

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
ENERGY INSTITUTE

## POROVNÁNÍ UPLATNĚNÍ PV SYSTÉMU A TČ V ENERGETICKÉM ZÁSOBOVÁNÍ RD

COMPARATIVE STUDY OF PV AND HEAT PUMP IN DOMESTIC ENERGY SUPPLY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

MICHAL KIŠA

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ POSPÍŠIL, Ph.D.



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2011/12

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Michal Kiša

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Energetika, procesy a ekologie (3904R030)**

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 bakalářské práce:

### **Zhodnocení uplatnění PV systému a TČ v energetickém zásobování RD**

v anglickém jazyce:

#### **Comparative study of PV and heat pump in domestic energy supply**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce je zaměřena na posouzení uplatnění fotovoltaického systému a tepelného čerpadla v energetickém zásobování rodinného domu. Konkrétně bude proveden návrh fotovoltaického systému a tepelného čerpadla pro zvolený objekt včetně technicko-ekonomického posouzení předpokládaného provozu.

Cíle bakalářské práce:

1. Popište vybraný objekt a současný stav zásobování elektrickou energií a teplem.
2. Navrhněte solární systém pro výrobu elektrické energie.
3. Navrhněte zapojení TČ do systému zásobování teplem zvoleného objektu.
4. Proved'te technicko-ekonomické zhodnocení navrženého řešení.

Seznam odborné literatury:

Petráš Dušan, Obnovitelné zdroje energie pro nízkoteplotné systémy, 2009

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/12.

V Brně, dne 18.11.2011



doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.  
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan

## **ABSTRAKT**

Práce se zabývá využitím tepelného čerpadla a fotovoltaického systému na konkrétním rodinném domě. Objasňuje základní pojmy z oblasti tepelných čerpadel, fotovoltaiky a jejich aplikaci na rodinném domě.

V popisu rodinného domu jsou zmíněny základní parametry, popis stávajícího systému. Jsou vyčísleny potřeby tepla k vytápění a ohřevu TUV podle teoretických hodnot a porovnány se skutečnými.

Praktická část se zabývá návrhem tepelného čerpadla a fotovoltaického systému. Dále jsou vyčísleny pořizovací, provozní náklady a z toho plynoucí návratnosti v porovnání s krbovou vložkou s akumulací nádrží a integrovaným elektrickým topným tělesem.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Tepelné čerpadlo, fotovoltaika, rodinný dům, zásobování teplem, zásobování elektřinou, náklady, návratnost investice

## **ABSTRACT**

This thesis focuses on the utilization of a heat pump and photovoltaic system on specific residential house. It clarifies the basic concepts of the heat pumps, photovoltaics and their application on a house.

In the description of the house there are mentioned basic parameters, a description of the existing system. There are heat demands calculations for house heating and water heating, calculated according to the theoretical values and these are compared with the actual values.

The practical part deals with the design of heat pump and photovoltaic system. Also there are assesses of the purchase prices, the operational costs and the following investment returnability in comparison with a fireplace insert with accumulation storage and an integrated electrical heating element.

## **KEYWORDS**

Heat pump, photovoltaic, residential house, heat supply, electricity supply, costs, return on investment



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

KIŠA, M. *Zhodnocení uplatnění PV systému a TČ v energetickém zásobování RD*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 52s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. JIŘÍ POSPÍŠIL, Ph.D.





## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem a zpracoval jsem ji samostatně s použitím odborné literatury uvedené v seznamu, svých znalostí a odborných konzultací.

V Brně dne 25. května 2012

.....

Michal Kiša



## **PODĚKOVÁNÍ**

Rád bych poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Jiřímu Pospíšilovi Ph.D. za ochotnou spolupráci, cenné připomínky a odborné konzultace. Dále bych chtěl poděkovat svému bratrovi za poskytnutí informací a hodnot o rodinném domu.



## OBSAH

<b>Úvod</b> .....	<b>15</b>
<b>1 Fotovoltaika</b> .....	<b>16</b>
1.1 Sluneční energie .....	16
1.2 Fotoelektrický jev .....	17
1.3 Výroba a rozdělení fotovoltaických článků .....	18
1.4 Fotovoltaické systémy.....	18
1.4.1 Ostrovní systém .....	18
1.4.2 Systém připojený k síti.....	19
<b>2 Tepelné čerpadlo</b> .....	<b>21</b>
2.1 Princip TČ .....	21
2.2 Topný faktor .....	22
2.3 Zdroj tepla a typy TČ .....	23
2.4 Provoz tepelného čerpadla .....	23
2.4.1 Monovalentní provoz .....	23
2.4.2 Bivalentní provoz .....	23
<b>3 Popis rodinného domu</b> .....	<b>25</b>
3.1 Popis vytápění objektu .....	26
3.1.1 Zabezpečení systému .....	26
3.1.2 Bezpečnostní směšovací uzel .....	26
3.1.3 Ekvitermní regulace .....	26
3.2 Tepelné ztráty objektu.....	28
3.3 Roční potřeba tepla .....	28
3.3.1 Náklady na vytápění, ohřev teplé vody a provoz rodinného domu za rok 2011	30
3.3.2 Skutečná potřeba tepla za rok 2011 .....	31
<b>4 Návrh zvolených zdrojů k zásobování rodinného domu</b> .....	<b>32</b>
4.1 Návrh fotovoltaického systému .....	32
4.1.1 Volba panelu.....	32
4.1.2 Výpočet fotovoltaického systému .....	33
4.2 Návrh tepelného čerpadla.....	36
4.2.1 Volba tepelného čerpadla.....	36
4.2.2 Popis tepelného čerpadla.....	36
4.2.3 Výpočet nákladů .....	37
<b>5 Ekonomické zhodnocení</b> .....	<b>39</b>
5.1 Ekonomické zhodnocení tepelného čerpadla .....	39
5.1.1 Návrh návratnosti bez zvyšování cen energie .....	40

5.1.2	Náklady a návratnost s rostoucími cenami energie .....	40
5.1.3	Náklady a návratnost s rostoucími cenami energie pro 4 osoby .....	41
5.2	Ekonomické zhodnocení fotovoltaického systému.....	42
5.2.1	Návratnost bez zvyšování cen energií a zelených bonusů .....	42
5.2.2	Náklady a návratnost se zvyšováním cen energií a zelených bonusů.....	42
5.3	Vyhodnocení nejlevnější metody k vytápění před započítáním stavby domu .....	45
<b>Závěr.....</b>		<b>47</b>
<b>Seznam použitých zkratek a symbolů .....</b>		<b>51</b>

## ÚVOD

V současnosti se primárně využívají fosilní paliva, jako jsou ropa, zemní plyn, černé a hnědé uhlí, které při svém energetickém využití vypouští obrovské množství škodlivin do ovzduší. S tím souvisejí klimatické změny, které už nelze dále přehlížet. Je potřeba se na tento problém globálně zaměřit a najít vhodná řešení k redukci vyprodukovaných škodlivin a najít cestu k omezení využívání fosilních paliv. Nejen, že nás škodliviny ohrožují na zdraví, ale také narušují rovnováhu atmosféry a vytváří skleníkový efekt. Dochází také k ztenčování světových zásob, které mají za následek neustálé zdražování všech druhů energií, paliv a služeb. Proto se čím dál více lidí začíná zajímat o to, jak tyto škodlivin a náklady za paliva redukovat. Je tedy rozumné vydat se správnou cestou a snažit se nalézt alternativní zdroje elektřiny a tepla. S tím úzce souvisí využívání obnovitelných zdrojů energií, ze kterých bychom mohli získat takové množství energie, které ani nejsme schopni spotřebovat.

Využíváním ekologičtějších a ekonomičtějších zdrojů jako jsou tepelná čerpadla a fotovoltaické systémy snižujeme vypouštění škodlivin, ale také nám tyto zdroje, i přes velké počáteční investice ušetří peníze vynaložené k provozu rodinného domu. Vytápěním pomocí tepelného čerpadla snížíme provozní náklady k vytápění i ohřevu teplé užitkové vody (TUV). Provozování fotovoltaického systému je i přes čím dál méně výhodné dotace výkupu elektrické energie stále ekonomicky výhodné a investované peníze se nám za dobu životnosti vrátí dvojnásobně až třinásobně. Pravdou je, že tyto systémy nelze využít kdekoliv. Je potřeba splňovat legislativní požadavky, ale především být v lokalitě, kde lze tyto systémy využívat a nejlépe tak, aby dosahovaly co největší efektivity.

V první části práce se budu věnovat klíčovým informacím o tepelných čerpadlech a fotovoltaických systémech, jejich principu a rozdělení tak, aby čtenář získal základní informace a přehled. Budou také uvedeny základní parametry rodinného domu, jako je popis otopného systému, jeho regulace, bezpečnostní prvky a spotřeba elektřiny a dřeva. V praktické části této práce budou uvedeny výpočty ke stanovení potřeby tepla k vytápění a ohřevu TUV na konkrétní rodinný dům s tepelnými ztrátami 6,3 kW, který je umístěn v blízkosti pohoří Beskyd v obci Metylovice. Dále se budu zabývat návrhem fotovoltaického systému a tepelného čerpadla a jejich ekonomickému porovnání se stávajícím systémem, kterým je krbová vložka s teplovodním výměníkem a akumulací nádrží s elektrickým topným tělesem.

# 1 FOTOVOLTAIKA

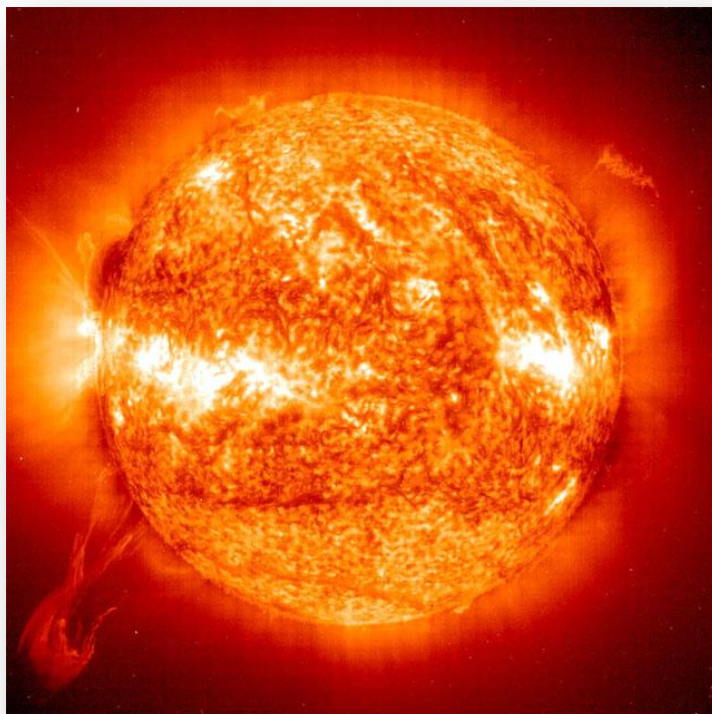
Při procesu přeměny slunečního záření na stejnosměrný elektrický proud se využívají fotovoltaické články, ve kterých probíhá přímá přeměna na základě fotoelektrického jevu. Jelikož výkon, napětí i proud jediného článku je velice malý pro využití v praxi, proto se fotovoltaické články spojují sériově a paralelně. Takto spojené články vytváří fotovoltaické panely s požadovanými výstupními parametry. [1]

## 1.1 Sluneční energie

Slunce se nachází ve středu sluneční soustavy, ve které svou dominantní hmotností zabírá 99,8 % a je 330 000 krát větší než samotná hmotnost Země. Jedná se o žhavou kouli plynů cca ze 74 % vodíku, 23 % hélia a 3 % ostatních prvků. Slunce je obrovský zdroj energie, který září 4,65 miliard let, a podle odhadů jsou zásoby vodíku na dalších 10 miliard let.

Uvnitř Slunce neustále probíhá jaderná fúze. Za teploty vyšší než  $10^7$  K dochází k přeměně vodíku na hélium a do okolí se uvolňuje energie o výkonu  $4 \times 10^{26}$  W. I přes obrovskou vzdálenost od Slunce na Zemi dopadá energie ve formě elektromagnetického záření o síle  $I_0 = 1,36 \text{ kW/m}^2$  – jedná se o sluneční konstantu. [2]

Při průchodu atmosférou se část dopadající energie pohltí či odrazí. Na povrch Země tedy dopadá tepelný tok  $I = 1 \text{ kW/m}^2$ , který je složen z přímého a difuzního záření. Této hodnoty lze dosáhnout za jasné oblohy v závislosti na ročním období a zeměpisné šířce. Pokud je obloha pokryta mraky, tak se tepelný tok  $I$  pohybuje v desítkách wattů ve formě difuzního záření.



