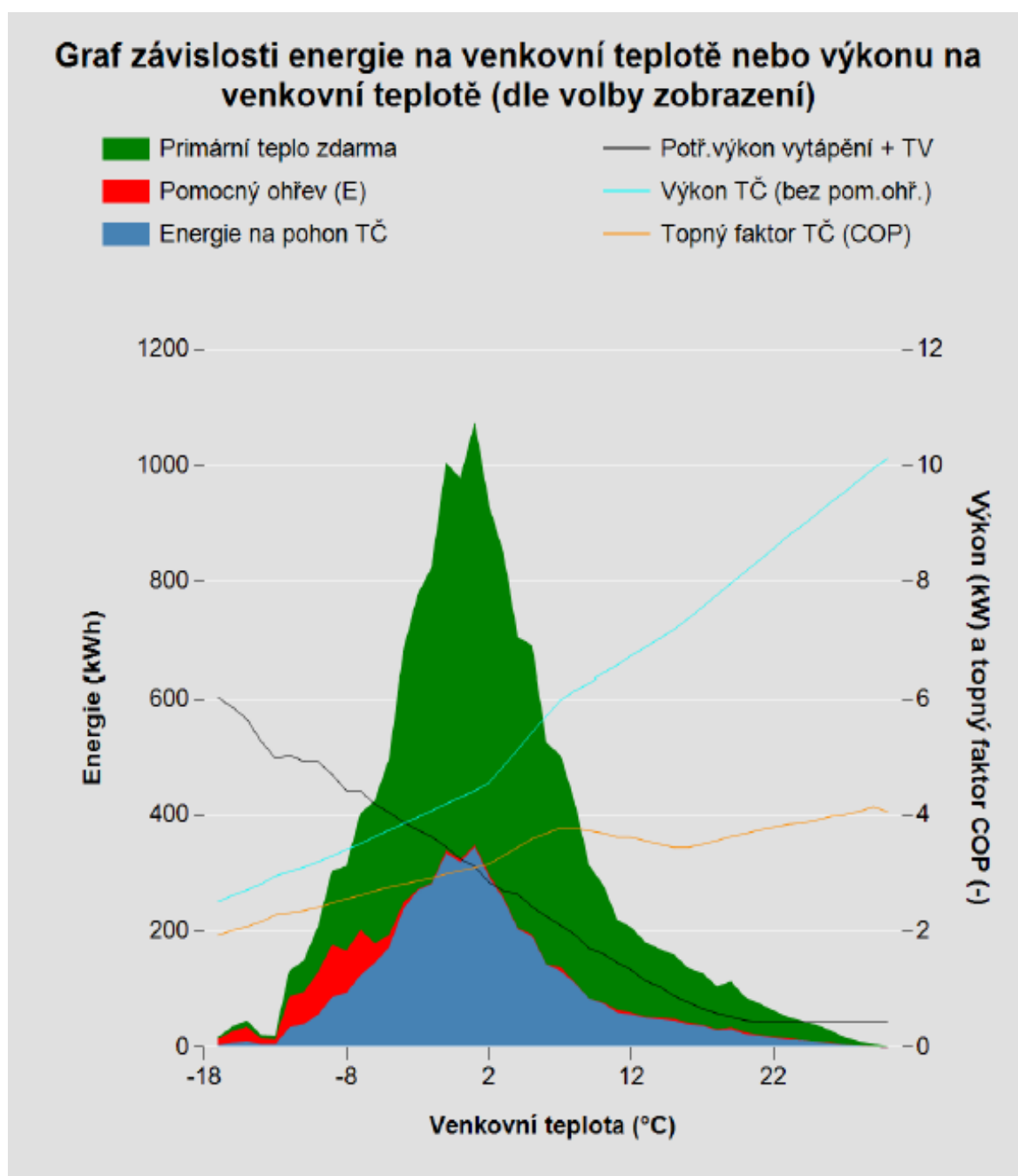
|                                                |                    |
|------------------------------------------------|--------------------|
| typ jednotky                                   | kompaktní          |
| topný výkon $P_H$ (dle ČSN EN 14 511) [kW]     | 4,73               |
| topný faktor COP (dle ČSN EN 14 511) [-]       | 3,26               |
| maximální výstupní teplota topné vody [°C]     | 60                 |
| integrováný bivalentní zdroj                   | ano                |
| typ bivalentního zdroje                        | elektrická patrona |
| maximální topný výkon bivalentního zdroje [kW] | 15                 |
| způsob přípravy teplé vody                     | zásobníkový        |
| typ kompresoru                                 | scroll             |
| použité chladivo                               | R407C              |
| hmotnost chladiva [kg]                         | 4                  |

Tab. č. 16 – Úspory dosažené tepelným čerpadlem [vlastní zdroj]

| Energetické nároky objektu               |               |                |
|------------------------------------------|---------------|----------------|
| Vytápění                                 | 11 190        | kWh/rok        |
| Teplá voda (TV)                          | 3 800         | kWh/rok        |
| <i>Celková energie</i>                   | <i>14 990</i> | <i>kWh/rok</i> |
| Energie spotřebovaná navrženým čerpadlem |               |                |
| Vytápění                                 | 3 779         | kWh/rok        |
| Teplá voda (TV)                          | 1 415         | kWh/rok        |
| <i>Celková energie</i>                   | <i>5 196</i>  | <i>kWh/rok</i> |
| <b>Úspory dosažené použitím</b>          | <b>9 796</b>  | <b>kWh/rok</b> |

Roční topný faktor systému COP = 2,89

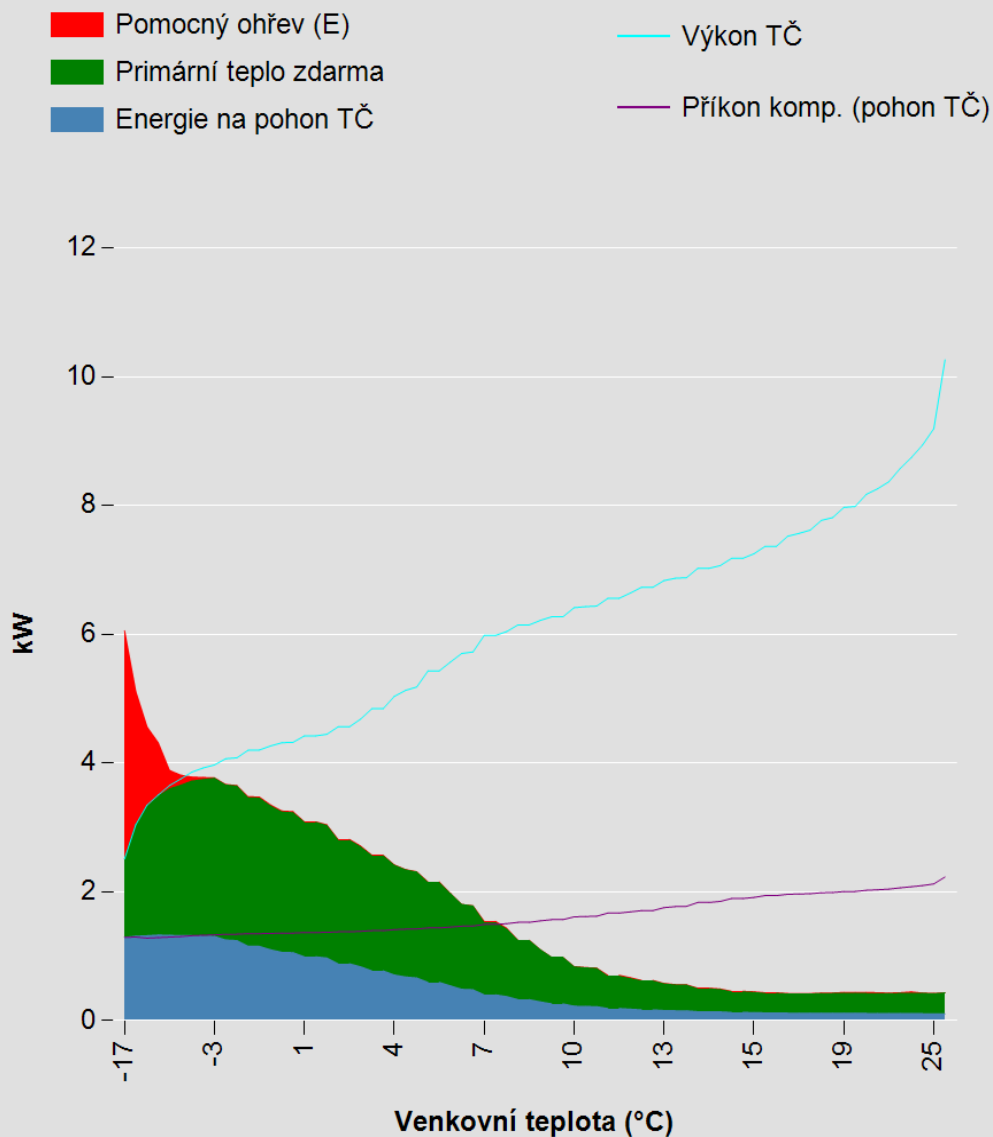
Grafické vyhodnocení:



Graf č. 5 – Závislost energie [kWh] na venkovní teplotě nebo výkonu na venkovní teplotě [program HPC]

S rostoucí teplotou se zvyšuje výkon tepelného čerpadla. Nejvíce energie dodává od 0 do 4 °C, přičemž spotřebovává i nejvíce energie na svůj vlastní provoz, ale i přes to je schopno dodat cca 650 - 700 kWh energie. Při teplotách pod 0 °C dodává částečně energii pomocný ohřev. Se zvyšující se okolní teplotou se snižuje potřebný výkon na vytápění a ohřev užitkové vody. Topný faktor COP se zvyšuje v závislosti na rostoucí teplotě.

## Graf závislosti energie na venkovní teplotě nebo výkonu na venkovní teplotě (dle volby zobrazení)



Graf č. 6 – Závislost energie [kW] na venkovní teplotě nebo výkonu na venkovní teplotě [program HPC]

Při nízkých teplotách pod -3 °C je zapotřebí i přes výkon tepelného čerpadla dodávat teplo pomocným ohřevem. V závislosti na zvyšující se teplotě okolí se snižuje i potřeba primárního tepla, které je produkováno tepelným čerpadlem. Při vyšších okolních teplotách se dodává teplo v menších hodnotách, protože se jedná o dny, kdy už není zapotřebí v objektu vytápět, ale dodávat teplo pro ohřev užitkové vody.