*Obr. 1.1 Slunce [3]*



## 1.2 Fotoelektrický jev

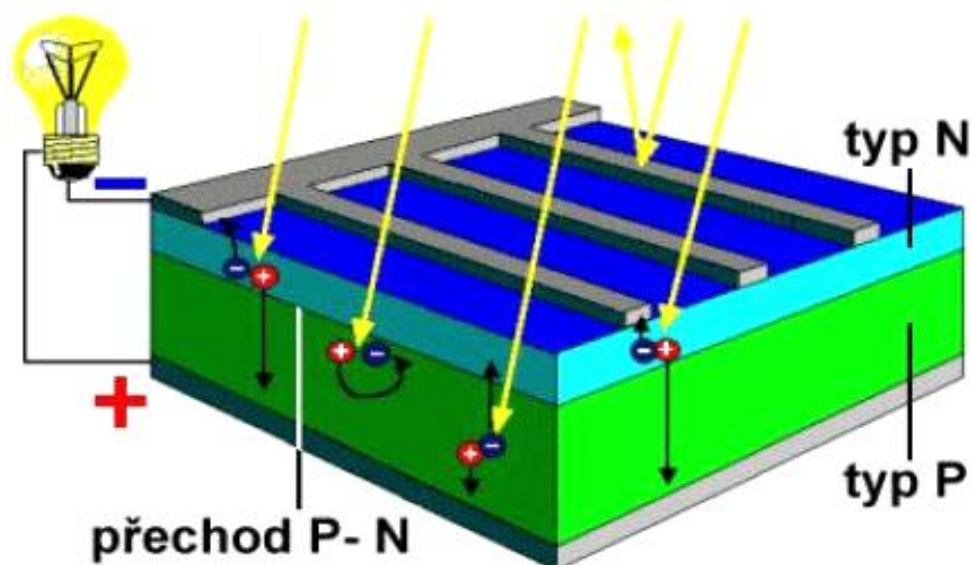
Byl poprvé objeven v roce 1839. Je to proces, při němž jsou uvolňovány elektrony z látky důsledkem působení elektromagnetického vlnění (sluneční paprsky). [1]

K tomu, abychom vytvořili elektrický proud, je zapotřebí rozpochybovat elektrony pomocí slunečního záření, tedy fotonů, a usměrnit jejich tok potřebným směrem. Fotony o dostatečné energii (minimálně 1,12 eV, tedy o vlnové délce maximálně 1 105 nm) dokážou předat svou energii elektronu v kovu nebo polovodiči a tím je uvolnit z povrchu. Po uvolnění elektronu zůstane v materiálu kladný náboj (díra). Takto uvolněný elektron je potřeba odvést pryč, jinak bude přitážen zpět do díry a energie potřebná k tomuto procesu bude přeměněna na teplo. Je tedy nutné, aby byl elektron usměrněn správným směrem a vykonal práci na spotřebiči. [1]

Tento proces se nejlépe realizuje pomocí polovodičů, ve kterých je nutné vytvořit PN přechod. PN přechod lze nejlépe vysvětlit na křemíku, který na rozdíl od kovů nemá žádné volné elektrony. Volné elektrony jsou totiž vázány kovalentními vazbami a je potřeba dodat malé množství energie, aby došlo k jejich uvolnění. [1]

Vodivost křemíku se dá výrazně pozměnit pomocí příměsi jako fosforu nebo boru. Přidáním fosforu do křemíku dostaneme polovodič typu N, který obsahuje nadbytečné elektrony a stane se více vodivým než samotný křemík. Přidáním boru do křemíku dostaneme polovodič typu P, který obsahuje nadbytečná místa pro elektrony (díry). Na místě spojení těchto dvou polovodičů vznikne elektrická bariéra, takzvaný PN přechod, který zabraňuje volnému přechodu elektronů mezi polovodiči typu P a N. Volné elektrony mohou snadno přecházet z vrstvy P do vrstvy N, ale naopak už ne. [1]

Při dopadání slunečního záření na povrch PN polovodiče vznikají volné elektrony a díry, které jsou oddělovány pomocí PN přechodu, elektrony putují do vrstvy N (záporný pól) a díry do vrstvy typu P (kladný pól). Pomocí vnějších kontaktů se nahromaděné volné elektrony ve vrstvě N mohou vydat ke spotřebiči, na kterém odevzdají elektrickou energii a navrátí se do vrstvy typu P. [1]



Obr. 1.2 Princip fotovoltaického článku [4]

### 1.3 Výroba a rozdělení fotovoltaických článků

Články se vyrábějí z polovodičových materiálů jako je křemík (křemičitý písek), arsenid galitů, diselenid mědi a india a telurid kadmia. Nejčastěji se používá křemičitý písek, který se upravuje na čistý křemík a následně se různými metodami vyrábí fotovoltaické články. [5]

Fotovoltaické články můžeme rozdělit na:

- Monokrystalické – jsou vyrobeny z jednoho krystalu
- Polykrystalické – jsou vyrobeny z více krystalů náhodně orientovaných
- Amorfnní – jsou vyrobeny z tenké křemíkové vrstvy

#### Monokrystalické články

Fotovoltaické panely s monokrystalickými články jsou v našich podmínkách hojně využívány. Vyrábí se Czocharlského metodou (na tyč se uchytí zárodek, který se ponoří do roztaveného čistého křemíku a pomalu se tyč s monokrystalickým křemíkem vytahuje) z ingotů (tyčí) polykrystalického křemíku. Následně se rozřeže na tenké plátky. Délka tyče je až 1m s průměrem až 100 mm. Účinnost monokrystalického článku (13-17 %) je vyšší než u ostatních článků, ale zároveň je vyráběn nejdražší metodou. [1][5]

#### Polykrystalické články

Tyto články se vyrábí odléváním čistého křemíku do forem a následným řezáním na tenké plátky. Metoda odléváním je podstatně jednodušší, levnější a rychlejší než Czocharlského metoda. Jelikož formy mohou být v libovolných tvarech (čtverec, obdélník), není zde tolik odpadu. Při tomto procesu články nedosahují takových účinností (okolo 14 % a postupem času klesá) jako monokrystalické články, ale zásadní výhodou je podstatně levnější výroba. [1]

#### Amorfnní články

Největší výhodou amorfnního článku je, že při výrobě se spotřebuje podstatně menší množství křemíku, tím pádem je jejich výroba ještě levnější. Na nosnou plochu skla nebo plastu se napařuje tenká křemíková vrstva ve vodíkové atmosféře. Nanesená vrstva křemíku nemá pravidelnou krystalickou strukturu, které říkáme amorfnní. Účinnost amorfnního článku se pohybuje kolem 7 %. [1]

### 1.4 Fotovoltaické systémy

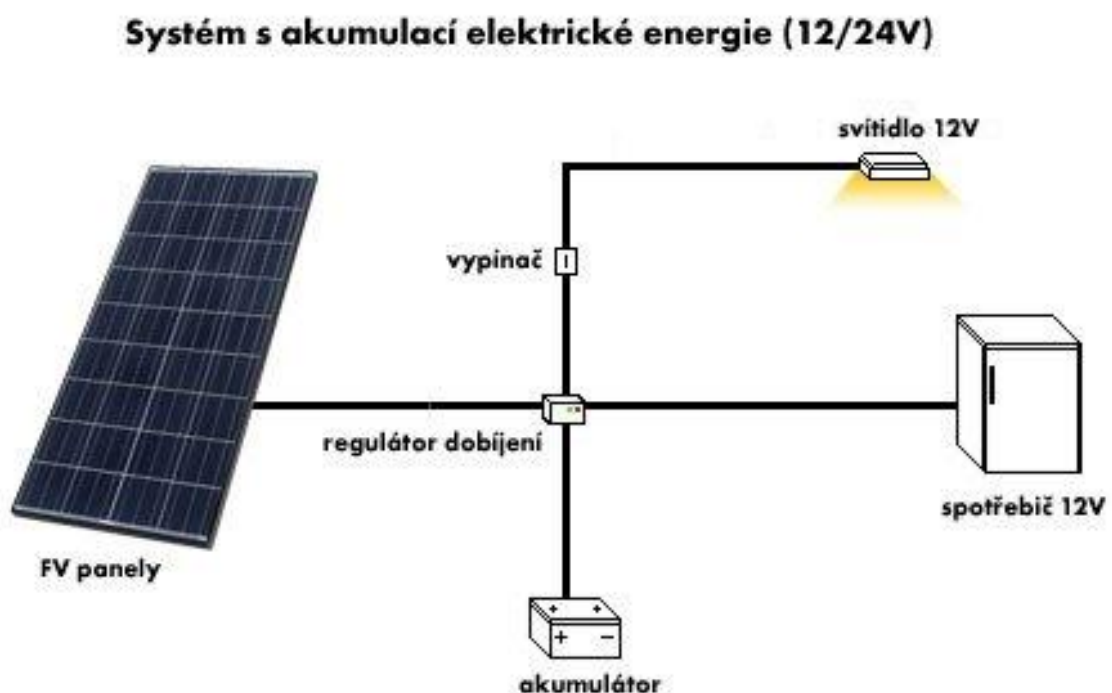
Fotovoltaické systémy je možné rozdělit podle způsobu jejich zapojení na ostrovní systém (off-grid) a síťový systém připojený k distribuční síti (on-grid).

#### 1.4.1 Ostrovní systém

Jedná se o nezávislý systém a to takový, který nepotřebuje získávat elektřinu z distribuční sítě nebo to není možné z důvodu umístění. Zpravidla se využívá na odlehlých místech vzdálených od distribuční sítě, kde pořizovací náklady malého fotovoltaického systému jsou levnější než propojování s distribuční sítí nebo pořízení diesel agregátu. Je taky hojně využíván pro drobné aplikace, obytné vozy či jachty. [5]

Ostrovní systém potřebuje ke svému provozu zásobník energie, tedy akumulátor, který zajišťuje provoz při zhoršených slunečních podmínkách a zajišťuje napájení v noci. Akumulátor je chráněn nabíjecím regulátorem, který jej chrání před poškozením, přebíjením nebo vybitím. Jeho funkce je prostá. Při vybití akumulátoru regulátor odpojí spotřebič, aby nedošlo k úplnému vybití. Naopak při plně nabitém akumulátoru regulátor odpojí fotovoltaický modul, aby nedocházelo k přebíjení. [5]

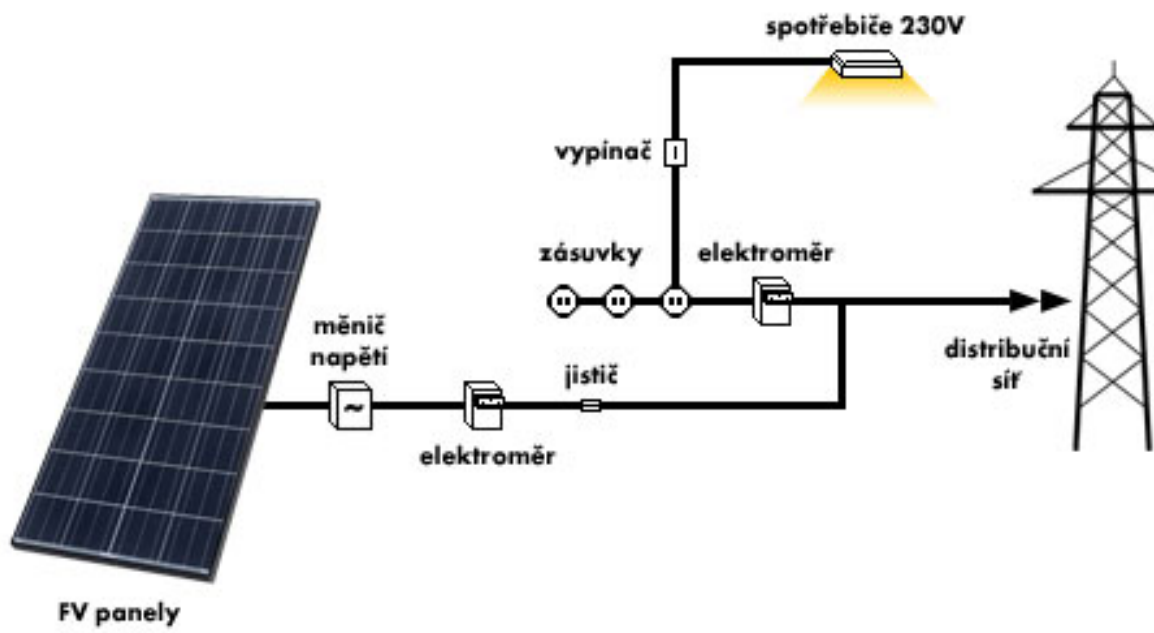
Je důležité klást důraz na co nejúspornější spotřebiče, abychom potřebovali co nejmenší výkon FVS a zachovali co nejnižší pořizovací náklady. Využívá se stejnosměrného napětí 12 V nebo 24 V a spotřebičů, které pracují na stejném napětí. Využíváním výkonnějších spotřebičů by docházelo k větším ztrátám v obvodech a ztrátám vlivem transformování stejnosměrného napětí na střídavé a výrazně by se to projevilo na pořizovacích nákladech. [5]