Tab. č. 17 – Cenová kalkulace navrženého tepelného čerpadla [32]

| Název                                                               | Množství<br>[ks] | Jednotková cena<br>bez DPH [Kč] | Cena celkem<br>bez DPH [Kč] | Cena celkem<br>s DPH [Kč] |
|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| Tepelné čerpadlo                                                    | 1                | 245 400                         | 245 400                     | 296 934                   |
| Poplatek za chladivo pro TČ                                         | -                | 4 500                           | 4 500                       | 5 445                     |
| Připojovací šroubení pro<br>venkovní jednotku                       | 1                | 899                             | 899                         | 1 087,79                  |
| Připojovací šroubení pro<br>vnitřní jednotku                        | 1                | 699                             | 699                         | 845,79                    |
| Závitový pryžový<br>kompenzátor                                     | 2                | 739                             | 1 478                       | 1 788,38                  |
| Příložný snímač teploty<br>s klipem – pro potrubí                   | 1                | 345                             | 345                         | 417,45                    |
| Teplotní příložný snímač<br>zpátečky pro TČ                         | 2                | 754                             | 1 508                       | 1 824,68                  |
| Ohřívač vody zásobníkový<br>se dvěma integ. Výměníky –<br>273l      | 1                | 30 914                          | 30 914                      | 37 405,94                 |
| Akumulační nádoba<br>otopné vody pro topné a<br>chladicí systémy    | 1                | 14 140                          | 14 140                      | 17 109,40                 |
| Jímka ½";L 100 mm                                                   | 3                | 106                             | 318                         | 384,78                    |
| Magnetický filtr Boilermag                                          | 1                | 3 999                           | 3 999                       | 4 838,79                  |
| Tlaková expanzní nádoba –<br>topné a chladicí systémy               | 1                | 1 052                           | 1 052                       | 1 272,92                  |
| Držák pro expanzní<br>nádobu                                        | 1                | 179                             | 179                         | 216,59                    |
| Elektronické oběhové<br>čerpadlo pro otopné a<br>klimatické systémy | 1                | 3 190                           | 3 190                       | 3 859,9                   |
| <b>Celkem</b>                                                       |                  |                                 | <b>308 591</b>              | <b>373 395</b>            |

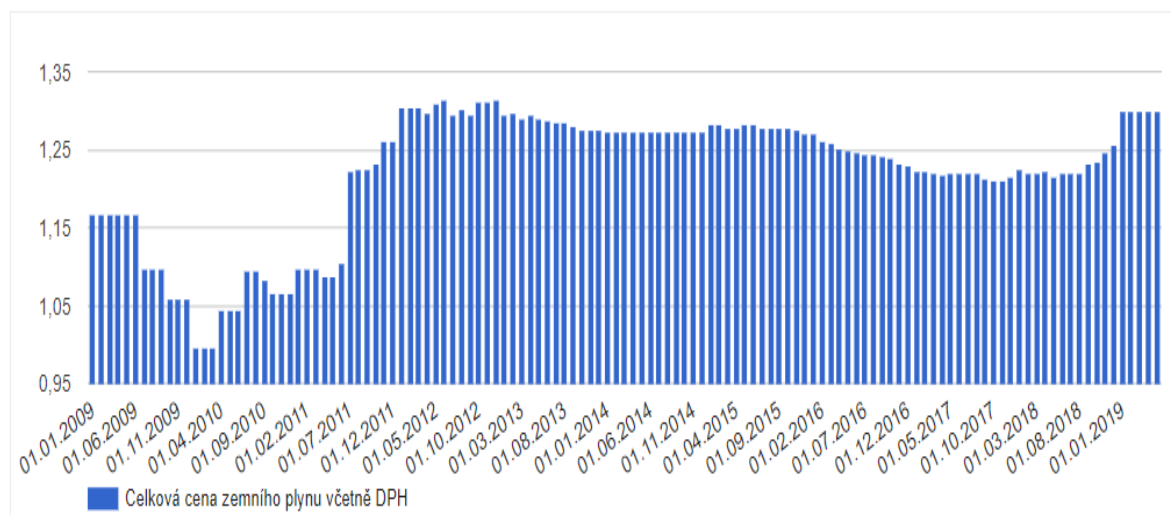
Výsledná cena realizace tepelného čerpadla byla stanovena kalkulací na **308 591 Kč bez DPH**  
a **373 395 Kč včetně DPH**.

## 5.4 ANALÝZY VÝVOJE CEN ENERGIÍ NA ÚZEMÍ ČR

### 5.4.1 Analýza vývoje růstu/poklesu cen zemního plynu na území ČR

Uvažována je celková cena zemního plynu za posledních 10 let na území ČR při spotřebě roční energie 7,56 – 15 MWh/rok, jelikož se v tomto intervalu nachází potřeba energie posuzovaného objektu, na který bylo navrženo tepelné čerpadlo.

**Odběr 7.56-15 MWh/rok, celková cena zemního plynu na území Česká republika [Kč/kWh]**



Graf č. 7 – Závislost vývoje cen zemního plynu na jednotlivých obdobích za posledních 10 let [33]

- Období 2009 až 2011

Tab. č. 18 – Rozčlenění fází období 2009 až 2011 [vlastní zdroj]

| časový interval          | pohyb ceny    | cena na začátku<br>[Kč/kWh] | cena na konci<br>[Kč/kWh] | procentuelní<br>rozdíl ceny [%] |
|--------------------------|---------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| 1. 1. 2009 – 1. 6. 2009  | stagnace      | 1,17                        | 1,17                      | + 0,00                          |
| 1. 6. 2009 – 1. 3. 2010  | pokles        | 1,17                        | 0,99                      | - 15,38                         |
| 1. 3. 2010 – 1. 7. 2010  | nárůst        | 0,99                        | 1,09                      | + 10,01                         |
| 1. 7. 2010 – 1. 6. 2011  | kolísání      | 1,09                        | 1,10                      | + 0,09                          |
| 1. 6. 2011 – 1. 12. 2011 | prudký nárůst | 1,10                        | 1,30                      | + 18,18                         |

V tomto období zaznamenáváme na počátku roku 2009 až do jeho poloviny stagnaci ceny. Od poloviny roku 2009 až do poloviny roku 2010 pozorujeme velké snížení ceny, které bylo způsobeno snížením cen ropy, od které se odvíjí i cena zemního plynu. Na snížení ceny se podepsala i hospodářská krize a kurz koruny vůči dolaru. Od dubna 2010 sledujeme rychlý obrát a následný nárůst cen. Důvody zvýšení cen byly úplně stejné ovšem v opačném směru. Cena ropy začala vzrůstat a oslabení kurzu české koruny vůči americkému dolaru. Následně od poloviny roku

2010 až do poloviny roku 2011 sledujeme lehké kolísání ceny za plyn, přičemž cena mírně klesla v jednom čtvrtletí, ale potom se opět dostala na podobnou hodnotu. Ovšem od poloviny roku 2011 registrujeme strmý nárůst zdražování, který trval až do konce roku 2011. Na průměrnou cenu začíná působit velké množství produktových řad s fixní cenou od různých dodavatelů. [33,34]

- **Období 2012 – 2015**

*Tab. č. 19 – Rozčlenění fází období 2012 až 2015 [vlastní zdroj]*

| časový interval          | pohyb ceny   | cena na začátku<br>[Kč/kWh] | cena na konci<br>[Kč/kWh] | procentuelní<br>rozdíl ceny [%] |
|--------------------------|--------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| 1. 1. 2012 – 1. 1. 2013  | kolísání     | 1,30                        | 1,29                      | - 0,77                          |
| 1. 1. 2013 – 1. 1. 2015  | mírný pokles | 1,29                        | 1,28                      | - 0,78                          |
| 1. 1. 2015 – 1. 12. 2015 | mírný pokles | 1,28                        | 1,27                      | - 0,78                          |

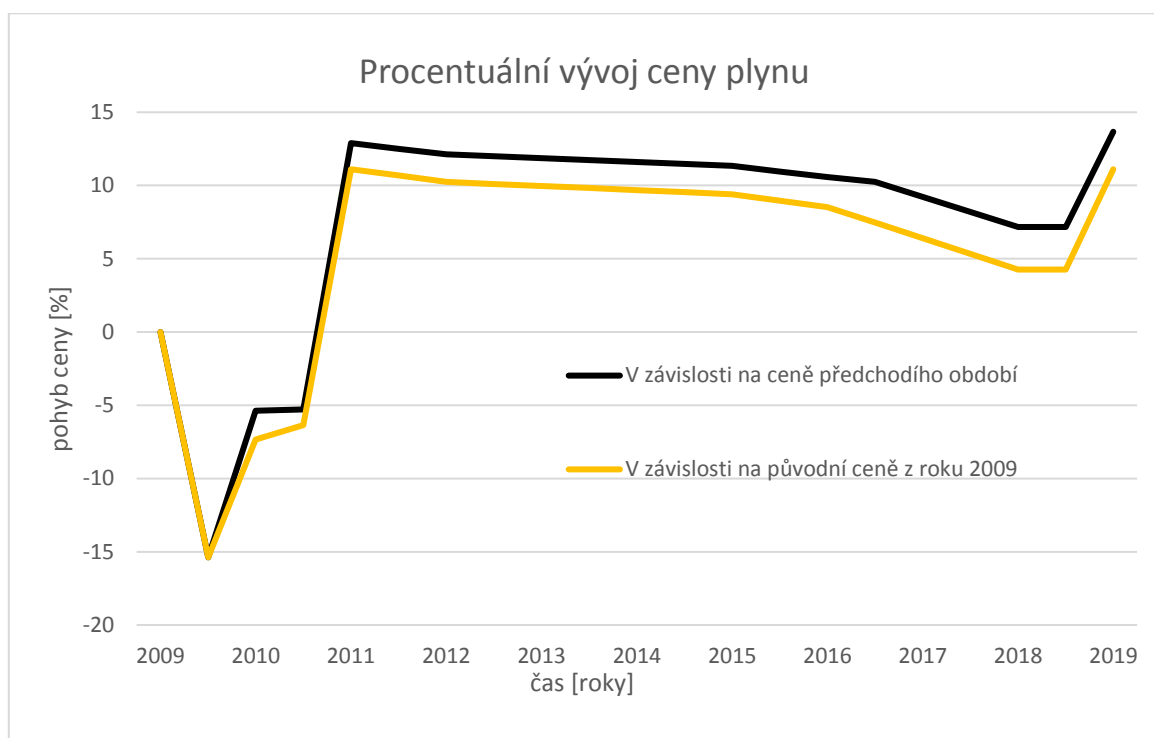
V roce 2012 se ceny zemního plynu střídavě zvyšovaly a snižovaly. Na počátku roku 2013 evidujeme zlevnění a následné snížení ceny během téhož roku. Během roku 2014 ceny plynu stagnovaly. Na přelomu roku 2014 a 2015 nastalo mírné zvýšení ceny. V průběhu roku 2015 ceny kolísaly, ovšem na konci roku 2015 byla cena stejná jako na konci roku 2014.

- **Období 2016 – současnost**

*Tab. č. 20 – Rozčlenění fází období 2016 až 2019 [vlastní zdroj]*

| časový interval         | pohyb ceny | cena na začátku<br>[Kč/kWh] | cena na konci<br>[Kč/kWh] | procentuelní<br>rozdíl ceny [%] |
|-------------------------|------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| 1. 1. 2016 – 1. 1. 2018 | pokles     | 1,27                        | 1,22                      | - 4,10                          |
| 1. 1. 2018 – 1. 1. 2019 | nárůst     | 1,22                        | 1,30                      | + 6,50                          |
| 1. 1. 2019 – 1. 5. 2019 | stagnace   | 1,30                        | 1,30                      | + 0,00                          |

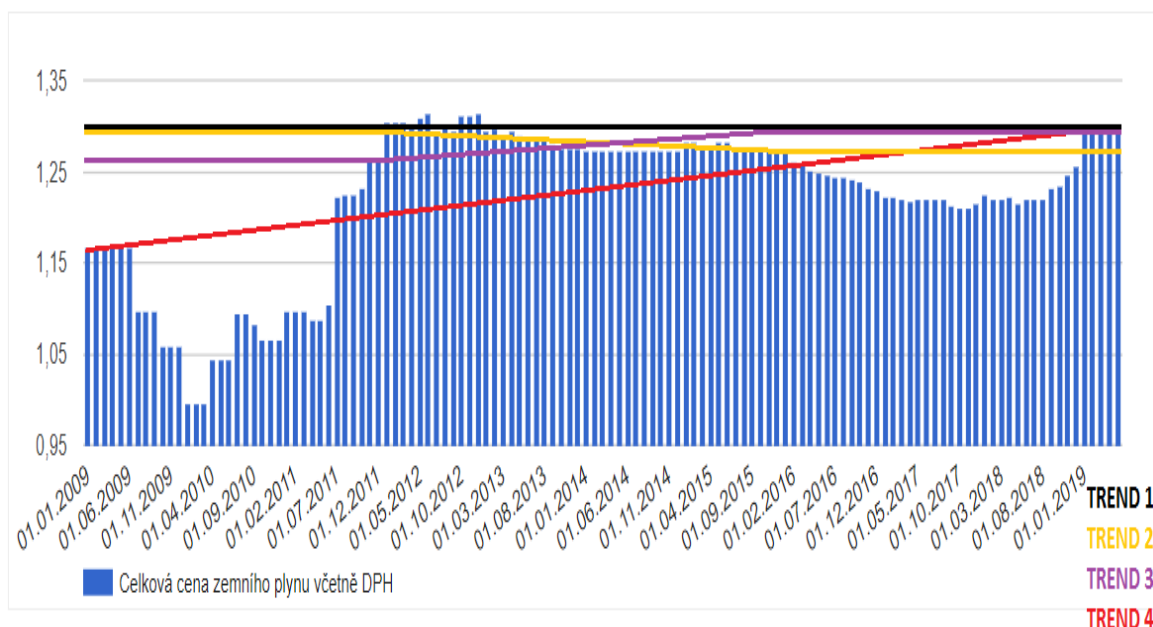
Z počátku by se tohle období dalo charakterizovat postupným snižováním cen a to po celý rok v roce 2016 i v roce 2017. Z počátku roku 2018 nastalo mírné zdražení, které ale dále nepokračovalo a do srpna 2018 evidujeme mírné kolísání cen. V posledním čtvrtletí roku 2018 nastává postupně zdražování cen, kdy se cena během tří měsíců zvedla téměř o 0,04 Kč/kWh. Prozatímní rok 2019 byl na počátku charakterizován velkým zdražením ceny za plyn. Na Přelomu roku 2018 a 2019 cena stoupla opět o 0,04 Kč/kWh. V současné době (květen 2019) pozorujeme stagnaci ceny, která oproti květnu 2018 o 6,5 % vyšší.



Graf č. 8 – procentuální vývoj cen plynu během 10 let. [vlastní zdroj]

#### 5.4.1 Předpoklad vývoje růstu/poklesu cen zemního plynu v ČR

Odběr 7.56-15 MWh/rok, celková cena zemního plynu na území Česká republika [Kč/kWh]



Graf č. 9 – Odvozené trendy růstu/poklesu cen zemního plynu [zdroj vlastní]

- **Trend 1 – Předpoklad stagnace ceny zemního plynu**

Předpokladem je stejná cena během následujících období. Pokud bychom uvažovali tak, že cena bude mírně kolísat nahoru a dolů, byl by trend uvažován jako průměr cen, kdy jeden měsíc zaplatíme víc a následující zase míň. Ve výsledku bychom platili průměrně stejnou částku měsíčně. Potom by varianta tohoto trendu byla reálnější, než kdybychom uvažovali, že se cena zůstane pořád stejná. Do výpočtu návratnosti bude brána stagnace ceny v hodnotě 1,30 Kč/kWh, která je charakteristická pro květen 2019.

- **Trend 2 – Předpoklad neustálého střídání průběhu stagnace a poklesu ceny**

Nejméně pravděpodobná varianta. Nelze předpokládat, že by cena zemního plynu neustále klesala, proto je uvažována varianta střídání stagnace a poklesu ceny. Tahle varianta by mohla nastat v případě, že by většina odběratelů zemního plynu přecházela např. na alternativní zdroj energie. Pokles ceny je uvažován podle období od počátku roku 2012 do počátku roku 2016, kdy zaznamenáváme postupný pokles ceny, která se ve výsledku snížila za období o 2,36 %. Pro tento trend tedy předpokládáme cyklicky se opakující proces 3 let stagnace a 4 let postupně se snižující ceny, která se při dalším cyklu stagnace dostává na sníženou cenu o 2,36 % předchozí stagnace. Na počátku cyklu je uvažována cena pro květen 2019 1,30 Kč/kWh.

- **Trend 3 - Předpoklad neustálého střídání průběhu stagnace a nárůstu ceny**

Opačná varianta předchozího trendu 2. Nejpravděpodobnější varianta předpokládaného vývoje ceny. Na grafu 7 je znázorněn průběh vývoje ceny trochu jiného charakteru, ale ve výsledku se cena za posledních 10 let zvýšila o 11,11 %. Také zásoby zemního plynu a ropy nejsou nekonečné, ale v tomhle procesu se může podepsat více důvodů, proč by se cena měla postupně neustále navyšovat. V úvahu tedy bereme cyklicky se opakující proces 3 let stagnace a 4 let postupně se zvyšující ceny, která se při dalším cyklu stagnace dostává na zvýšenou cenu o 2,36 % předchozí stagnace. Na počátku cyklu je uvažována cena pro květen 2019 1,30 Kč/kWh.

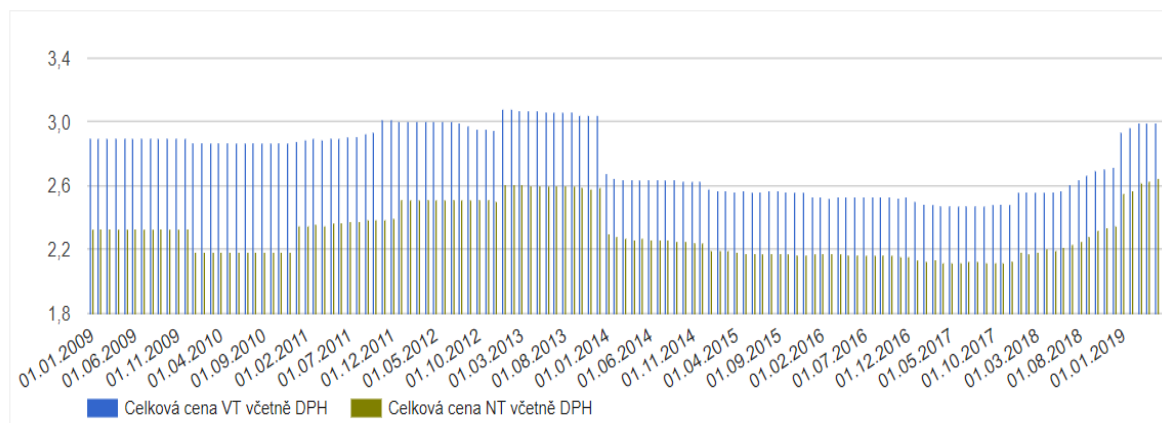
- **Trend 4 – Předpoklad rovnoměrného zvyšování ceny**

U trendu 4 předpokládáme rovnoměrný lineární růst ceny. Růst je odvozen jednoduchým způsobem, kdy bereme v úvahu počáteční cenu v roce 2009 a konečnou cenu pro květen 2019. Pokud bychom odečetli ceny, které převyšují trend a připočítali je tam, kde jsou hlouběji pod trendem, výsledkem by byl téměř plynulý nárůst cen, který by odpovídal tomuto trendu, s výjimkou období v letech 2009 až 2011. V úvahu tedy přichází rovnoměrný nárůst ceny o 1,11 % ročně v závislosti na počáteční ceně. Počáteční cenu opět uvažujeme stejnou, jako u předchozích trendů.

## 5.4.2 Analýza vývoje růstu/poklesu cen elektřiny na území ČR

Analýzu cen elektřiny provádíme stejně jako u zemního plynu za poslední desetiletí. Konkrétně bude analyzována sazba D56d dvoutarifová sazba, která předpokládá provoz tepelného čerpadla a nízký tarif po dobu 22 hodin denně.

**Celková cena elektřiny Česká republika - D56d [Kč/kWh]**

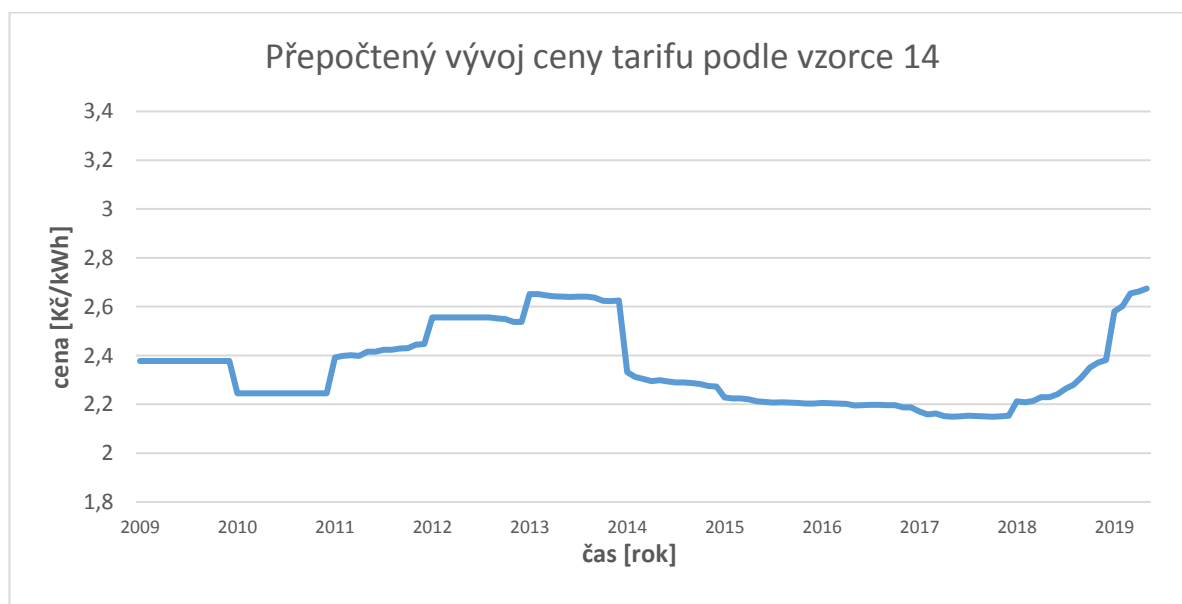


*Graf č. 10 – Závislost vývoje cen elektřiny na jednotlivých obdobích za posledních 10 let [33]*

Z důvodu rozdílných cen vysokého a nízkého tarifu bude analyzována vypočtená cena elektřiny z obou zmíněných tarifů na spotřebu za 24 hodin podle vzorce:

$$c_D = \frac{VT \cdot 2 + NT \cdot 22}{24} \quad (14)$$

kde:  $c_d$  je vypočtená cena za 24 hodin  
 $VT$  je cena za vysoký tarif  
 $NT$  je cena za nízký tarif



*Graf č. 11 – Přepočtený vývoj ceny tarifu poukazující, kolik stojí 1 kWh [vlastní zdroj]*

- **Období 2009 – 2013**

*Tab. č. 21 – Rozčlenění fází období 2009 až 2012 [vlastní zdroj]*

| časový interval           | pohyb ceny | cena na začátku<br>[Kč/kWh] | cena na konci<br>[Kč/kWh] | procentuelní<br>rozdíl ceny [%] |
|---------------------------|------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| 1. 1. 2009 – 1. 12. 2009  | stagnace   | 2,33                        | 2,33                      | + 0,00                          |
| 1. 12. 2009 – 1. 12. 2010 | pokles     | 2,33                        | 2,24                      | - 4,02                          |
| 1. 12. 2010 – 1. 12. 2011 | nárůst     | 2,24                        | 2,44                      | + 8,92                          |
| 1. 12. 2011 – 1. 12. 2012 | nárůst     | 2,44                        | 2,54                      | + 4,10                          |
| 1. 12. 2012 – 1. 12. 2013 | nárůst     | 2,54                        | 2,63                      | + 3,54                          |

V roce 2009 pozorujeme stagnaci ceny, kdy nedošlo ke zvýšení nebo snížení ceny ani u jednoho tarifu. Přelom roku 2009 a 2010 je charakterizován mírným poklesem ceny a to hlavně díky snížení ceny nízkého tarifu, který se zlevnil podstatněji než vysoký, i když jeho cena šla taky nepatrně dolů. Následně v roce 2010 cena opět stagnovala. Na počátku roku 2011 dochází ke zvýšení ceny a především opět díky rapidnějšímu navýšení ceny nízkého tarifu. Následně během roku pozorujeme u vysokého tarifu mírný nárůst po celý rok, kdežto nízký tarif do poloviny roku stagnoval a v druhé polovině se jeho cena začala pomalu zvyšovat. Začátek roku 2012 přinesl opět navýšení ceny. Opět hrál hlavní roli především vyšší nárůst nízkého tarifu. Cena do konce roku stagnovala. Další rok 2013 sebou opět zdražení elektrické energie. V tomto případě narostla cena u obou tarifů. Tento rok je charakterizován jako nejdražší rok za uplynulé desetiletí.