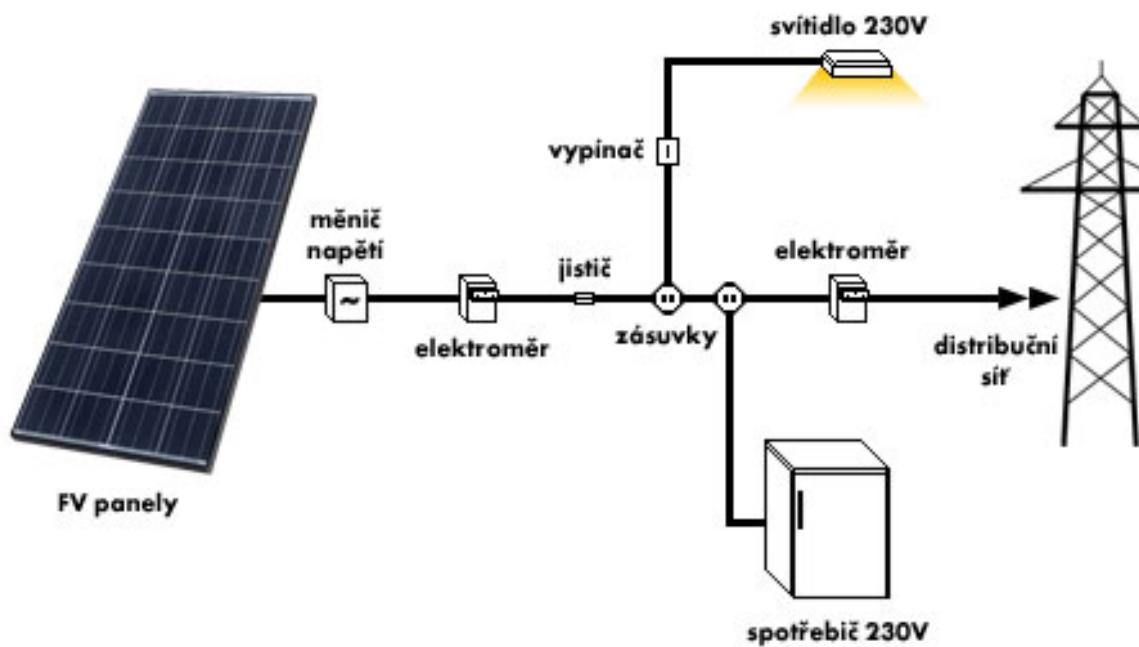
Obr. 1.3 Schéma ostrovního systému [6]

#### 1.4.2 Systém připojený k síti

Na rozdíl od ostrovních systémů se nepotýkáme s nedostatkem elektrické energie, a proto nepotřebujeme akumulátory k uskladnění elektrické energie. Tyto systémy se staví z jiných důvodů a to pro jejich ekologický přínos (snížení emisí CO<sub>2</sub>), snížení nákladů za elektrickou energii a případně pro zisk. Budují se na volných plochách průmyslových budov, na rodinných domech nebo zemních plochách. Takto vyrobená energie se může výhradně prodávat za výkupní cenu do distribuční sítě nebo se může využívat k vlastní spotřebě a prodat případné přebytky, které nejsme schopni využít. Využívání vyprodukované elektrické energie k vlastní spotřebě nám nejen šetří peníze, které bychom museli vynaložit k jejímu nákupu, ale navíc za tuto energii pobíráme dotaci ve formě zelených bonusů, jelikož do ovzduší nevypouštíme žádné emise. [5]



Obr. 1.4 Schéma přímého zapojení do sítě [6]



Obr. 1.5 Schéma vlastního odběru a prodávání přebytků do sítě [6]

## 2 TEPELNÉ ČERPADLO

V posledních letech dochází zásoby a stoupají ceny primárních energetických zdrojů, také je větší zájem o ochranu životního prostředí, což má za následek hledání levnějších alternativních zdrojů. Tepelné čerpadlo je jedním z nich, i když je známo už od roku 1852, kdy jeho princip objevil britský profesor fyziky lord Kelvin. Do popředí se dostává až v posledních letech, kdy jej začíná využívat stále více lidí. V praxi se používají kompresorová, absorpční a adsorpční TČ. Dále se budu zabývat jen kompresorovými tepelnými čerpadly. [5]

### 2.1 Princip TČ

Tepelné čerpadlo pracuje podle obráceného Carnotova cyklu stejně jako lednička, která odebírá teplo z vnitřního prostoru ledničky, tím je tento prostor ochlazován a přes kondenzátor (výměník) ho předává do vnějšího prostoru a ten je ohříván. Tepelné čerpadlo využívá energii získanou z okolního prostředí (země, voda, vzduch) a získané teplo předává k vytápění nebo k ohřevu teplé vody. [5]

Využívá nízkopotencionální zdroj, který nelze přímo využít k vytápění nebo ohřevu vody a proto je potřeba tuto energii převést na vyšší teplotní úroveň s pomocí elektrické energie. Jelikož potřebuje ke svému provozu dodat elektrickou energii, a není to hodnota zanedbatelná, lze tepelné čerpadlo považovat pouze za částečně obnovitelný zdroj. Za obnovitelný zdroj by jej šlo považovat pouze v případě, kdyby odebíralo tzv. zelenou energii, získanou z větrné, vodní či solární elektrárny. V našich podmínkách se však jedná z velké části o energii získanou z uhelných a částečně jaderných elektráren, proto jej budeme nazývat alternativním zdrojem. [7]

Pro práci TČ je nutné, aby byl v okolním prostředí nízkopotenciální zdroj. Efektivnost závisí na teplotě tohoto zdroje, respektive čím vyšší bude teplota, tím vyšší bude účinnost TČ.

### Technický pohled na princip TČ

TČ se skládá ze 4 základních částí: výparník, kompresor, kondenzátor a škrťací ventil.

#### Výparník

Výparník je výměník, ve kterém se setkává nízkopotenciální teplo zvenčí s chladivem v podobě páry. Dochází k jeho ohřívání a tím získává energii z přivedeného tepla. Pára je dále předávána do kompresoru. [8]

#### Kompresor

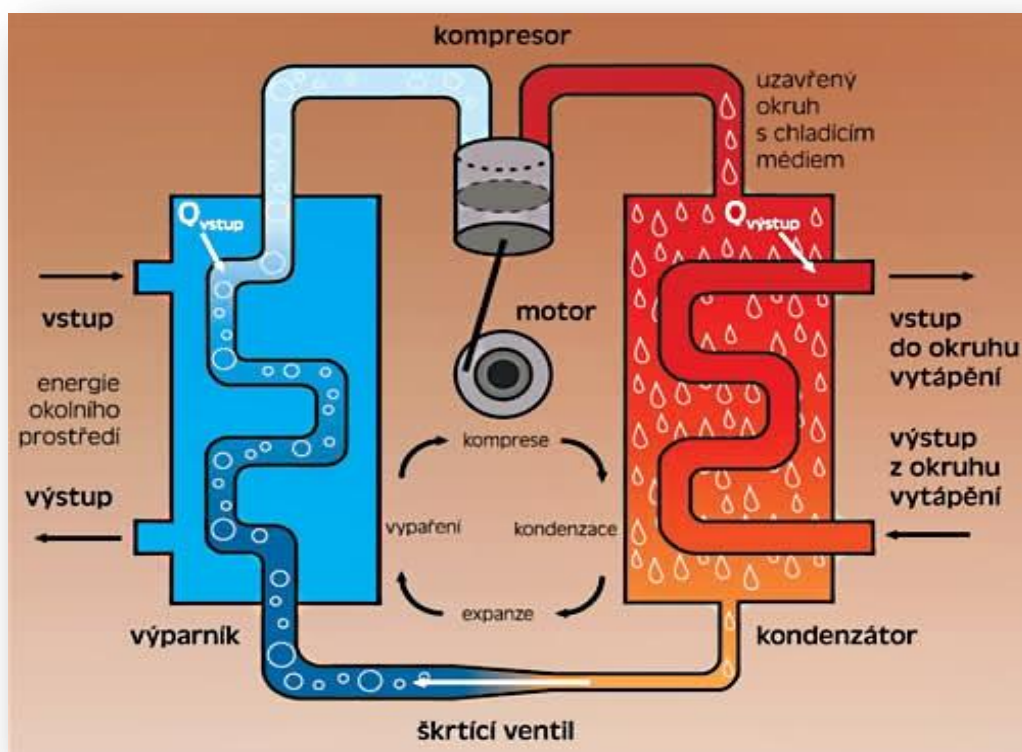
Kompresor stlačuje nasáté páry chladiva z výparníku, zahřáté jen o několik málo stupňů. Při rychlém stlačení se prudce zvětší teplota a tlak. [8]

#### Kondenzátor

V kondenzátoru se předává získané teplo pomocí výměníku do chladnějšího topného média, tímto předáním se chladivo ochlazuje a kondenzuje. [8]

#### Škrťací ventil

Ochlazené kapalně chladivo z kondenzátoru se za vysokého tlaku vstříkuje přes škrťací ventil do výparníku, kde je nižší tlak, který způsobí okamžité odpařování chladiva a celý proces se opakuje. [8]



Obr. 2.1 Princip tepelného čerpadla [9]

## 2.2 Topný faktor

Topný faktor (Coefficient of Performance) je bezrozměrná hodnota, která určuje poměr mezi vyprodukovaným teplem a dodanou energií (pro pohon kompresoru). Obvyklá hodnota se pohybuje mezi 2 – 5, čím je vyšší, tím je práce TČ efektivnější. Např. pokud má TČ topný faktor 3, dokáže z 1 kW el. energie vyrobit 3 kW tepla. Tyto hodnoty však platí pro okamžitý výkon. [7]

Topný faktor je závislý na teplotě nízkopotencionálního zdroje, teplota tohoto zdroje se mění v závislosti na ročním období, nejcitelnější je v tomto případě TČ na vzduch, u kterého je znatelný výkyv teplot. V létě, kdy teplo nepotřebujeme, tak topný faktor dosahuje maximálních hodnot, naopak v zimě, kdy teplo potřebujeme, tak hodnota topného faktoru klesá na minimum. Z toho vyplývá, že v zimě je potřeba záložní zdroj k pokrytí tepelných ztrát v období mrazivých dnů. [7]

$$\varepsilon_T = \frac{Q}{P} \quad (2.1)$$

$\varepsilon_T$  - topný faktor [-]

$Q$  - získané teplo [kWh]

$P$  - dodaná energie pro pohon tepelného čerpadla [kWh]

## 2.3 Zdroj tepla a typy TČ

TČ využívá nízkopotencionální zdroj, který se nachází všude kolem nás, a to v obrovském množství. Nejčastěji se jedná o vzduch, vodu, zem, ale je také možné využívat odpadní teplo. Tento zdroj se převádí na vyšší teplotní úroveň do jiné teplotnosné látky vzduchu nebo vody, kterou dále využíváme.

Na výběr se nám dostává hned z několika typů, které se značí podle toho, odkud teplo získávají a do jakého média teplo předávají. Udává se ve tvaru např. vzduch/voda, přičemž slovo před lomítkem znamená, že teplo je odebíráno ze vzduchu a slovo za lomítkem udává médium, kterému je získané teplo předáváno. [5]

- TČ země/voda – teplo je získáváno z geotermálních vrtů nebo plošného kolektoru umístěného pod povrchem země, ohříváné médium je voda.
- TČ voda/voda – velmi účinné, ke svému využití potřebuje podzemní vodu, ze které odebírá teplo přímo nebo nepřímo a předává jej do vody.
- TČ vzduch/voda – teplo se získává z okolního vzduchu, dosahuje tedy nižší účinnosti, na druhou stranu je použitelné prakticky kdekoli. Teplo je předáváno do vody.
- TČ vzduch/vzduch – odebírá teplo opět ze vzduchu, jeho účinnost je nízká a používá se pro nízkoenergetické a pasivní domy. Ohříváné médium je vzduch.

## 2.4 Provoz tepelného čerpadla

Rodinné domy se vytápí tak, aby vnitřní teplota dosahovala 20 °C i při venkovních teplotách hluboko pod bodem mrazu. V zimním období, kdy teploty dosahují těchto mrazivých hodnot, se tepelná čerpadla obvykle dimenzují na výkon pro bivalentní provoz nebo se dimenzují na výkon odpovídající 100 % tepelné ztráty budovy a jedná se o monovalentní provoz. V případě ohřevu teplé vody nebo ohřevu vody v bazénu se TČ dimenzují na vyšší výkon tak, aby pokryla veškeré požadavky. [7]

### 2.4.1 Monovalentní provoz

Tento druh provozu se využívá tam, kde se tepelné ztráty objektu pohybují do 10 kW. TČ pokryje veškeré požadavky domu, odpadají další pomocné zdroje tepla a s tím spojené pořizovací i provozní náklady. [7]

### 2.4.2 Bivalentní provoz

V průběhu roku se teplota odvíjí od ročního období. V létě není potřeba topit a naopak v zimě požadavky rostou na maximum. V těchto případech by se TČ muselo dimenzovat na tento maximální výkon, z ekonomického hlediska je to neefektivní (výkonnější TČ, účinnější nízkopotencionální zdroj) a zvyšují se jak počáteční, tak i provozní náklady. Proto se většina TČ dimenzuje na výkon odpovídající 50-80% tepelných ztrát budovy. [7]

TČ je vhodné dimenzovat tak, aby pokrylo většinu nákladů přes otopné období, a k pokrytí špičkových výkonů se využije bivalentní zdroj (elektrokotel, křbová vložka, plynový kotel), takhle navržený systém se nazývá paralelně bivalentní provoz. [10]

Je také možné využít alternativně bivalentní provoz a to tak, že TČ se při dosažení bodu bivalence vypne a začne se využívat bivalentního zdroje, který je navržen tak, aby pokryl veškeré tepelné ztráty. [10]

Stejně tak funguje částečně paralelně-bivalentní provoz, jen při dosáhnutí bodu bivalence se tepelné čerpadlo vypne, až po najetí záložního zdroje (kotle) na požadovaný výkon a veškerou potřebu pokrývá záložní zdroj. [10]



### 3 POPIS RODINNÉHO DOMU

Rodinný dům byl postaven v Moravskoslezském kraji v obci Metylovice před 3 lety. Skládá se z jednoho podlaží a podkroví, celkově se čtyřmi místnostmi, dvěma sociálními zařízeními a kuchyní. Dům je částečně podsklepen. Celková obytná plocha činí 155 m<sup>2</sup>. Celková střešní plocha činí 144 m<sup>2</sup> se sklonem 45 ° a orientací 40 ° jihozápadně. Novostavba je postavena z cihel Porotherm 40 P+D, obvodové zdi jsou zatepleny polystyrénem o tloušťce 100 mm, střecha je zateplena skelnou vatou o tloušťce 330 mm. V celém domě jsou použita plastová okna.

Dům využívá distribuční sazbu D26d od skupiny ČEZ, tato sazba je určena pro domy s akumulčním vytápěním a ohřevem TUV. K vytápění a ohřevu TUV se využívá výhradně nízký tarif, který běží po dobu 8 hodin v noci, vysoký tarif se využívá k běžnému provozu domácnosti.



*3.1 Rodinný dům v obci Metylovice*

### 3.1 Popis vytápění objektu

První podlaží domu se vytápí podlahovým topením a krbovou vložkou, v podkroví jsou instalována otopná tělesa. Primárním zdrojem tepla je krbová vložka s teplovodním výměníkem, pracujícím s nuceným oběhem vody. Sekundárním zdrojem je el. topné těleso (6 kW/400 V) umístěné v akumulární nádrži ANE 500 TUV + S o objemu 500 l, nádrž slouží k vytápění, ohřevu teplé vody a skladování nadbytečného tepla pro pokrytí doby vytápění ve vysokém tarifu. Uvnitř akumulární nádrže najdeme dva výměníky, v horní části se nachází výměník (průtokový) k ohřevu TUV o délce potrubí 50 bm, který je napojen na termický směšovací ventil, ve kterém se upravuje teplota vody na 45 °C, v dolní části je solární výměník o délce potrubí 25 bm, který se prozatím nevyužívá. Do akumulární nádrže se přivádí voda o teplotě 60 °C přes bezpečnostní směšovací uzel.

#### 3.1.1 Zabezpečení systému

Bezpečnost systému zajišťuje uzavřená expanzní nádoba o objemu 50 l, pojišťovací ventily a bezpečnostní směšovací uzel s automatickým nastavením regulačního výkonu. Dále se v okruhu nachází bezpečnostní tlakové ventily PV x bar, které slouží jako ochrana před přetlakováním systému a následnému poškození (např. podlahového topení). Systém zahrnuje ventily KK xx k údržbě při případné poruše a možnosti zastavení části úseku potrubí a odstranění příčiny, tím odpadá nutnost vypuštění topného média z celého systému.

#### 3.1.2 Bezpečnostní směšovací uzel

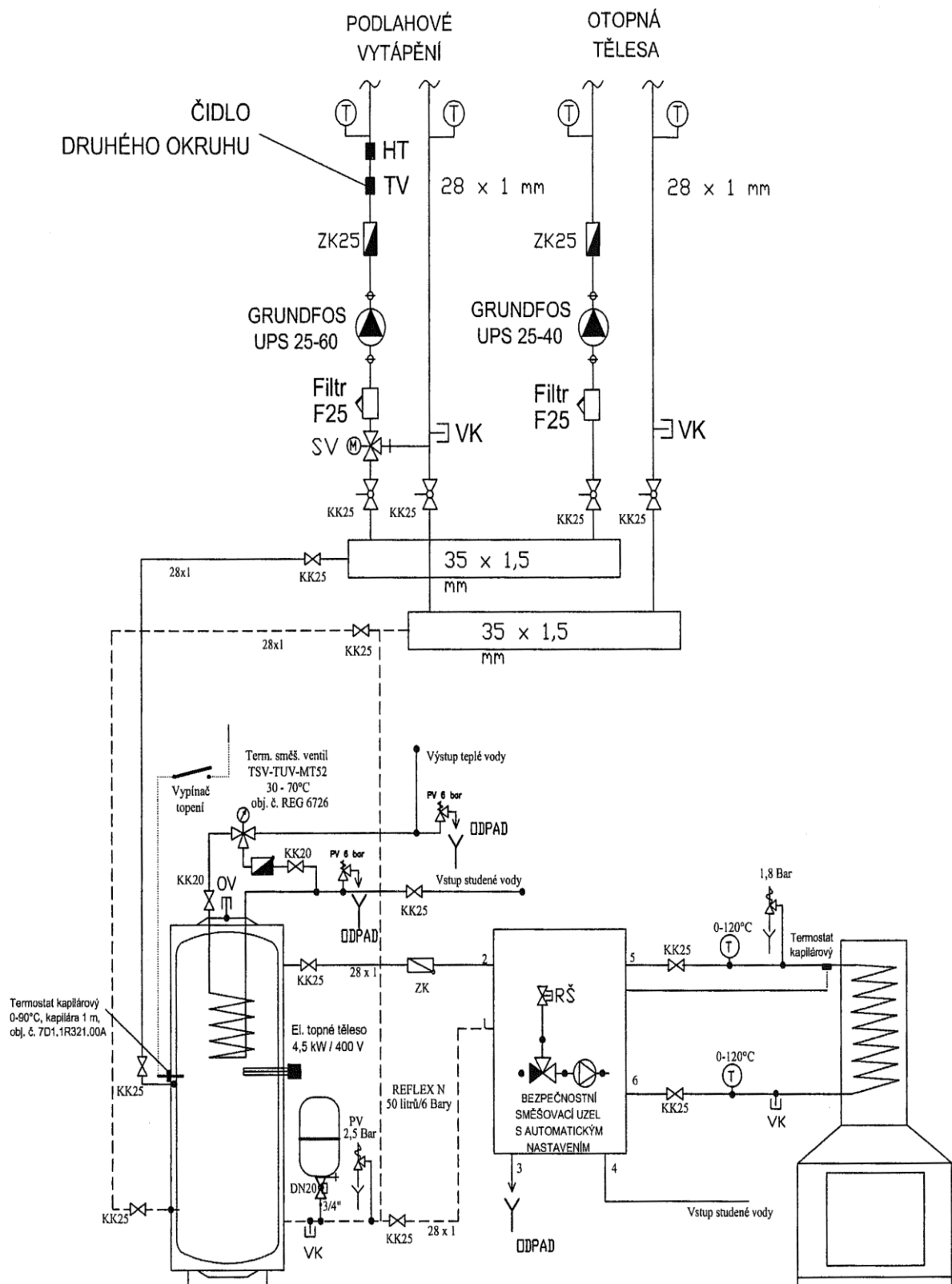
Bezpečnostní směšovací uzel je nainstalován mezi krbovou vložkou a akumulární nádrží, zajišťuje ochranu před přetopením při výpadku oběhu otopného média a zajišťuje optimální funkce teplovodního výměníku spalin. Skládá se z primárního okruhu připojeného k výměníku, který pomocí třicestného ventilu reguluje teplotu vratné vody do výměníku spalin, což omezuje vznik kondenzace a nízkoteplotní koroze v krbové vložce. Sekundárního okruhu připojeného k otopné soustavě. Bezpečnostního okruhu, který slouží jako ochrana před přetopením a je nastaven na max. teplotu 90 °C, při dosažení této teploty se teplá voda vypustí a do směšovacího uzlu se pod tlakem přivede studená voda k ochlazení krbové vložky.

#### 3.1.3 Ekvitermní regulace

K řízení podlahového topného systému, směšovacího ventilu a oběhového čerpadla podlahového topení se využívá ekvitermní regulátor RTU. Regulátor zajišťuje optimální teplotu vody pomocí čidel pro ekvitermní regulaci.

Podlahové topení pracuje v uzavřeném okruhu s vlastním oběhovým čerpadlem, do té doby, než na čidlech klesne teplota vody pod hladinu teplotního spádu. V tento okamžik se okruh otevře a přes trojcestný směšovací ventil se připustí do oběhu teplá voda z akumulární nádrže.

Otopná tělesa mají vlastní okruh s oběhovým čerpadlem řízeným kapilárovým termostatem na akumulární nádrži. Regulace je prováděna pomocí termostatických hlavice nainstalovaných na otopných tělesech.



Akumulační nádrž ANE 500 TUV  
Výměník TUV Cu 18x1, 50 bm

Obr. 3.2 Schéma otopného systému v rodinném domě [11]

### 3.2 Tepelné ztráty objektu

Tepelné ztráty objektu jsou převzaty z technické dokumentace spočítané dle normy ČSN EN 12831 pro venkovní teplotu  $-15\text{ °C}$  v krajině s intenzivními větry, hodnoty jsou uvedeny v tabulce 3.1. Vnitřní výpočtová teplota byla zvolena  $20\text{ °C}$ , s výjimkou koupelny  $24\text{ °C}$ . [1] Této oblasti náleží 236 otopných dnů s průměrnou venkovní teplotou  $3,8\text{ °C}$ .