- **Období 2014 - 2017**

*Tab. č. 22 – Rozčlenění fází období 2014 až 2017 [vlastní zdroj]*

| časový interval           | pohyb ceny | cena na začátku<br>[Kč/kWh] | cena na konci<br>[Kč/kWh] | procentuelní<br>rozdíl ceny [%] |
|---------------------------|------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| 1. 12. 2013 – 1. 12. 2014 | pokles     | 2,63                        | 2,27                      | - 15,85                         |
| 1. 12. 2014 – 1. 12. 2015 | pokles     | 2,27                        | 2,20                      | - 3,18                          |
| 1. 12. 2015 – 1. 12. 2016 | pokles     | 2,20                        | 2,18                      | - 0,92                          |
| 1. 12. 2016 – 1. 12. 2017 | pokles     | 2,18                        | 2,15                      | - 1,39                          |

Celé období 2014 – 2017 představuje postupné snižování cen a hodně ušetřených peněz za elektrickou energii. Příchodem roku 2014 nastalo největší zlevnění energie v rámci

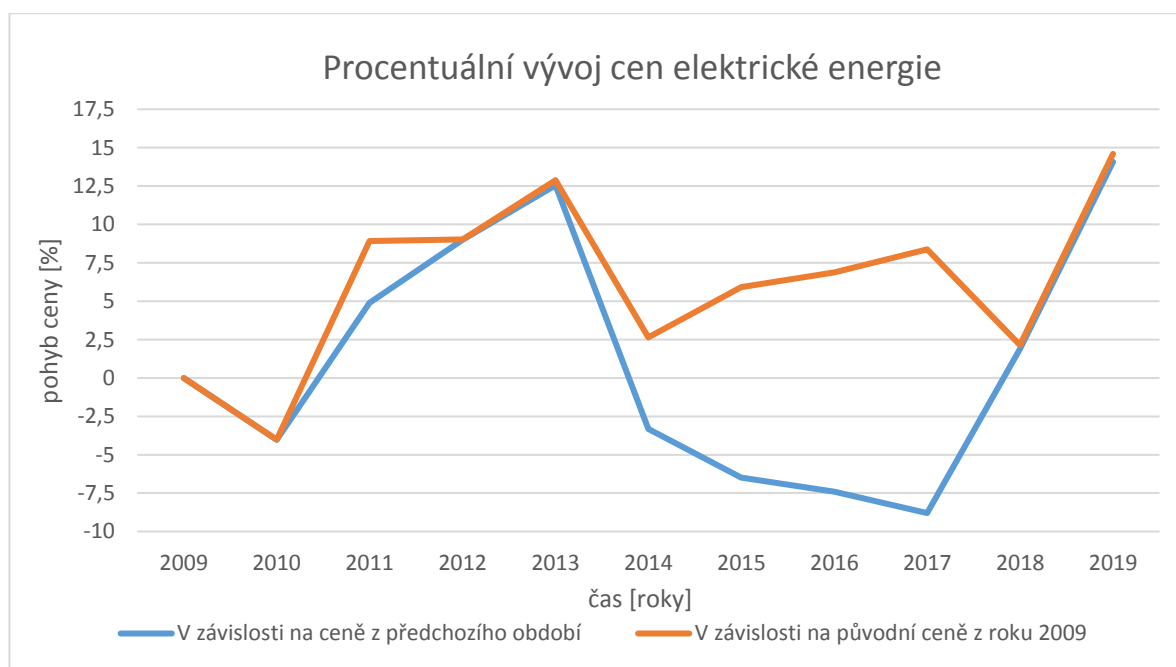
posuzovaného desetiletí. Následné tři roky zaznamenáváme postupný pokles ceny až do konce roku 2017.

- Období 2018 – současnost

Tab. č. 23 – Rozčlenění fází období 2018 až 2019 [vlastní zdroj]

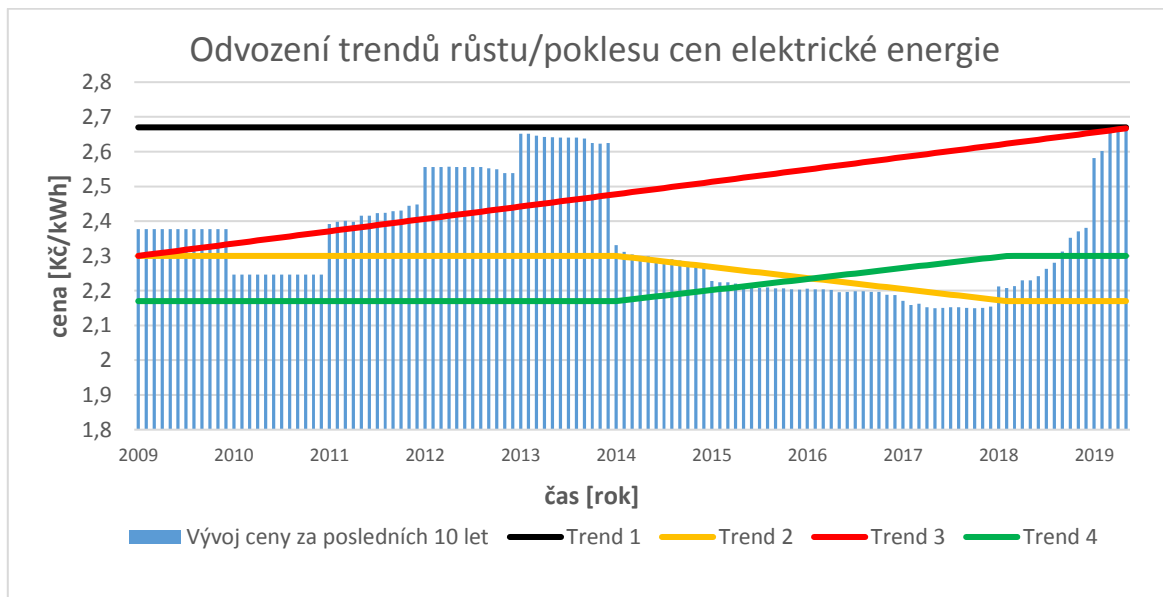
| časový interval           | pohyb ceny | cena na začátku<br>[Kč/kWh] | cena na konci<br>[Kč/kWh] | procentuelní<br>rozdíl ceny [%] |
|---------------------------|------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| 1. 12. 2017 – 1. 12. 2018 | pokles     | 2,15                        | 2,38                      | + 10,69                         |
| 1. 12. 2018 – 1. 5. 2019  | pokles     | 2,38                        | 2,67                      | + 12,18                         |

Na začátku toku 2018 zaznamenáváme nárůst ceny oproti roku 2017. Tento trend postupně pokračoval vyšším nárůstem v druhé polovině téhož roku. Rapidněji narostla cena za elektrickou energii na počátku roku 2019, která se zpočátku mírně zvyšovala, ale v posledních 3 měsících zatím stagnuje na téměř nejvyšší ceně za posledních 10 let.



Graf č. 12 – Procentuální vývoj cen elektrické energie během 10 let. [vlastní zdroj]

### 5.4.3 Předpoklad vývoje růstu/poklesu cen elektrické energie v ČR



Graf č. 13 – Odvození trendů růstu/poklesu cen elektrické energie [zdroj vlastní]

- **Trend 1 – Předpoklad stagnace ceny elektrické energie**

Trend č. 1 představuje prognózu stagnace ceny elektrické energie. Stejně jako u vývoje ceny zemního plynu tuhle variantu nelze přepokládat. Reálnější je možnost, kdy ceny mírně kolísají nahoru a dolů. Výsledkem by byla průměrná cena, která by ve výsledku stagnovala. Stejně jako u vývoje cen plynu uvažujeme počáteční cenu pro květen 2019.

- **Trend 2 – Předpoklad neustálého střídání stagnace a poklesu ceny**

Málo pravděpodobná prognóza, která předpokládá 5 let stagnace ceny a 4 roky rovnoměrného poklesu ceny, který je odvozen za období 2014 až 2017, kdy cena rovnoměrně klesla celkově o 5,58 %. Následně nastává dalších 5 let stagnace a další snižování ceny o stejně o stejné procento v závislosti na předchozí stagnaci. Počáteční cena se uvažuje opět pro květen 2019.

- **Trend 3 – Předpoklad neustálého střídání stagnace a nárůstu ceny**

Opačný průběh předchozího trendu. Cyklicky se opakující cyklus, kdy 5 let cena stagnuje a následně 4 roky rovnoměrně narůstá o 5,58 % v závislosti na ceně předchozí stagnace.

- **Trend 4 – Předpoklad rovnoměrného zvyšování ceny**

Růst je odvozen nárůstem od roku 2009 až po současnost. Cena za 10 let vzrostla o 12,3 % v závislosti na počáteční ceně v roce 2009. Opět uvažujeme počáteční cenu z května 2019.

## 5.5 VÝPOČET NÁVRATNOSTI INVESTICE

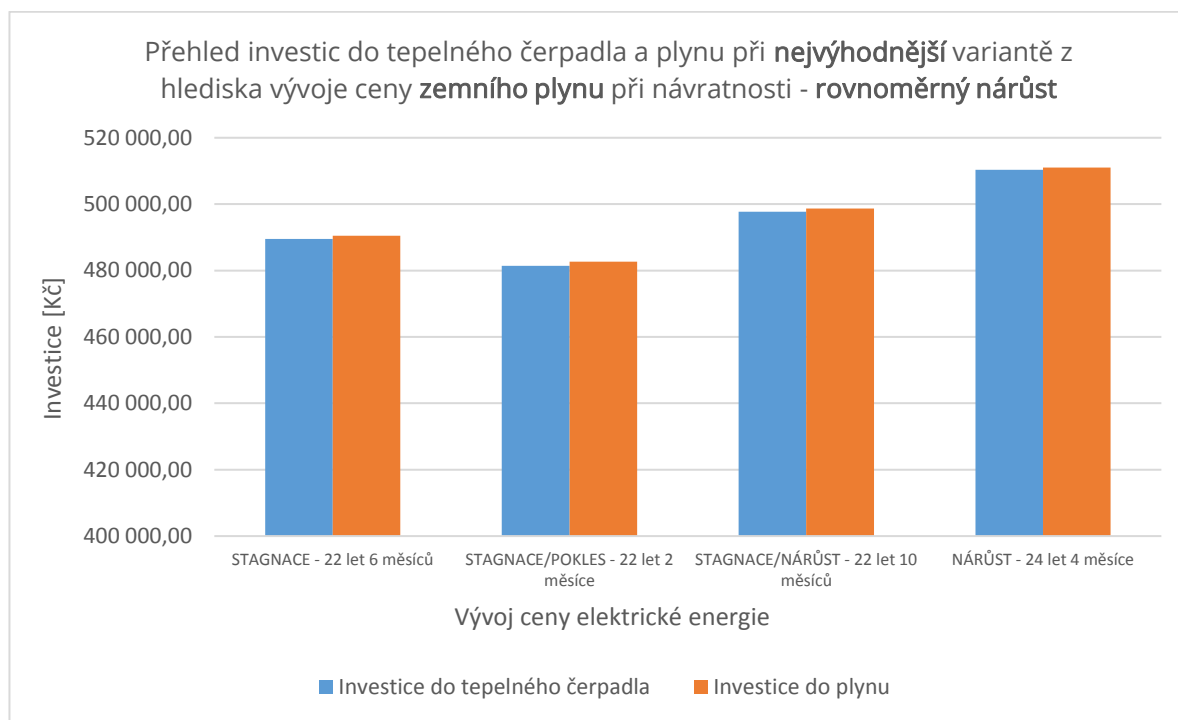
Pro výpočet nákladů uvažujeme průměrný roční topný faktor  $COP = 2,89$ . Cena elektřiny je závislá na jednotlivých trendech, které budou kombinovány s trendy plynu. Tepelné čerpadlo pracuje s účinností 96 %. Celková potřeba tepelné energie pro výkon čerpadla je 5 194 kWh/rok. Jednotlivé trendy za plyn a elektrickou energii budou kombinovány při výpočtech návratnosti. Celkově bude vypočítáno 16 kombinací a posouzení nejvýhodnější varianty růstu, poklesu nebo stagnace cen. Investice do realizace tepelného čerpadla na 373 395 Kč včetně DPH.