Tab. 3.1 Tepelné ztráty objektu [1]

1.podlaží	Místnost			Tepelné ztráty		
	teplota	plocha	objem	prostupem	větráním	celkem
	[°C]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[W]	[W]	[W]
Chodba	20	9,7	27,2	322	162	484
WC + sprcha	24	9	25,2	316	167	483
Obývací pokoj	20	36,8	103	906	613	1519
Kuchyně	20	11	30,8	361	183	544
Jídelna	20	12	33,6	363	200	563
<b>Součet</b>		<b>78,5</b>	<b>219,8</b>	<b>2 268</b>	<b>1 325</b>	<b>3 593</b>

2.podlaží	Místnost			Tepelné ztráty		
	teplota	plocha	objem	prostupem	větráním	celkem
	[°C]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[W]	[W]	[W]
Chodba	20	5,1	12,2	144	73	217
Ložnice	20	26,5	63,6	582	378	960
Šatna	20	5,6	13,4	77	80	157
Pokoj	20	14	33,6	262	200	462
Koupelna	24	14,6	35	312	232	544
Pokoj	20	10,7	25,7	230	153	383
<b>Součet</b>		<b>76,5</b>	<b>183,5</b>	<b>1 607</b>	<b>1 116</b>	<b>2 723</b>

<b>Objekt celkem</b>		<b>155</b>	<b>403,3</b>	<b>3 875</b>	<b>2 441</b>	<b>6 316</b>
----------------------	--	------------	--------------	--------------	--------------	--------------

### 3.3 Roční potřeba tepla

Odcházejícímu teplu z objektu se říká tepelná ztráta, tyto tepelné ztráty je nutné pokrýt přísunem tepla v podobě vytápění. Roční potřebu tepla pro vytápění je nutné pokrýt pouze v otopných dnech, tzn., že vytápíme jen určitou část v roce, zpravidla se topná sezóna zahajuje v třech po sobě následujících dnech pokud klesne průměrná denní teplota venkovního vzduchu pod  $13\text{ °C}$ . Ovšem tato pravidla platí pro obytné objekty zásobované z centrálního zdroje. U obytných domů, které si samy vytápí, je to individuální a vytápí si podle vlastní potřeby. [12]

**Roční potřeba tepla k vytápění [13]**

$$Q_{\text{vyt},r} = \frac{24 \cdot Q_c \cdot D}{(t_{is} - t_e)} \cdot \frac{\varepsilon}{\eta_0 \cdot \eta_r} = \frac{24 \cdot 6300 \cdot 3823,4}{(20 - (-15))} \cdot \frac{0,63}{0,98 \cdot 0,95}$$

$$Q_{\text{vyt},r} = 11,2 \text{ MWh/rok} \quad (3.1)$$

$Q_{\text{vyt},r}$  - roční potřeba tepla k vytápění [MWh/rok]

$Q_c$  - tepelné ztráty objektu [kW]

$\varepsilon$  - celkový opravný součinitel [-]

$D$  - počet denostupňů [K · den]

$t_{is}$  - průměrná vnitřní teplota v otopném období [°C], zvolena hodnota  $t_{is}=20$  °C

$t_{es}$  - průměrná vnější teplota v otopném období [°C], zvolena hodnota  $t_{es}=3,8$  °C

$t_e$  - venkovní výpočtová teplota [°C], zvolena hodnota  $t_e=-15$  °C

$\eta_0$  - účinnost obsluhy [-], zvolena hodnota  $\eta_0=0,98$

$\eta_r$  - účinnost rozvodu vytápění [-], zvolena hodnota pro automatickou regulaci  $\eta_r=0,95$

**Výpočet denostupňů [13]**

$$D = d \cdot (t_{is} - t_{es}) = 236 \cdot (20 - 3,8) = 3823,4 \text{ K} \cdot \text{den} \quad (3.2)$$

$d$  - počet dnů otopného období [-], zvolena hodnota  $d=236$  dní

**Výpočet celkového opravného součinitele [13]**

$$\varepsilon = \varepsilon_n \cdot \varepsilon_r \cdot \varepsilon_u \cdot \varepsilon_s = 0,75 \cdot 1 \cdot 0,84 \cdot 1 = 0,63 \quad (3.3)$$

$\varepsilon_n$  - součinitel nesoučasnosti [-], zvolena hodnota pro moderní a nízkoenergetické domy  $\varepsilon_n=0,75$

$\varepsilon_r$  - součinitel regulace [-], zvolena hodnota pro ekvitermní regulaci  $\varepsilon_r=1$

$\varepsilon_u$  - součinitel útlumu teplot [-], zvolena hodnota pro rodinné domy  $\varepsilon_u=0,84$

$\varepsilon_s$  - součinitel vlivu otopného systému [-], zvolena hodnota pro teplovodní systém  $\varepsilon_s=14$

**Výpočet denní potřeby tepla k ohřevu teplé vody [13]**

$$Q_{\text{TUV},d} = (1 + z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot V_{2p} \cdot (t_2 - t_1)}{3600}$$

$$Q_{\text{TUV},d} = (1 + 0,5) \cdot \frac{1000 \cdot 4186 \cdot 0,328 \cdot (55 - 10)}{3600} = 25,7 \text{ kWh/den} \quad (3.4)$$

$Q_{\text{TUV},d}$  - denní potřeba tepla k ohřevu teplé vody [kWh/den]

$z$  - koeficient energetických ztrát systému pro přípravu teplé vody [-], zvolena hodnota pro rozvody v nových stavbách  $z = 0,5$

$V_{2p}$  - potřeba teplé vody na den [ $\text{m}^3$ ], zvolena hodnota pro 4 osoby  $V_{2p}=0,328 \text{ m}^3$

$t_1$  - teplota studené vody [°C], zvolena hodnota  $t_1=10$  °C

$t_2$  - teplota ohřáté vody [°C], zvolena hodnota  $t_2=55$  °C

$c$  - měrná tepelná kapacita vody [ $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

$\rho$  - hustota vody [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]

### **Výpočet roční potřeby tepla k ohřevu teplé vody [13]**

$$Q_{\text{TUV},r} = Q_{\text{TUV},d} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{\text{TUV},d} \frac{t_2 - t_{\text{svl}}}{t_2 - t_{\text{svz}}} \cdot (N - d)$$

$$Q_{\text{TUV},r} = 25700 \cdot 236 + 0,8 \cdot 25700 \cdot \frac{55 - 15}{55 - 5} \cdot (365 - 236) = 8,2\text{MWh/rok} \quad (3.5)$$

$Q_{\text{TUV},r}$  - roční potřeba tepla k ohřevu teplé vody [MWh/rok]

$N$  - počet dnů pro ohřev teplé vody [-], zvolena hodnota  $N=365$  dní

$t_{\text{svl}}$  - teplota studené vody v létě [ $^{\circ}\text{C}$ ], zvolena hodnota  $t_{\text{svl}}=15^{\circ}\text{C}$

$t_{\text{svz}}$  - teplota studené vody v zimě [ $^{\circ}\text{C}$ ], zvolena hodnota  $t_{\text{svz}}=5^{\circ}\text{C}$

### **3.3.1 Náklady na vytápění, ohřev teplé vody a provoz rodinného domu za rok 2011**

Náklady jsou vypočítány z vedených statistik majitele domu, dům pobírá elektřinu v distribuční sazbě D26d – ohřev vody a akumulární vytápění. Spotřeba elektrické energie v roce 2011 činila 10 292 kWh, jednotlivé měsíce jsou rozepsány v tabulce 3.3. Elektrické topné těleso v akumulární nádrži se zapíná pouze v NT. Podle statistik majitele se na ohřev TUV každý měsíc spotřebovalo cca 350 kWh elektřiny v NT, tedy 4 200 kWh, i když se v zimním období přitápí křbovou vložkou, budeme uvažovat konstantní spotřebu pouze elektřiny na ohřev TUV. Na vytápění se spotřebovalo 3 513 kWh v NT za rok. Ve VT jsou používané běžné spotřebiče domácnosti (TV, notebook, pračka, osvětlení, kuchyňské spotřebiče, atd.) a spotřeba činila 2 579 kWh.

Tab. 3.2 Celkové náklady za provoz rodinného domu v roce 2011

Platba	Spotřeba	Cena za jednotku	Celkem
Za jistič	12	279,600 Kč	3 355,2 Kč
Za ohřev TUV (NT)	4 200 kWh	1,898 Kč	7 971,6 Kč
Za vytápění (NT)	3 513 kWh	1,898 Kč	6 667,7 Kč
Ve VT	2 579 kWh	3,637 Kč	9 379,8 Kč
Za dřevo	4,8 m <sup>3</sup>	1 000,000 Kč	4 800,0 Kč
<b>Celkem</b>			<b>32 174,3 Kč</b>

V křbové vložce se spaluje smrkové dřevo a za rok 2011 se jeho hmotnost odhaduje na 2 tuny tj. 4,8 m<sup>3</sup>. Dřevo je skladováno pod venkovním přístřeškem, a proto je výhřevnost smrkového dřeva brána při 25% vlhkosti [11]. Účinnost křbové vložky je 80 %, z toho teplovodní výměník dosahuje 60 % a zbylých 20 % je předáváním tepla křbu do okolního vzduchu.

Tab. 3.3 Spotřeba elektrické energie za rok 2011

Měsíc	Vysoký tarif	Nízky tarif
	[kWh]	[kWh]
Leden	148	967
Únor	146	946
Březen	173	727
Duben	180	346
Květen	187	368
Červen	208	354
Červenec	205	398
Srpen	281	462
Září	210	320
Říjen	286	694
Listopad	275	1 031
Prosinec	280	1 100
<b>Celkem</b>	<b>2 579</b>	<b>7 713</b>

### 3.3.2 Skutečná potřeba tepla za rok 2011

Vypočtená potřeba tepla za rok 2011 činila 11,2 MWh na vytápění a 8,2 MWh na ohřev TUV, ovšem tato hodnota je brána do budoucna pro 4 osoby. V roce 2011 dům obývaly 2 osoby, proto vypočtená potřeba tepla na ohřev TUV bude poloviční a to 4,1 MWh. Celková potřeba tepla byla 15,3 MWh.

Ve skutečnosti z uvedených zdrojů celková potřeba byla 13,5 MWh, z toho 4,16 MWh na ohřev TUV a 9,34 MWh na vytápění. Výpočet a skutečná hodnota se pro ohřev TUV téměř shoduje, ale pro vytápění se skutečná hodnota liší od vypočtené, tato odchylka je pravděpodobně způsobena mírnější zimou a nezapočtenými tepelnými zisky (spotřebiče, slunce, obyvatelé domu).

Tab. 3.4 Skutečná potřeba tepla za rok 2011

El. topné těleso		Na vytápění	Na ohřev TUV	Celkem
Spotřeba elektřiny	[kWh]	3 513	4 200	7 713
Účinnost	[%]	99	99	99
Získané teplo	[kWh]	3 478	4 158	7 636

Krbová vložka		Na vytápění	Celkem
Spotřeba dřeva	[kg]	2 000	2 000
Výhřevnost smrkového dřeva	[MJ/kg]	13,1	13,1
Účinnost	[%]	60+20	80
Získané teplo	[kWh]	5 822	5 822
<b>Celkem získané teplo</b>	<b>[kWh]</b>		<b>13 458</b>

## 4 NÁVRH ZVOLENÝCH ZDROJŮ K ZÁSOBOVÁNÍ RODINNÉHO DOMU

Návrhy vychází z parametrů domu uvedených v kapitole 3 Popis rodinného domu. Volba fotovoltaického systému a tepelného čerpadla byla stanovena na základě nižších pořizovacích nákladů a dobré efektivity.

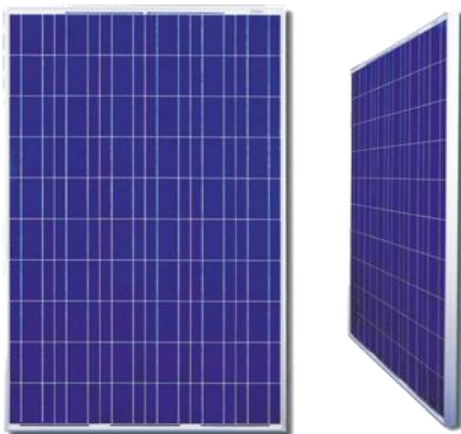
### 4.1 Návrh fotovoltaického systému

Před započítáním stavby je v ČR nutné si ve stavebním zákonu - stavební systémy ověřit, zda je možno si fotovoltaický systém postavit na dům či zahradu. Nutnosti k povolení jsou stanoveny *zákonem č.183/2006 Sb., stavební zákon a související předpisy, v aktuálním znění*. Dále se musíme řídit zákonem z oblasti fotovoltaiky zákon 180/2005 Sb., o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie, v aktuálním znění. V dnešní době se fotovoltaický systém nedá připojit k síti bez žádosti a posouzení, v našem případě skupinou ČEZ. Pokud naší žádosti nevyhoví, nemůžeme připojit systém k síti a ani jej realizovat s využitím zelených bonusů či přímo do prodeje. Pokud žádosti vyhoví a dodržíme splnění všech právních norem, můžeme začít plánovat stavbu fotovoltaického systému. [5]

Orientace domu a sklon střechy nejsou ideální, proto byly zvoleny panely z polykrystalických článků, které nejsou na orientaci tak citlivé jako panely monokrystalické a taky mají větší účinnost z difuzního záření. Fotovoltaický systém je primárně určen k pokrytí elektřiny ve VT a z přebytků k ohřívání akumulární nádrže tak, abychom maximálně využili vyrobenou elektřinu. Tím se nám zvýší úspory za ohřívání TUV, jelikož elektřinu nebudeme dokupovat, ale využívat vlastní, za kterou navíc pobíráme dotace ve formě zelených bonusů. Jelikož je fotovoltaický systém velice citlivý na jakákoli zastínění (komín, antény, stromy), bude umístěn tak, aby slunečním paprskům nestálo nic v cestě.

#### 4.1.1 Volba panelu

Zvolil jsem polykrystalické panely CSI CS6P 240Wp s účinností 15 % od kanadské společnosti Canadian Solar Inc., která patří dlouhodobě ke světové špičce na poli fotovoltaických panelů. Společnost na tuto značku panelů poskytuje záruku 10 let a 20 let na poskytovaný výkon (90 % minimální výkonnosti po dobu 10 let a 80 % minimální výkonnosti po dobu 20let).



Obr. 4.1 Fotovoltaický (solární) panel Canadian Solar CS6P 240P [14]



Tab. 4.1 Předběžná cenová nabídka vystavená firmou Česká solární s. r. o.

Solární FV panely CSI CS6P 240Wp	134 338,8 Kč
Solární kabel	1 562,0 Kč
Montážní sada	35 091,9 Kč
Rozvodnice	27 566,9 Kč
Střídač	48 736,0 Kč
Doprava	- Kč
<b>Celkem</b>	<b>247 295,6 Kč</b>

#### 4.1.2 Výpočet fotovoltaického systému

Návrh byl proveden podle knížky Obnovitelné zdroje energie, odkud jsem čerpal použité vzorce. [5]

##### Výpočet množství panelů

Celková střešní plocha činí 144 m<sup>2</sup>. Jižní polovina střechy je zakryta stínem ze stromů a na střeše jsou instalována okna, použitelná část je tedy cca 35 m<sup>2</sup>. Sklon střechy je 45 ° a orientace domu je 40 ° na jihozápad. Investor si přeje plně zaplnit využitelnou střešní plochu. Podle zvolených panelů si vypočteme přibližný počet kusů umístitelných do plochy 35 m<sup>2</sup>. Jeden panel má rozměry 1,638 x 0,982 x 0,04m, čili zabírá plochu  $A_{p1} = 1,61 \text{ m}^2$ .

$$P_p = \frac{A}{A_{p1}} = \frac{35}{1,61} = 21,7 \text{ ks} \quad (4.1)$$

- $P_p$  - počet využitelných panelů na dané ploše [ks]  
 $A$  - využitelná plocha [m<sup>2</sup>]  
 $A_{p1}$  - plocha jednoho panelu [m<sup>2</sup>]

##### Výpočet instalovatelného výkonu

Panely budou na střeše uloženy ve třech řadách, proto zaokrouhlíme počet panelů na 21. Budou tedy zabírat plochu  $A_p = 33,8 \text{ m}^2$ . Následně vypočteme instalovatelný výkon fotovoltaického systému:

$$P_{MPP} = A_p \cdot \eta_F \cdot 1 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2} = 33,8 \cdot 0,15 \cdot 1 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2} = 5,07 \text{ kW}_p \quad (4.2)$$

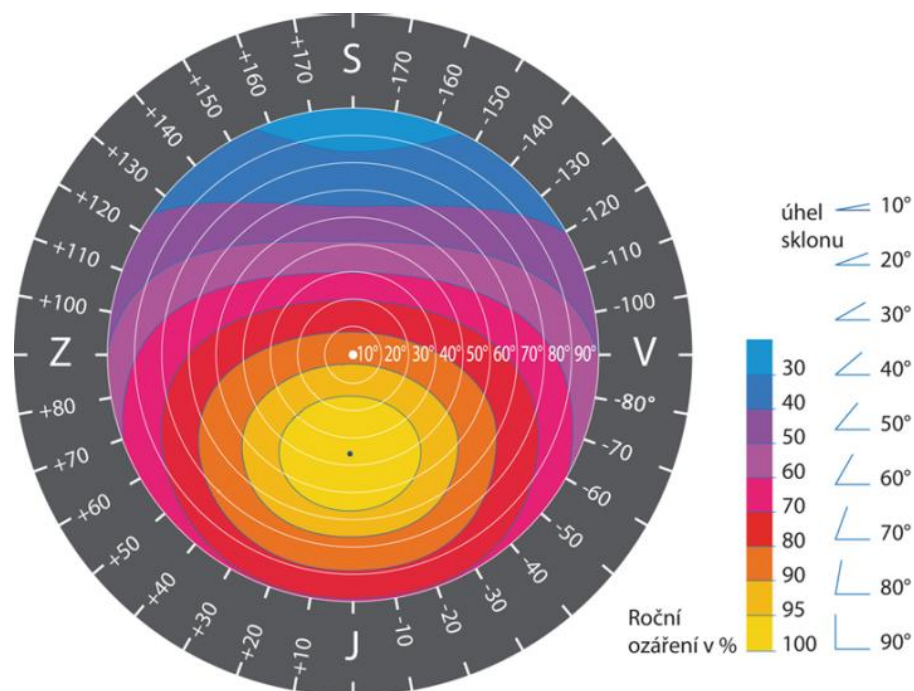
- $P_{MPP}$  - instalovaný výkon fotovoltaického systému [ $\text{kW}_p$ ]  
 $\eta_F$  - účinnost fotovoltaického panelu [-], zvolená hodnota  $\eta = 0,15$   
 $A_p$  - plocha střechy zabraná fotovoltaickými panely [m<sup>2</sup>], zvolená hodnota  $A_p = 33,8 \text{ m}^2$

##### Výpočet dopadu sluneční energie

Nyní je znám možný instalovatelný výkon fotovoltaického systému. Podle tohoto výkonu bude vypočten roční výtěžek. K tomu bude potřeba znát hodnoty dopadající energie globálního záření pro zvolenou lokalitu, nejbližší hodnoty pro tuto lokalitu jsou převzaty pro

město Frýdek-Místek vzdáleného asi 10 km. Tyto hodnoty byly zjištěny pomocí webového systému Evropské unie PVGIS. Z denních hodnot dopadu sluneční energie byl vypočítán měsíční dopad sluneční energie na metr čtvereční při optimálním sklonu panelu.

Do výpočtu se musí zahrnout ztráty na množství dopadající energie odklonem orientace a sklonu střechy od optimálních podmínek, k tomu nám poslouží diagram na obrázku 4.2



Obr. 4.2 Diagram vlivu sklonu a orientace fotovoltaických panelů na energetický výnos [15]

Poslední faktor ovlivňující výtěžnost je Performance ratio PR, který zohledňuje nečistoty (prach, ptáčí trus), odraz, oteplování, ztráty v rozvodech fotovoltaického systému zapojených do sítě.

### **Výpočet elektroenergetické výtěžnosti**

Vzorový výpočet je proveden pro měsíc březen, pro všechny měsíce jsou hodnoty uvedeny v tabulce 4.2

$$E_{elektrický} = \frac{H_{SOLAR} \cdot f_{sklonu} \cdot P_{MPP} \cdot PR}{1 \frac{kW}{m^2}} = \frac{99,8 \cdot 0,95 \cdot 5,07 \cdot 0,75}{1 \frac{kW}{m^2}} = 360,6 \text{ kWh} \quad (4.3)$$

$E_{elektrický}$  - elektroenergetická výtěžnost za 1 měsíc [kWh]

$H_{SOLAR}$  - hodnota dopadu sluneční energie [ $kWh/m^2$ ]

$f_{sklonu}$  - ztráty na množství dopadající energie odklonem orientace a sklonu střechy od optimálních podmínek [-], zvolená hodnota  $f_{sklonu}=0,95$

PR - hodnota Performance Ratio [-], zvolená hodnota pro průměrné zatížení  $PR=0,75$

*Tab. 4.2 Energie globálního záření dopadajícího na lokalitu Frýdek-Místek*

Měsíc	Dopad sluneční energie za den	Počet dnů v měsíci	Dopad sluneční energie za měsíc	Elektroenergetická výtěžnost za měsíc
	[Wh/m <sup>2</sup> ]	[-]	[kWh/m <sup>2</sup> ]	[kWh]
Leden	1130	31	35,0	126,5
Únor	1790	28	50,1	181,1
Březen	3220	31	99,8	360,6
Duben	4750	30	142,5	514,8
Květen	4980	31	154,4	557,7
Červen	5070	30	152,1	549,4
Červenec	4990	31	154,7	558,8
Srpen	4890	31	151,6	547,6
Září	3640	30	109,2	394,5
Říjen	2390	31	74,1	267,6
Listopad	1370	30	41,1	148,5
Prosinec	1120	31	34,7	125,4
Průměr	3278,3		1199,3	4332,5

## 4.2 Návrh tepelného čerpadla

V blízkosti RD nelze využít TČ využívající zemi nebo vodu jako nízkopotencionální zdroj, proto jsem zvolil TČ vzduch/voda, který bude sloužit k vytápění obytných prostor a ohřevu TUV po celý rok. Teplota bodu bivalence je  $-10\text{ °C}$ , tato hodnota byla doporučena výrobcem. Dnů, kdy teplota klesá pod  $-10\text{ °C}$ , není mnoho, obvykle je těchto dnů zhruba 5 % z otopného období, tedy 12 dnů pro mnou zvolenou lokalitu.

Při dosažení teploty bodu bivalence se automaticky zapne elektrické topné těleso, nebo se TČ vypne a bude se vytápět krbovou vložkou. Tento systém je navržen pro částečně bezobslužný provoz při použití krbové vložky k vytápění. V případě elektrického topného tělesa by se jednalo o bezobslužný provoz. V průběhu otopného období bude TČ napojeno do střední části akumulární nádrže a bude nahřívat vodu na vyšší teplotu  $50\text{ °C}$  z důvodu vytápění pomocí otopných těles a větší potřeba tepla. Ve zbylém období bude TČ napojeno do vrchní části akumulární nádrže a bude jí ohřívat na teplotu  $45\text{ °C}$  jen k ohřevu TUV. Přepojení bude manuální pomocí uzavíracích ventilů. Provoz TČ bude řízen regulací Siemens RVS41.

### 4.2.1 Volba tepelného čerpadla

TČ jsem vybral od větší české firmy Hotjet, tato společnost působí na trhu už delší dobu a jejich cenové nabídky jsou příznivé. Zvolil jsem model Hotjet 8ASK s venkovní kompaktní konstrukcí vše v jednom s venkovním provedením o výkonu 7,4 kW při provozních podmínkách A2/W45, příkonu 2,4 kW a topném faktoru 3,1. Výrobce udává max. výstupní teplotu  $50\text{ °C}$  při venkovní teplotě  $-10\text{ °C}$ , rozsah nasávaného vzduchu je od  $-20\text{ °C}$  do  $35\text{ °C}$ , je také vhodné pro podlahové i radiátorové systémy. [16] TČ je lehce předimenzováno a to z důvodu ohřevu vody a chladnějším prostředí.