Tab. č. 24 – Porovnání investic a návratnosti v závislosti na kombinacích trendů [vlastní zdroj]

| Trend plynu                                                             | Trend elektrické energie | Celková investice do TČ | Celková investice do plynu | Návratnost investice |
|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------------|----------------------|
| stagnace                                                                | stagnace                 | 508 021,09 Kč           | 508 285,92 Kč              | 26 let 1 měsíc       |
| stagnace                                                                | stagnace/pokles          | 496 191,50 Kč           | 496 918,40 Kč              | 25 let 6 měsíců      |
| stagnace                                                                | stagnace/nárůst          | 522 052,80 Kč           | 522 901,00 Kč              | 26 let 10 měsíců     |
| stagnace                                                                | nárůst                   | 540 144,60 Kč           | 540 764,10 Kč              | 27 let 9 měsíců      |
| stagnace/pokles                                                         | stagnace                 | 516 193,70 Kč           | 516 280,40 Kč              | 27 let 8 měsíců      |
| stagnace/pokles                                                         | stagnace/pokles          | 502 395,00 Kč           | 503 085,70 Kč              | 26 let 11 měsíců     |
| stagnace/pokles                                                         | stagnace/nárůst          | 533 187,40 Kč           | 533 991,90 Kč              | 28 let 8 měsíců      |
| stagnace/pokles                                                         | nárůst                   | 553 911,80 Kč           | 554 655,40 Kč              | 29 let 10 měsíců     |
| stagnace/nárůst                                                         | stagnace                 | 493 827,30 Kč           | 495 030,20 Kč              | 23 let 4 měsíce      |
| stagnace/nárůst                                                         | stagnace/pokles          | 484 734,00 Kč           | 485 474,00 Kč              | 22 let 11 měsíců     |
| stagnace/nárůst                                                         | stagnace/nárůst          | 503 526,00 Kč           | 504 586,20 Kč              | 23 let 9 měsíců      |
| stagnace/nárůst                                                         | nárůst                   | 516 997,40 Kč           | 517 964,70 Kč              | 24 let 4 měsíce      |
| nárůst                                                                  | stagnace                 | 489 526,50 Kč           | 490 695,60 Kč              | 22 let 6 měsíců      |
| nárůst                                                                  | stagnace/pokles          | 481 375,10 Kč           | 482 685,60 Kč              | 22 let 2 měsíce      |
| nárůst                                                                  | stagnace/nárůst          | 497 757,90 Kč           | 498 705,60 Kč              | 22 let 10 měsíců     |
| nárůst                                                                  | nárůst                   | 510 354,50 Kč           | 511 008,30 Kč              | 23 let 4 měsíce      |
| Výpočty jednotlivých investic a návratností jsou uvedeny v příloze č. 7 |                          |                         |                            |                      |

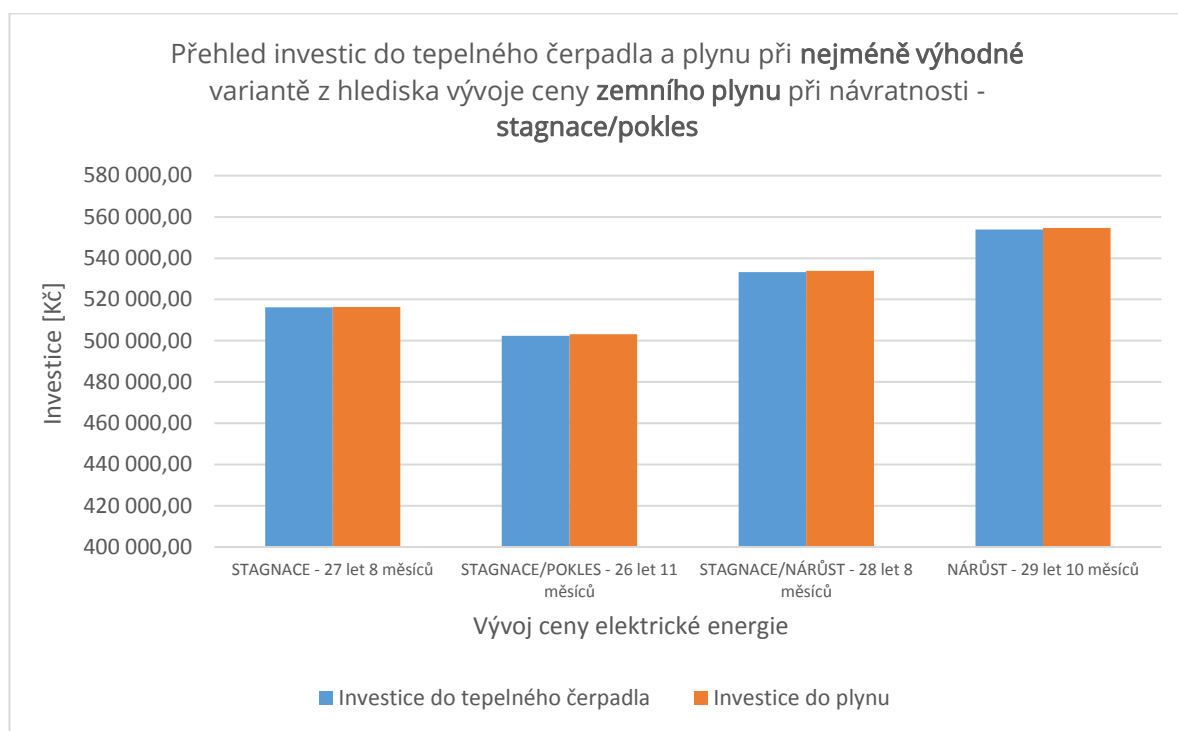
## 6 DISKUZE VÝSLEDKŮ

### 6.1 VYHODNOCENÍ Z HLEDISKA VÝVOJE CENY ZEMNÍHO PLYNU



Graf č. 14 – Přehled investic při návratnosti při **nejvýhodnější** variantě vývoje ceny zemního plynu – nárůst [vlastní zdroj]

Nejvýhodnější variantou z hlediska vývoje ceny zemního plynu je rovnoměrný nárůst jeho ceny. V kombinaci s vývojem ceny elektrické energie dopadla nejlépe kombinace, kdy cena plynu roste a cena elektrické energie cyklicky stagnuje a klesá. Při realizaci tepelného čerpadla shledáváme samozřejmě pokles za cenu elektrické energie jako pozitivní, protože klesají náklady vynaložené na provoz tepelného čerpadla. Nárůst ceny zemního plynu je v tomto ohledu taky pozitivní, protože bychom do původního zdroje energie investovali stále vyšší náklady a tím se zkracuje doba návratnosti. Při této kombinaci byla stanovena doba návratnosti 22 let a 2 měsíce. Celková cena investice by činila 481 375,10 Kč. V závislosti na změnách cen elektrické energie pozorujeme, že jakýkoliv nárůst ceny elektrické energie je v tomto ohledu negativní. Při rovnoměrném nárůstu cen energií elektrické energie v kombinaci s nárůstem cen zemního plynu bychom zaplatili celkově 510 354,50 Kč při návratnosti 24 let a 4 měsíců. Při stagnaci současné ceny elektrické energie se náklady navyšují s ohledem na nejvýhodnější variantu a za investici bychom zaplatili 486 526,50 Kč. Návratnost by v tomto ohledu vycházela na 22 let a 6 měsíců. Cyklické střídání stagnace a nárůstu ceny elektřiny by zapříčinilo investici 497 757,9 Kč a dobu návratnosti 22 let a 10 měsíců.



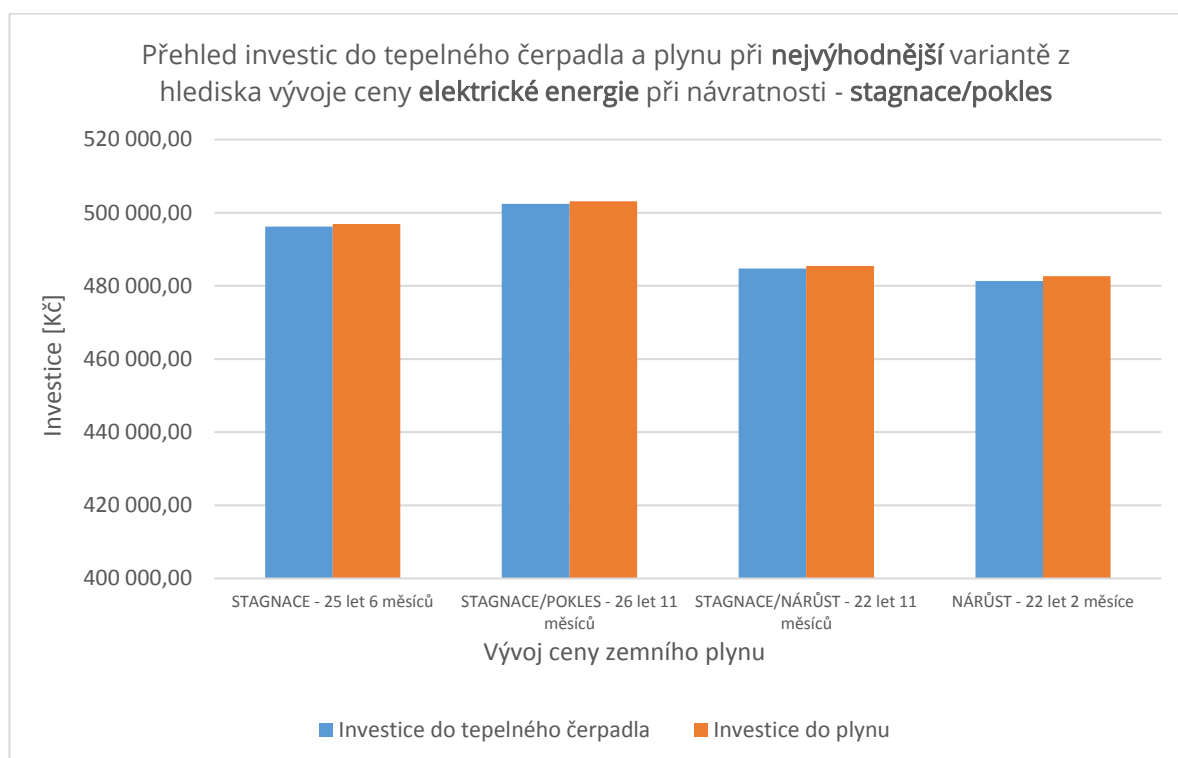
*Graf č. 15 – Přehled investic při návratnosti při nejméně výhodné variantě vývoje ceny zemního plynu – stagnace/pokles [vlastní zdroj]*

Pokud investujeme do systému s elektrickou energií a cena původního systému klesá, má to za následek negativní dopad na dobu návratnosti, která se tím prodlužuje. Pokud se nám zvyšuje cena na provoz nového systému a zároveň snižuje cena na provoz původního systému, návratnost má tendenci narůstat stejně jako celková investice. Při takové kombinaci byla vypočítána hodnota investice 553 911,30 Kč, která by se vrátila až za 29 let a 10 měsíců. Při cyklicky se opakující stagnaci a nárůstu ceny elektrické energie bychom museli vynaložit 533 187,40 Kč při návratnosti 28 let a 8 měsíců. Stagnace ceny elektrické energie by zapříčinila investici 516 193,70 Kč a dobu návratnosti 27 let a 8 měsíců. Nejlepší varianta v kombinaci s uvedeným vývojem ceny zemního plynu je cyklicky se opakující stagnace a pokles ceny elektrické energie. Vypočtená hodnota udává investici v hodnotě 502 395,00 Kč a dobu návratnosti 26 let a 11 měsíců.