Obr. 4.3 Tepelné čerpadlo Hotjet modelová řada ASK [16]

### 4.2.2 Popis tepelného čerpadla

TČ je v celo-nerezovém provedení s atraktivním designem. Vyznačuje se vysokým topným faktorem, nízkou hlučností, dokonalou tepelnou izolací před ztrátami do okolí a velice příznivou cenou. Díky lepší konstrukci nedochází k zamrznutí uvnitř výparníku a následnému zhoršování vlastností. V chladicím okruhu obíhá ekologické chladivo R404A. TČ pohání scroll kompresor tzv. spirálový, který má delší životnost a s jeho využitím se dosahuje lepšího topného faktoru než s pístovým nebo rotačním kompresorem. Standardní součástí je regulace Siemens RVS41, je možné si připlatit za prodloužení záruky na 5 nebo 10 let, součástí tohoto příplatku je program webserver, který slouží pro vzdálenou správu a ovládání tepelného

čerpadla přes internet. Pro jeho funkci je nutná internetová přípojka a webserver musí být v provozu. Tím je zajištěna komunikace 24 hodin denně s firmou Hotjet, dále taky program softstartér, který snižuje startovací proudy a zvyšuje životnost kompresoru. [16]

V tabulce 3.1 jsou uvedeny energetické parametry udané výrobcem a v druhé části tabulky jsou teoreticky přepočtené energetické parametry na základě účinnosti obráceného Carnotova cyklu snížené o korekční koeficient skutečného oběhu pro teploty  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $3,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $7\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

V tabulce 3.2 je uvedena předběžná cenová nabídka tepelného čerpadla včetně příslušenství a práce.

Tab. 4.3 Výkonové údaje udané výrobcem a teoretické výkonové údaje pro zvolené hodnoty [16]

Výkonová data	Tepelný výkon/Příkon/Topný faktor
A7/W35	8,8/2,0/4,4
A2/W35	7,6/2,0/3,8
A7/W45	8,4/2,4/3,5
A2/W45	7,4/2,4/3,1

Výkonová data	Tepelný výkon/Příkon/Topný faktor
A15/W45	10,6/2,4/4,4
A7/W50	7,5/2,4/3,15
A3,8/W50	6,7/2,4/2,8
A-5/W50	5,7/2,4/2,4

Tab. 4.4 Předběžná cenová nabídka vystavená firmou hotjet

Tepelné čerpadlo hotjet 8ASK	110 580,0 Kč
Hadice pro napojení topného okruhu	1 151,4 Kč
Autorizované spuštění	7 980,0 Kč
Instalační materiál a práce	11 400,0 Kč
Prodloužená záruka na 5 let	8 550,0 Kč
Regulace Siemens	- Kč
Doprava	- Kč
<b>Celkem</b>	<b>139 661,4 Kč</b>

#### 4.2.3 Výpočet nákladů

TČ bude v otopném období pracovat s topným faktorem 2,8, který odpovídá efektivitě při průměrné venkovní teplotě  $3,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  přes otopné období. Po zbytek roku bude TČ pracovat s vyššími vstupními teplotami a bude ohřívat TUV na  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Průměrný roční topný faktor pro ohřev TUV se tedy zvýší na hodnotu 3,33.

Krbovou vložkou se bude vytápět pouze 12 dní, během kterých teplota klesá pod  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Za toto období potřeba tepla činí cca  $1\ 200\text{ kWh}$ , tomu odpovídá spotřeba  $415\text{ kg}$  smrkového dřeva viz tabulka 4.5.

Tab. 4.5 Spotřeba elektřiny a dřeva na vytápění tepelným čerpadlem pro rok 2011

Tepelné čerpadlo		Na vytápění	Na ohřev TUV	Celkem
Spotřeba elektřiny	[kWh]	2 887	1 251	4 138
Topný faktor	[-]	2,8	3,33	
Získané teplo	[kWh]	8 084	4 166	12 250
Krbová vložka		Na vytápění		Celkem
Spotřeba dřeva	[kg]	415		415
Výhřevnost smrkového dřeva	[MJ/kg]	13,1		13,1
Účinnost	[%]	60+20		80
Získané teplo	[kWh]	1 208		1 208
Celkem získané teplo	[kWh]			13 458

$$P_{vyt} = \frac{Q_{vyt,r}}{\varepsilon_T} = \frac{8\,084}{2,8} = 2887 \text{ kWh} \quad (4.4)$$

$P_{vyt}$  - spotřeba elektřiny k pohonu TČ pro vytápění [kWh]

$$P_{TUV} = \frac{Q_{TUV,r}}{\varepsilon_T} = \frac{4\,166}{3,33} = 1\,251 \text{ kWh} \quad (4.5)$$

$P_{TUV}$  - spotřeba elektřiny k pohonu TČ pro ohřev TUV [kWh]

$$m = \frac{Q_d}{H \cdot \eta} = \frac{4,348 \cdot 10^9}{13,1 \cdot 10^6 \cdot 0,8} = 414,88 \text{ kg} \quad (4.6)$$

$m$  - hmotnost dřeva [kg]

$Q_d$  - potřeba tepla ze dřeva [J]

$H$  - výhřevnost dřeva [J/kg]

$\eta$  - účinnost krbové vložky [-]

Tab. 4.6 Celkové náklady na vytápění s tepelným čerpadlem pro rok 2011

Platba	Spotřeba	Jednotky	Cena za jednotku	Celkem
Za jistič	12	[-]	360,000 Kč	4 320,0 Kč
Za spotřebu elektřiny k ohřevu TUV	1251	[kWh]	2,407 Kč	3 011,2 Kč
Za spotřebu elektřiny na vytápění	2887	[kWh]	2,407 Kč	6 949,0 Kč
Za spotřebu elektřiny v NT	2364	[kWh]	2,407 Kč	5 690,1 Kč
Za spotřebu elektřiny ve VT	214,8	[kWh]	2,910 Kč	625,1 Kč
Za spálené dřevo	1	[rm]	1 000,000 Kč	1 000,0 Kč
Celkem				21 595,4 Kč

## 5 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Ekonomické zhodnocení bude provedeno pro tepelné čerpadlo a fotovoltaický systém zvlášť. Nakonec bude uvedeno srovnání všech tří systémů dohromady a to tak, že se budou uvažovat pořizovací náklady všech systémů ne jen těch, o kterých se uvažovalo jako o náhradních a bude vyhodnocena neekonomičtější varianta k provozu rodinného domu.

V tabulkách 5.1 a 5.2 jsou vyčísleny roční náklady v pětiletých odstupech pro RD využívající stávající zdroje s každoročním růstem ceny elektřiny o 5 % a dřeva o 6 %.

*Tab. 5.1 Celkové náklady na vytápění stávajícími zdroji pro 2 osoby*

Platba	Spotřeba	2011	2016	2021	2026	2031
Jistič	12	3 355 Kč	3 355 Kč	3 355 Kč	3 355 Kč	3 355 Kč
Ohřev TUV	4 200 kWh	7 972 Kč	10 174 Kč	12 985 Kč	16 572 Kč	21 151 Kč
Vytápění	3 513 kWh	6 668 Kč	8 510 Kč	10 861 Kč	13 862 Kč	17 691 Kč
Elektřina	2 579 kWh	9 380 Kč	11 971 Kč	15 279 Kč	19 500 Kč	24 887 Kč
Dřevo	4,8 m <sup>3</sup>	4 800 Kč	6 423 Kč	8 596 Kč	11 503 Kč	15 394 Kč
<b>Celkem</b>		<b>32 174 Kč</b>	<b>40 434 Kč</b>	<b>51 076 Kč</b>	<b>64 793 Kč</b>	<b>82 479 Kč</b>

*Tab. 5.2 Celkové náklady na vytápění stávajícími zdroji pro 4 osoby*

Platba	Spotřeba	2011	2016	2021	2026	2031
Jistič	12	3 355 Kč	3 355 Kč	3 355 Kč	3 355 Kč	3 355 Kč
Ohřev TUV	8 400 kWh	15 943 Kč	20 348 Kč	25 970 Kč	33 145 Kč	42 302 Kč
Vytápění	3 513 kWh	6 668 Kč	8 510 Kč	10 861 Kč	13 862 Kč	17 691 Kč
Elektřina	3 223 kWh	11 725 Kč	14 964 Kč	19 098 Kč	24 375 Kč	31 109 Kč
Dřevo	4,8 m <sup>3</sup>	4 800 Kč	6 423 Kč	8 596 Kč	11 503 Kč	15 394 Kč
<b>Celkem</b>		<b>42 491 Kč</b>	<b>53 600 Kč</b>	<b>67 880 Kč</b>	<b>86 240 Kč</b>	<b>109 852 Kč</b>

### 5.1 Ekonomické zhodnocení tepelného čerpadla

Zhodnocení bude provedeno ve více variantách tak, aby odpovídalo skutečnosti nebo situaci, která v blízké době nastane. Hodnocení bude prováděno podle skutečných údajů, které byly poskytnuty majitelem domu (spotřeba elektřiny, dřeva).

V ekonomickém zhodnocení se budou srovnávat náklady tepelného čerpadla se stávajícími zdroji a bude se vyhodnocovat doba návratnosti v závislosti na každoročním růstu ceny elektřiny o 5 % a dřeva o 6 %. Bude se vycházet z celkové skutečné potřeby tepla pro rok 2011, tj. 13,5 MWh. Pro tento rok budou také vypočítány náklady tepelného čerpadla, do těchto nákladů bude zahrnuta změna distribuční sazby z D26d na D56d a snížená spotřeba dřeva. Spotřeba elektřiny v jednom případě vzroste o 25 % ve VT a o 100 % za ohřev TUV, proto aby byla pokryta potřeba tepla a spotřeba elektřiny pro 4 osoby (spotřeba dřeva se měnit nebude). Náklady na vytápění stávajícím systémem jsou 32 174,3 Kč a náklady na provoz rodinného domu s využitím tepelného čerpadla jsou 21 595,4 Kč.

### 5.1.1 Návratnost bez zvyšování cen energie

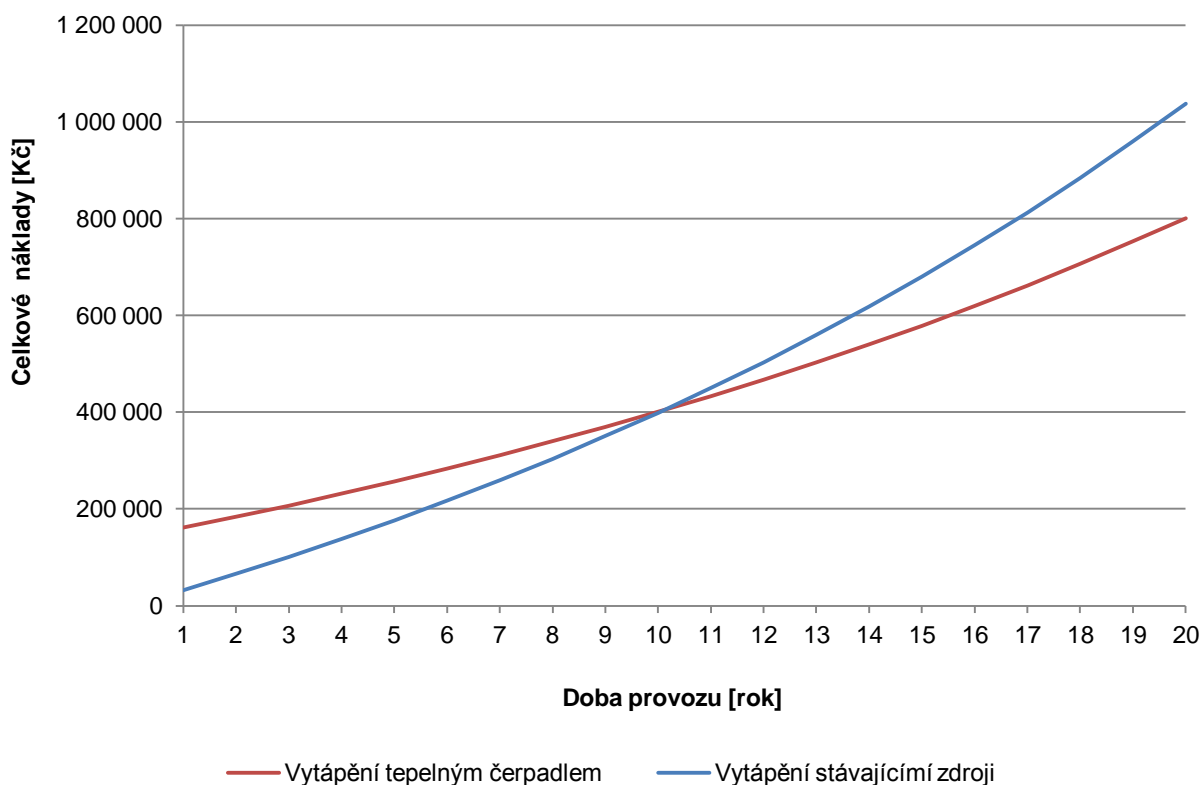
Zde je vypočtena návratnost bez každoročního zvyšování cen. V tomto případě by nemělo cenu si tepelné čerpadlo pořizovat, protože životnost scroll kompresoru se pohybuje okolo 15 let, pak je nutná výměna.

$$\text{Návratnost} = \frac{\text{počáteční investice}}{\text{úspora}}$$

$$\text{Návratnost} = \frac{139\,661}{10\,579} = 13,2 \text{ let} \quad (5.1)$$

### 5.1.2 Náklady a návratnost s rostoucími cenami energie

V grafu 1 jsou uvedeny celkové náklady na elektřinu a vytápění s výhledem na 20 let s 5% ročním nárůstem cen za elektřinu a 6% ročním nárůstem cen za dřevo. Z grafu je patrné, že náklady na vytápění stávajícími zdroji se zvyšují oproti nákladům s tepelným čerpadlem. Je to způsobeno využitím efektivnějšího zdroje tepla a změnou tarifu z D26d na D56d, kde je snížená sazba 22 h denně oproti 8 h. To znamená, že uspoříme náklady i na provozu elektrických spotřebičů rodinného domu. Návratnost investice je 10 let.