*Tab. č. 25 – Porovnání kombinací z hlediska vývoje ceny zemního plynu [vlastní zdroj]*

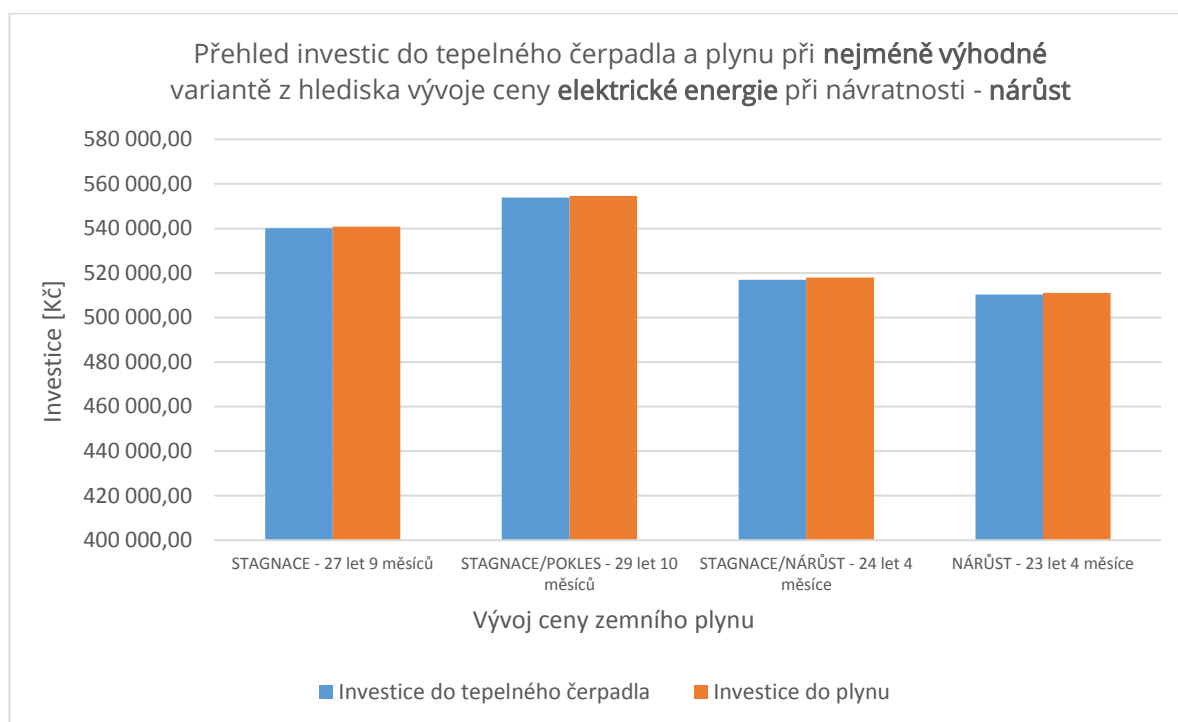
| Rovnoměrný nárůst | Stagnace/pokles | Vývoj ceny elektrické energie | Rozdíl v investici | Rozdíl v návratnosti |
|-------------------|-----------------|-------------------------------|--------------------|----------------------|
| 489 526,50 Kč     | 516 193,70 Kč   | Stagnace                      | 26 667,2 Kč        | 5 let 2 měsíce       |
| 481 375,10 Kč     | 502 395,00 Kč   | Stagnace/pokles               | 21 020,0 Kč        | 4 roky 9 měsíců      |
| 497 757,90 Kč     | 533 187,40 Kč   | Stagnace/nárůst               | 35 430,4 Kč        | 5 let 10 měsíců      |
| 510 354,50 Kč     | 553 911,80 Kč   | Nárůst                        | 23 557,3 Kč        | 5 let 6 měsíců       |

## 6.2 VYHODNOCENÍ Z HLEDISKA VÝVOJE CEN ELEKTRICKÉ ENERGIE



Graf č. 16 – Přehled investic při návratnosti při **nejvýhodnější** variantě vývoje ceny elektrické energie – **stagnace/pokles** [vlastní zdroj]

Z pohledu investora je **nejvýhodnější**, když cena za provoz nového systému klesá. V našem případě je to cyklicky se opakující stagnace a pokles ceny elektrické energie. To zaručuje kratší dobu návratnosti. **Nejvýhodnější** kombinace je totožná s předchozím vyhodnocení z hlediska cen zemního plynu. Při cyklicky se opakující stagnaci a poklesu cen elektrické energie a rovnoměrném nárůstu ceny zemního plynu. Investice 481 375,10 Kč, která by se vrátila za 22 let a 2 měsíce. Narůstající hodnota ceny zemního plynu má za následek zvýšení hodnoty investice i celkové doby návratnosti. Pouze malý rozdíl v investici představuje kombinace cyklicky se opakující stagnace a nárůstu ceny zemního plynu. V takové situaci bychom museli investovat 484 734,00 Kč a návratnost by trvala 22 let a 11 měsíců. Stagnace ceny plynu již představuje poněkud dražší variantu, kdy je zapotřebí investovat 496 191,50 Kč a doba návratnosti představuje 25 let a 6 měsíců. Nejméně výhodný je samozřejmě pokles cena zemního plynu. Pokles ceny zemního plynu přímo úměrně zvyšuje potřebné investice i dobu návratnosti. Nejhorší variantu z uvedeného grafu 16 doprovází hodnota investice 502 395,00 Kč, kterou bychom zaplatili za 26 let a 11 měsíců, aby se nám investice vrátila. Jedná se o cyklicky se opakující stagnaci a pokles ceny u obou energií.

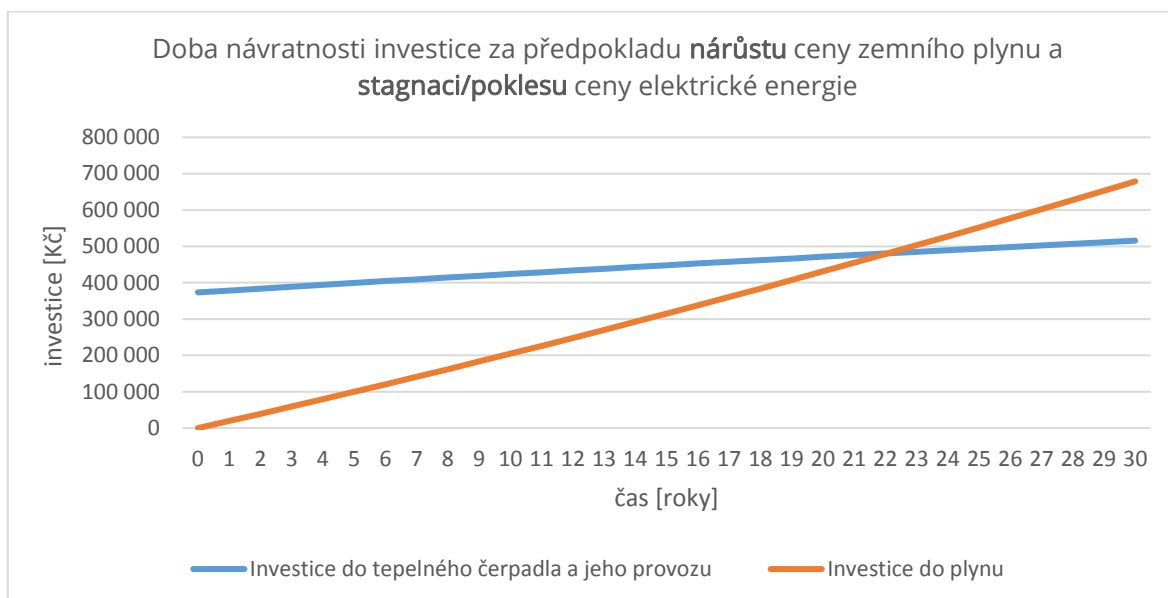


Graf č. 17 – Přehled investic při návratnosti při **nejméně výhodné** variantě vývoje elektrické energie – **nárůst** [vlastní zdroj]

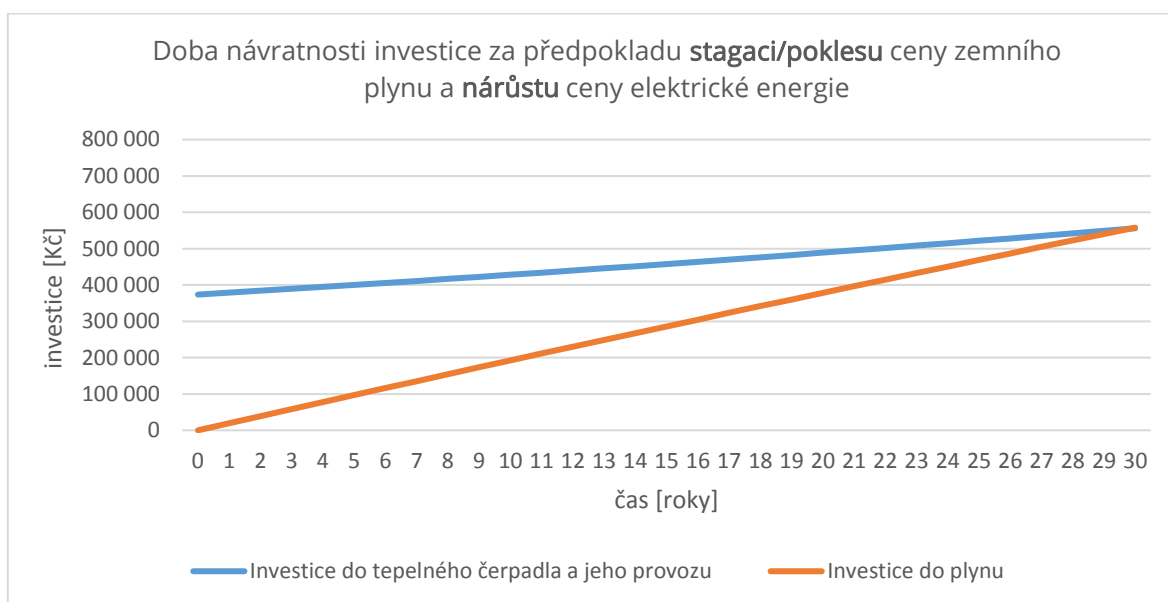
Nejméně výhodná varianta je kombinace nárůstu elektrické energie a cyklicky se opakujícího procesu stagnace a poklesu ceny zemního plynu. Tato kombinace je stejná jako u předchozího zhodnocení nejméně výhodné varianty při vyhodnocení z hlediska vývoje cen zemního plynu s hodnotou investice 553 911,30 Kč a dobou návratnosti 29 let a 10 měsíců. Stagnace ceny plynu ovlivní investici tak, aby její výsledná hodnota činila 540 144,60 Kč a navrácena byla za 29 let a 9 měsíců. Ať už mírný či větší nárůst ceny zemního plynu způsobuje zkrácení doby návratnosti a snížení hodnoty investice. Cyklicky se opakující stagnace a nárůst ceny zemního plynu je příčinou hodnoty investice 516 997,40 Kč, která je navrácena za 24 let a 4 měsíce. Rovnoměrný pokles ceny zemního plynu se podepsal pod hodnotu investice, která činí 510 354,50 Kč při návratnosti do 23 let a 4 měsíců.

Tab. č. 26 – Porovnání kombinací z hlediska vývoje ceny elektrické energie [vlastní zdroj]

| Stagnace/pokles | Rovnoměrný nárůst | Vývoj ceny zemního plynu | Rozdíl v investici | Rozdíl v návratnosti |
|-----------------|-------------------|--------------------------|--------------------|----------------------|
| 496 191,50 Kč   | 540 144,60 Kč     | Stagnace                 | 43 953,1 Kč        | 2 roky 3 měsíce      |
| 502 395,00 Kč   | 553 911,80 Kč     | Stagnace/pokles          | 51 516,8 Kč        | 2 roky 11 měsíců     |
| 484 734,00 Kč   | 516 997,40 Kč     | Stagnace/nárůst          | 32 260,4 Kč        | 1 rok 6 měsíců       |
| 481 375,10 Kč   | 510 354,50 Kč     | Nárůst                   | 28 979,5 Kč        | 1 let 2 měsíce       |



Graf č. 18 – Doba návratnosti při nejvýhodnější variantě [vlastní zdroj]



Graf č. 19 – Doba návratnosti při nejméně vhodné variantě [vlastní zdroj]

Rozdíl nejvýhodnější a nejméně výhodné varianty je **72 536,7 Kč** v celkové investici. S ohledem na dobu návratnosti je rozdíl **7 let a 8 měsíců**. Skutečná cena za investici se tedy pohybuje v rozmezí **481 375,10 Kč** a **553 911,80 Kč**. Návratnost potom mezi **22 lety 2 měsíci** a **29 lety 10 měsíci**. V porovnání vývoje cen bylo zjištěno, že vývoj ceny zemního plynu působí především na větší dobu návratnosti při menších cenových rozdílech v celkové investici, kdežto vývoj cen elektrické energie má za následek spíše větší rozdíly v cenách investice při kratších intervalech rozdílů doby návratnosti.

## 7 ZÁVĚR

Vzhledem k životnosti tepelného čerpadla, která se pohybuje okolo dvaceti let (u různých druhů se může lišit), není investice vhodná pro stávající stav. Ve výpočtu byl zahrnut předpoklad, že v objektu již funguje plynový kotel, do kterého nebylo potřebné investovat. Porovnávány byly pouze náklady na jeho provoz, ale realizace nebyla při výpočtech brána v úvahu, protože v posuzovaném objektu byl realizován. Pokud bychom porovnávali investice i s náklady na realizaci plynového kotle, doba návratnosti investice by mohla být menší až o 6 let a celková investice při návratnosti by se zmenšila o náklady na realizaci plynového kotle, jehož cena se může pohybovat v širokém rozmezí například 40 000 až 70 000 Kč. [35] Pokud by byl předmětem práce objekt, jehož primárním zdrojem energie pro vytápění a ohřev vody by byla elektrická energie, potom by bylo navržení tepelného čerpadla adekvátní možností, přičemž doba návratnosti by se pohybovala v rozmezí 6 až 12 let v závislosti na tepelných potřebách budovy. Každý si ovšem nemůže dovolit investovat větší peníze na tepelné čerpadlo a proto lidé v současné době volí raději variantu zdroje tepla a ohřevu užitkové vody plynový kotel.

Provedením analýzy vývoje cen za posledních 10 let byly navrženy předpoklady pro možné vývoje cen energií v budoucnu. Jedná se o různé možnosti vývoje cen, které poukazují na to, v jaké toleranci by se ceny mohli vyvíjet. Žádný trend, který byl výsledkem analýzy, nemůže v žádném případě udávat budoucí hodnotu ceny dané energie. Vývoj cen energií můžeme předpokládat na blízkou budoucnost, ale nikoli na několik let dopředu. Ceny energií jsou ovlivněné řadou faktorů (cena ropy, cena uhlí, aktuální poptávka nebo nabídka, ekonomické krize...). Proto lidé mnohdy volí variantu fixní ceny od dodavatelů na nějaký čas dopředu.

Investice do obnovitelných zdrojů energií se v dnešní době stává stále více populární. Pro ideální návrh jakéhokoliv obnovitelného zdroje energie ať už pro vytápění objektů či výrobu elektrické energie je vhodné nejdříve provést analýzu, výpočty a stanovit dobu návratnosti. Ta může někoho přesvědčit o vhodnosti investice a někoho naopak odradit.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] SMOLA, Josef, 2011. *Stavba a užívání nízkoenergetických a pasivních domů*. Praha: Grada. Stavitel. ISBN 978-80-247-2995-4.
- [2] DAVORH, 2015. Low energy, passive and zero-energy houses. *Our energy* [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: [https://www.our-energy.com/low\\_energy\\_passive\\_and\\_zero\\_energy\\_houses.html](https://www.our-energy.com/low_energy_passive_and_zero_energy_houses.html)
- [3] RŮŽIČKOVÁ, Gisela, 2017. Čím se vyznačuje nízkoenergetický dům. *Novinky.cz* [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://www.novinky.cz/bydleni/tipy-a-trendy/436424-cim-se-vyznacuje-nizkoenergeticky-dum.html>
- [4] ZÁSADY VÝSTAVBY NÍZKOENERGETICKÝCH DOMŮ, 2007. In: *EkoWATT* [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://ekowatt.cz/cz/informace/uspory-energie/zasady-vystavby-nizkoenergetickych-domu>
- [5] Low Energy Houses, 2009. In: *TIMBER STRUCTURES* [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <http://www.timberstructures.net/low-energy-houses.html>
- [6] POJAR, Petr, 2016. Nízkoenergetický nebo pasivní dům?. *Českéstavby.cz* [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://www.ceskestavby.cz/jak-se-stavi-dum/nizkoenergeticky-nebo-pasivni-dum-24354.html#1>
- [7] *BLOWER DOOR TEST - CO TO JE A K ČEMU SLOUŽÍ?* [online], VEXTA DOMY [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://www.vextadomy.cz/zkousime-nase-domy-blower-door-test>
- [8] POJAR, Petr, Co je energetický štítek a průkaz energetické náročnosti budovy. *ČESKÉSTAVBY.cz* [online]. 2014 [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://www.ceskestavby.cz/clanky/co-je-energeticky-stitek-a-prukaz-energeticke-narocnosti-budovy-23254.html>
- [9] *ODHAD ZDRAVOTNÍCH RIZIK ZE ZNEČIŠTĚNÍ OVZDUŠÍ* [online], In: . s. 26 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: [http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/ovzdusi/dokumenty\\_zdravi/rizika\\_CRI\\_2014.pdf](http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/ovzdusi/dokumenty_zdravi/rizika_CRI_2014.pdf)
- [10] EPSTEIN, Paul R., Jonathan J. BUONOROCE, Kevin ECKERLE, et al., 2011. *Full cost accounting for the life cycle of coal* [online]. [cit. 2019-03-14]. ISSN 0077-8923. Dostupné z: [http://www.coaltrainfacts.org/docs/epstein\\_full-cost-of-coal.pdf](http://www.coaltrainfacts.org/docs/epstein_full-cost-of-coal.pdf)
- [11] BROWN, Austin, Philipp BEITER, Donna HEIMILLER, et al., 2016. *Estimating Renewable Energy Economic Potential in the United States: Methodology and Initial Results* [online]. 124 [cit. 2019-05-03]. Dostupné z: <https://www.nrel.gov/docs/fy15osti/64503.pdf>

- [12] Benefits of Renewable Energy Use, 2017. *Union of concerned scientist* [online]. [cit. 2019-03-14]. Dostupné z: <https://www.ucsusa.org/clean-energy/renewable-energy/public-benefits-of-renewable-power#references>
- [13] Assessing the multiple benefits of clean energy, 2011. *U. S. Environmental protection agency* [online]. 26 [cit. 2019-03-14]. Dostupné z: [https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/accessing\\_the\\_benefits\\_of\\_clean\\_energy.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/accessing_the_benefits_of_clean_energy.pdf)
- [14] Sources of Greenhouse Gas Emissions, 2017. In: *EPA* [online]. [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/ghgemissions/sources-greenhouse-gas-emissions>
- [15] *Onlyzerocarbon* [online], 2018. [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: [http://www.onlyzerocarbon.org/sources\\_co2.html](http://www.onlyzerocarbon.org/sources_co2.html)
- [16] *Normy emisí CO2 pro osobní automobily a dodávky: Rada potvrdila dohodu o přísnějších limitech* [online], 2019. [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <https://www.consilium.europa.eu/cs/press/press-releases/2019/01/16/co2-emission-standards-for-cars-and-vans-council-confirms-agreement-on-stricter-limits/>
- [17] BERANOVSKÝ, Jiří a Jan TRUXA. *Alternativní energie pro váš dům*. 2., aktualiz. vyd. Brno: EkoWATT, 2004. Edice 21. století. ISBN 80-865-1789-6.
- [18] Passive Solar. *Wholesale Solar* [online]. <https://www.wholesalesolar.com/> [cit. 2018-12-14]. Dostupné z: <https://www.wholesalesolar.com/solar-information/how-to-save-energy/passive-solar>
- [19] Aktivní solární systémy. *Ušetřeno* [online]. [cit. 2018-12-16]. Dostupné z: <https://www.usetreno.cz/slovník-pojmu/aktivni-solarni-systemy/>
- [20] Martin Kožík *Studium tepelných poměrů energetického zásobníku pro dlouhodobé ukládání energie v podmínkách klimatu ČR*. Brno, 2017. 55s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce prof. RNDr. Ing. Stanislav Šťastník, CSc.
- [21] ŠKORPÍK, Jiří, *Sluneční záření jako zdroj energie* [online]. [cit. 2018-12-16]. ISSN 1804-8293. Dostupné z: <http://www.transformacni-technologie.cz/02.html#menu>
- [22] BERANOVSKÝ, Jiří, Monika KAŠPAROVÁ, František MACHOLDA, Karel SRDEČNÝ a Jan TRUXA. *Energie slunce - výroba elektřiny*. *EkoWATT* [online]. 2007 [cit. 2018-12-16]. Dostupné z: <https://ekowatt.cz/cz/informace/obnovitelne-zdroje-energie/energie-slunce---vyroba-elektriny>
- [23] AFEROK, Bethel, Microgeneration ALBERTA, Jordan HANANIA, Braden HEFFERNAN, James JENDEN, Kailyn STENHOUSE, Brodie YYELLAND a Jason DONEV, Photovoltaic

- system. *Energy Education* [online]. [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: [https://energyeducation.ca/encyclopedia/Photovoltaic\\_system](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Photovoltaic_system)
- [24] Wind energy basic, *Wind energy development* [online]. [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <http://windeis.anl.gov/guide/basics/>
- [25] VOBOŘIL, David, Biomasa – využití, zpracování, výhody a nevýhody, energetické využití v ČR. *OEnergetice* [online]. [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/biomasa-vyuziti-zpracovani-vyhody-a-nevyhody/>
- [26] QUASCHING, Volker, 2010. *Obnovitelné zdroje energií*. Praha: Grada. Stavitel. ISBN 978-80-247-3250-3
- [27] PETRÁŠ, Dušan, 2001. *Nízkoteplotné vykurovanie a obnovitelné zdroje energie*. Bratislava: Jaga group. Stavitel. ISBN 80-889-0512-5
- [28] Tepelná čerpadla, TZB-info [online]. [cit. 2019-03-14]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla>
- [29] Parametry pro hodnocení efektivity tepelných čerpadel: COP a SCOP, *Tzbinfo* [online]. [cit. 2019-05-03]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/13196-parametry-pro-hodnoceni-efektivty-tepelnych-cerpadel-cop-a-scop>
- [30] POTOČNÍK, P. Tepelná čerpadla s možností chlazení. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 23 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Josef Štětina, Ph.D
- [31] TEPELNÉ ČERPADLO VZDUCH/VODA IVAR.HP ATEC-PLUS, In: *IVAR-CS* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.ivarcs.cz/katalog/tepelna-technika/tepelne-cerpadlo-vzduch-voda-ivar-hp-atec-plus-p140714/>
- [32] Ceník společnosti IVAR-CS, 2018. *IVAR-CS* [online]. 466 [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.ivarcs.cz/storage/PricelistTranslation/1-2000/1-pdfFile-62-file-cenik-10-01-2019-web-CZ.pdf>
- [33] *Kalkulátor cen energií* [online], 2019. *tzbinfo* [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://kalkulator.tzb-info.cz/>
- [34] Ceny energií, *Nazeleno.cz* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.nazeleno.cz/category/energie/ceny-energi/>
- [35] *TOPENILEVNE.CZ* [online], [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://www.topenilevne.cz/kotle-plynove-c2742/>

## SEZNAM TABULEK

|                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tab. č. 1 - Tloušťky tepelné izolace v závislosti na druhu konstrukce [1] .....                     | 11 |
| Tab. č. 2 - Rozdílné požadavky U na pasivní a nízkoenergetický dům [6] .....                        | 13 |
| Tab. č. 3 - Rozdělené technologie zpracování a přípravy biomasy [17] .....                          | 28 |
| Tab. č. 4 - Výhody a nevýhody jednotlivých typů čerpadel [28] .....                                 | 34 |
| Tab. č. 5 – Konstrukční uspořádání skladby podlahy rodinného domu [vlastní zdroj] .....             | 42 |
| Tab. č. 6 – Konstrukční uspořádání skladby obvodové stěny rodinného domu [vlastní zdroj] .....      | 43 |
| Tab. č. 7 – Konstrukční uspořádání skladby stropu rodinného domu [vlastní zdroj] .....              | 44 |
| Tab. č. 8 – Základní údaje pro výpočet celkového součinitele prostupu tepla [vlastní zdroj] .....   | 45 |
| Tab. č. 9 – Základní údaje pro výpočet [vlastní zdroj] .....                                        | 46 |
| Tab. č. 10 – Výpočet tepelných ztrát do vnějšího prostředí [vlastní zdroj] .....                    | 46 |
| Tab. č. 11 – Výpočet tepelných ztrát nevytápěným prostorem [vlastní zdroj] .....                    | 47 |
| Tab. č. 12 – Výpočet tepelných ztrát zeminou [vlastní zdroj] .....                                  | 47 |
| Tab. č. 13 – Celkové ztráty prostupem [vlastní zdroj] .....                                         | 47 |
| Tab. č. 14 – Ztráty větráním [vlastní zdroj] .....                                                  | 48 |
| Tab. č. 15 – Technické parametry čerpadla [32] .....                                                | 50 |
| Tab. č. 16 – Úspory dosažené tepelným čerpadlem [vlastní zdroj] .....                               | 50 |
| Tab. č. 17 – Cenová kalkulace navrženého tepelného čerpadla [32] .....                              | 53 |
| Tab. č. 18 – Rozčlenění fází období 2009 až 2011 [vlastní zdroj] .....                              | 54 |
| Tab. č. 19 – Rozčlenění fází období 2012 až 2015 [vlastní zdroj] .....                              | 55 |
| Tab. č. 20 – Rozčlenění fází období 2016 až 2019 [vlastní zdroj] .....                              | 55 |
| Tab. č. 21 – Rozčlenění fází období 2009 až 2012 [vlastní zdroj] .....                              | 59 |
| Tab. č. 22 – Rozčlenění fází období 2014 až 2017 [vlastní zdroj] .....                              | 59 |
| Tab. č. 23 – Rozčlenění fází období 2018 až 2019 [vlastní zdroj] .....                              | 60 |
| Tab. č. 24 – Porovnání investic a návratnosti v závislosti na kombinacích trendů [vlastní zdroj] .. | 62 |
| Tab. č. 25 – Porovnání kombinací z hlediska vývoje ceny zemního plynu [vlastní zdroj] .....         | 64 |
| Tab. č. 26 – Porovnání kombinací z hlediska vývoje ceny elektrické energie [vlastní zdroj] .....    | 66 |

## SEZNAM GRAFŮ

|                                                                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Graf č. 1 – Teplotní závislost na jednotlivých skladbách konstrukce podlahy a jejich tloušťkách [program teplo 2017].....                      | 42 |
| Graf č. 2 – Teplotní závislost na skladbách konstrukce obvodové stěny a jejich tloušťkách [program teplo 2017].....                            | 43 |
| Graf č. 3 – Teplotní závislost na jednotlivých skladbách konstrukce stropu a jejich tloušťkách [program teplo 2017].....                       | 44 |
| Graf č. 4 – Potřeba energie na provoz objektu [vlastní zdroj] .....                                                                            | 49 |
| Graf č. 5 – Závislost energie [kWh] na venkovní teplotě nebo výkonu na venkovní teplotě [program HPC].....                                     | 51 |
| Graf č. 6 – Závislost energie [kW] na venkovní teplotě nebo výkonu na venkovní teplotě [program HPC].....                                      | 52 |
| Graf č. 7 – Závislost vývoje cen zemního plynu na jednotlivých obdobích za posledních 10 let [33] .....                                        | 54 |
| Graf č. 8 – procentuální vývoj cen plynu během 10 let. [vlastní zdroj] .....                                                                   | 56 |
| Graf č. 9 – Odvozené trendy růstu/poklesu cen zemního plynu [zdroj vlastní].....                                                               | 56 |
| Graf č. 10 – Závislost vývoje cen elektřiny na jednotlivých obdobích za posledních 10 let [33] .....                                           | 58 |
| Graf č. 11 – Přepočtený vývoj ceny tarifu poukazující, kolik stojí 1 kWh [vlastní zdroj] .....                                                 | 58 |
| Graf č. 12 – Procentuální vývoj cen elektrické energie během 10 let. [vlastní zdroj] .....                                                     | 60 |
| Graf č. 13 – Odvození trendů růstu/poklesu cen elektrické energie [zdroj vlastní] .....                                                        | 61 |
| Graf č. 14 – Přehled investic při návratnosti při nejvýhodnější variantě vývoje ceny zemního plynu – nárůst [vlastní zdroj] .....              | 63 |
| Graf č. 15 – Přehled investic při návratnosti při nejméně výhodné variantě vývoje ceny zemního plynu – stagnace/pokles [vlastní zdroj] .....   | 64 |
| Graf č. 16 – Přehled investic při návratnosti při nejvýhodnější variantě vývoje ceny elektrické energie – stagnace/pokles [vlastní zdroj]..... | 65 |
| Graf č. 17 – Přehled investic při návratnosti při nejméně výhodné variantě vývoje elektrické energie – nárůst [vlastní zdroj] .....            | 66 |
| Graf č. 18 – Doba návratnosti při nejvýhodnější variantě [vlastní zdroj].....                                                                  | 67 |
| Graf č. 19 – Doba návratnosti při nejméně vhodné variantě [vlastní zdroj] .....                                                                | 67 |

## SEZNAM OBRAZKŮ

|                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Obr. č. 1 – Požadavky na pasivní a nízkoenergetické domy [4].....                                                     | 12 |
| Obr. č. 2 – Konstrukce obvodové stěny dřevostavby nízkoenergetického domu [5] .....                                   | 13 |
| Obr. č. 3 – Schéma BLOWER-DOOR testu a doporučené hodnoty celkové intenzity výměny<br>vzduchu [7] .....               | 14 |
| Obr. č. 4 – Třídy energetické náročnosti budov [8].....                                                               | 15 |
| Obr. č. 5 – Producenti CO <sub>2</sub> [15] .....                                                                     | 18 |
| Obr. č. 6 – Schéma pasivního a aktivního využití sluneční energie [17].....                                           | 19 |
| Obr. č. 7 – 3 důležité komponenty pro efektivní využívání pasivního systému s využitím sluneční<br>energie [18] ..... | 20 |
| Obr. č. 8 – Fotografie plochého atmosférického (vlevo) a plochého vakuového kolektoru (vpravo)<br>[20] .....          | 22 |
| Obr. č. 9 – Fotografie trubkový dvojitý vakuový kolektor na bázi Sydney trubek [20] .....                             | 22 |
| Obr. č. 10 – Fotovoltaické panely integrované do střešní krytiny [22] .....                                           | 24 |
| Obr. č. 11 – Schéma přečerpávající vodní elektrárny [26] .....                                                        | 30 |
| Obr. č. 12 – Zdroje tepla pro stavební objekty [26].....                                                              | 31 |
| Obr. č. 13 – Pracovní cyklus tepelného čerpadla [26] .....                                                            | 35 |
| Obr. č. 14 – T-S a p-V diagramy zobrazující obrácený Carnotův děj [30] .....                                          | 35 |
| Obr. č. 15 – Schéma principu kompresorového tepelného čerpadla [16].....                                              | 36 |
| Obr. č. 16 – Princip fungování absorpčního tepelného čerpadla [26].....                                               | 37 |
| Obr. č. 17 – Tepelné čerpadlo IVAR.HP ATEC-PLUS - vzduch/voda [31] .....                                              | 50 |

## SEZNAM ZKRATEK

|                         |                                                                                                                                            |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $I$ .....               | celková intenzita slunečního záření                                                                                                        |
| $I_p$ .....             | intenzita přímého slunečního záření                                                                                                        |
| $I_D$ .....             | intenzita difuzního slunečního záření                                                                                                      |
| COP .....               | topný faktor                                                                                                                               |
| $\Phi$ .....            | tepelný výkon tepelného čerpadla                                                                                                           |
| $P_c$ .....             | elektrický příkon kompresoru                                                                                                               |
| $P_{aux}$ .....         | elektrický příkon potřebný pro překonání tlakové ztráty výparníku a kondenzátoru, odtávání výparníku a vlastní regulaci tepelného čerpadla |
| $D$ .....               | tloušťka vrstvy materiálu                                                                                                                  |
| $\lambda$ .....         | návrhová hodnota tepelné vodivosti vrstvy                                                                                                  |
| $c$ .....               | měrná tepelná kapacita                                                                                                                     |
| OH .....                | objemová hmotnost materiálu                                                                                                                |
| $M_i$ .....             | faktor difuzního odporu vrstvy                                                                                                             |
| $M_a$ .....             | počáteční zabudovaná vlhkost ve vrstvě                                                                                                     |
| $R_{si}$ .....          | tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru                                                                                               |
| $R_{se}$ .....          | tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru                                                                                               |
| $T_e$ .....             | návrhová venkovní teplota                                                                                                                  |
| $T_{ai}$ .....          | návrhová teplota vnitřního vzduchu                                                                                                         |
| $RH_e$ .....            | návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu                                                                                              |
| $RH_i$ .....            | návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu                                                                                               |
| $N_{T\check{C},R}$ .... | náklady za provoz tepelného čerpadla za rok                                                                                                |
| $Q_{C,R}$ .....         | celková energie na provoz tepelného čerpadla za rok                                                                                        |
| $C$ .....               | cena za 1 kWh elektrické energie                                                                                                           |
| $\eta$ .....            | účinnost tepelného čerpadla                                                                                                                |
| $N_{PK,R}$ ....         | náklady vynaložené na provoz plynového kotle za rok                                                                                        |
| $Q_{PK}$ .....          | celková energie na provoz plynového kotle                                                                                                  |
| $C_P$ .....             | cena za 1 kWh plynu                                                                                                                        |
| $N_{UR}$ .....          | roční úspora                                                                                                                               |
| $R$ .....               | tepelný odpor                                                                                                                              |
| $U$ .....               | součinitel prostupu tepla                                                                                                                  |
| $A$ .....               | plocha                                                                                                                                     |
| $b_j$ .....             | činitel tepelné redukce                                                                                                                    |
| $O_b$ .....             | obvod budovy                                                                                                                               |
| $A_z$ .....             | zastavěná plocha                                                                                                                           |
| $B'$ .....              | charakteristické číslo budovy                                                                                                              |

$T_u$ ..... teplota v nevytápěném prostoru  
 $e_k$ ..... korekční činitel zahrnující exponování a klimatické podmínky  
 $H_{Tie}$ ..... tepelné ztráty do vnějšího prostředí  
 $H_{Tiu}$ ..... tepelné ztráty nevytápěným prostorem  
 $U_{eq}$ ..... ekvivalentní součinitel prostupu tepla konstrukce v kontaktu se zemínou  
 $f_{g1}$ ..... opravný součinitel, uvažující vliv roční změny průběhu venkovní teploty, stanovena národní hodnota  
 $f_{g2}$ ..... opravný teplotní součinitel, zahrnující rozdíl mezi roční průměrnou venkovní teplotou a výp. Venkovní teplotou  
 $G_w$ ..... opravný součinitel na vliv spodní vody  
 $H_{Tig}$ ..... tepelné ztráty zemínou  
 $V_i$ ..... vytápěný objem zóny  
 $n$ ..... násobnost výměny vzduchu, závisí na typu místnosti  
 $V_{min}$ ..... nejmenší požadované množství vzduchu z hygienických důvodů  
 $n_{50}$ ..... hodnota intenzity výměny vzduchu při rozdílu tlaku 50 Pa zjištěna měřením  
 $\varepsilon$ ..... korekční součinitel na výšku od úrovně terénu  
 $e$ ..... stínící součinitel, závislý na poloze budovy v krajině  
 $V_{inf}$ ..... množství vzduchu, které projde do budovy díky infiltraci pláště  
 $H_{Vi}$ ..... celková měrná ztráta větráním  
 $\Phi V_i$ ..... návrhová tepelná ztráta větráním  
 $T_{es}$ ..... průměrná teplota během otopného období  
 $\Phi T_{HL}$ ..... tepelná ztráta objektu  
 $\eta_0$ ..... účinnost možnosti regulace soustavy  
 $\eta_r$ ..... účinnost rozvodů na vytápění  
 $e_i$ ..... součinitel nesoučasnosti tepelné ztráty infiltrací a prostupem  
 $e_t$ ..... součinitel snížení teploty během dne respektive noci  
 $e_d$ ..... je součinitel zkrácení doby vytápění objektu s přestávkami provozu  
 $\rho$ ..... objemová hmotnost vody  
 $V_{2p}$ ..... denní spotřeba vody  
 $z$ ..... koeficient energetických ztrát  
 $Q_{tuv,r}$ ..... potřeba energie na ohřev vody za rok  
 $Q_{vyt,r}$ ..... potřeba energie na vytápění za rok  
 $Q_r$ ..... potřeba energie za rok

## SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha č. 1: Půdorys a řez posuzovaného rodinného domu
- Příloha č. 2: Informace o pozemku, výřez z katastrální mapy
- Příloha č. 3: Výpočet součinitele prostupu tepla podlahy
- Příloha č. 4: Výpočet součinitele prostupu tepla obvodové stěny
- Příloha č. 5: Výpočet součinitele prostupu tepla stropu
- Příloha č. 6: Tabulky koeficientů pro výpočet tepelných ztrát
- Příloha č. 7: Výpočty kombinací návratnosti a investic