Graf 1 Doba návratnosti tepelného čerpadla



Tab. 5.3 Celkové náklady na vytápění s tepelným čerpadlem

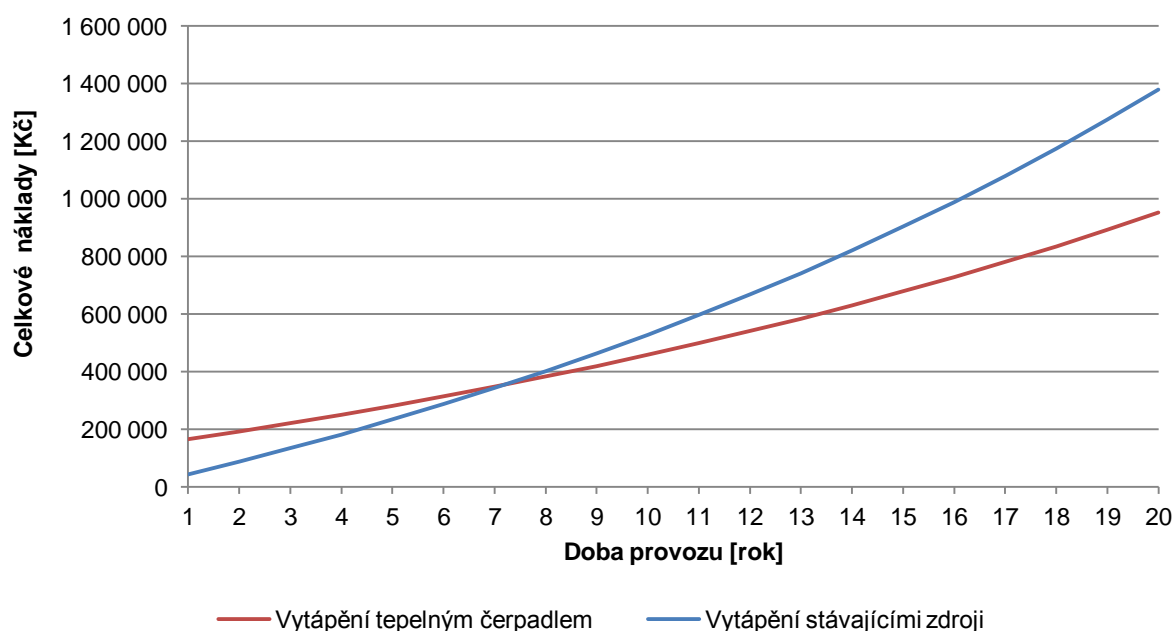
Platba	Spotřeba	2011	2016	2021	2026	2031
Jistič	12	4 320 Kč	4 320 Kč	4 320 Kč	4 320 Kč	4 320 Kč
Ohřev TUV	1 251 kWh	3 011 Kč	3 843 Kč	4 905 Kč	6 260 Kč	7 989 Kč
Vytápění	2 887 kWh	6 949 Kč	8 869 Kč	11 319 Kč	14 446 Kč	18 438 Kč
Elektřina NT	2 364 kWh	5 690 Kč	7 262 Kč	9 269 Kč	11 829 Kč	15 098 Kč
Elektřina VT	214,8 kWh	625 Kč	798 Kč	1 018 Kč	1 299 Kč	1 658 Kč
Dřevo	1 m <sup>3</sup>	1 000 Kč	1 338 Kč	1 791 Kč	2 397 Kč	3 207 Kč
<b>Celkem</b>		<b>21 595 Kč</b>	<b>26 430 Kč</b>	<b>32 622 Kč</b>	<b>40 552 Kč</b>	<b>50 711 Kč</b>

### 5.1.3 Náklady a návratnost s rostoucími cenami energie pro 4 osoby

V budoucnu budou dům obývat 4 osoby. Důsledkem toho vzroste potřeba tepla k ohřevu teplé vody na dvojnásobek současné, tedy na 8,32 MWh za rok. Vzroste také spotřeba elektřiny na provoz spotřebičů min. o 25 %. Všechny tyto faktory budou urychlovat dobu návratnosti tepelného čerpadla.

Když se porovnají stávající náklady s budoucími, zjistíme, že ohřívání vody elektřinou není efektivním řešením. K ohřevu dvojnásobného množství TUV se spotřebuje dvojnásobek elektřiny a s tím spojený nárůst spotřeby elektřiny o 25 % za provoz elektrických spotřebičů se výrazně projeví v ročních nákladech. TČ sice také spotřebuje dvojnásobné množství elektřiny, ale je přibližně 3x efektivnější než ohřev elektřinou.

V grafu 3 jsou uvedeny celkové náklady na elektřinu a vytápění s výhledem na 20 let s 5% ročním nárůstem cen elektřiny a 6% ročním nárůstem cen dřeva pro 4 osoby. Návratnost se v tomto případě zkrátí na 7,5 let. Tady už může být reálně uvažováno o investici do tepelného čerpadla. Je zřejmé, že vytápění elektřinou bude mít velký dopad na celkové náklady.



Graf 2 Doba návratnosti tepelného čerpadla pro 4 osoby

Tab. 5.4 Celkové náklady na vytápění s tepelným čerpadlem pro 4 osoby

Platba	Spotřeba	2011	2016	2021	2026	2031
Jistič	12	4 320 Kč	4 320 Kč	4 320 Kč	4 320 Kč	4 320 Kč
Ohřev TUV	2 502 kWh	6 022 Kč	7 686 Kč	9 810 Kč	12 520 Kč	15 979 Kč
Vytápění	2 887 kWh	6 949 Kč	8 869 Kč	11 319 Kč	14 446 Kč	18 438 Kč
Elektřina NT	2 933 kWh	7 061 Kč	9 012 Kč	11 502 Kč	14 680 Kč	18 735 Kč
Elektřina VT	290,1 kWh	844 Kč	1 077 Kč	1 375 Kč	1 755 Kč	2 240 Kč
Dřevo	1 m <sup>3</sup>	1 000 Kč	1 338 Kč	1 791 Kč	2 397 Kč	3 207 Kč
<b>Celkem</b>		<b>26 197 Kč</b>	<b>32 303 Kč</b>	<b>40 117 Kč</b>	<b>50 118 Kč</b>	<b>62 919 Kč</b>

## 5.2 Ekonomické zhodnocení fotovoltaického systému

FVS bude produkovat elektřinu, která se bude využívat k provozu RD a přebytek se bude využívat k ohřevu akumulární nádrže (TUV, popřípadě vytápění) tak, aby se spotřebovala všechna vyprodukovaná elektřina za účelem většího ušetření za nákup elektřiny. V nákladech není zahrnuta platba za spálené dřevo (5 088 Kč), jelikož tento systém není primárně určen k ohřevu TUV a vytápění. Náklady za rok 2012 budou 33 663 – 5088 = 28 575 Kč. Celkové roční náklady s využitím fotovoltaického systému budou takové, že dosáhneme zisku 6 191 Kč a to díky dotacím ve formě zelených bonusů. Úspora proto v roce 2012 bude 34 768 Kč

### 5.2.1 Návratnost bez zvyšování cen energií a zelených bonusů

Zde je vypočtena návratnost bez každoročního zvyšování cen. V tomto případě se nám počáteční investice vrátí za 7,2 let.

$$\text{Návratnost} = \frac{\text{počáteční investice} + \text{pojištění}}{\text{úspora}}$$

$$\text{Návratnost} = \frac{247\,295 + 2\,000}{34\,768} = 7,2 \text{ let} \quad (5.2)$$

### 5.2.2 Náklady a návratnost se zvyšováním cen energií a zelených bonusů

V tabulce 5.5 je uvedena výnosnost s 2% ročním nárůstem výkupní ceny zelených bonusů a s 5% ročním nárůstem cen za elektřinu. Rostoucí cena elektřiny se do návratnosti nepromítne tak výrazně, jako tomu bylo u TČ a to z důvodu, že se bude využívat stejný tarif jako před instalací D26d a účinnost fotovoltaického systému bude ročně o 1 % klesat. I přes tyto faktory bude roční zisk stoupat vlivem rostoucích cen za výkup elektřiny a hlavně ušetřené elektřiny, která každým rokem podraží o 5 %. Návratnost se pohybuje kolem 7 let v tomto případě nejsou zahrnuty náklady na provoz rodinného domu.

Tab. 5.5 Výnosnost fotovoltaického systému

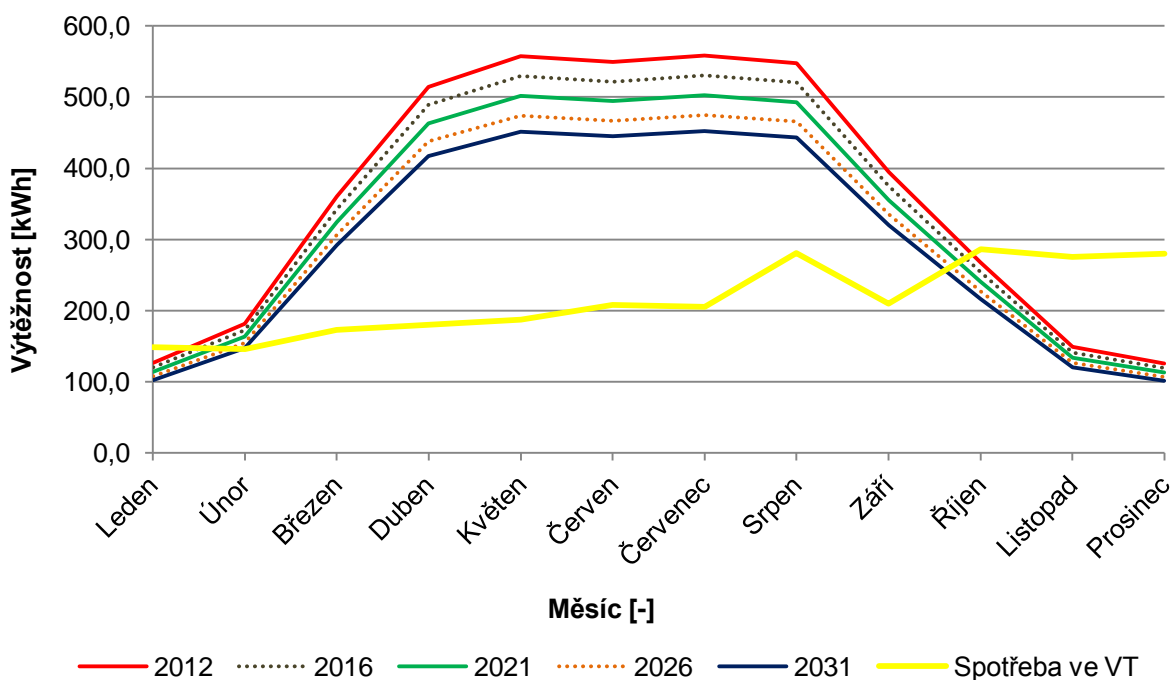
Rok	Vyrobena energie	Výnosy ze ZB	Úspora za elektřinu	Náklady celkem	Roční zisk	Konečný stav
0	[kWh]	[Kč]	[Kč]	[Kč]	[Kč]	[Kč]
2012	5 070,0	22 009 Kč	12 758 Kč	265 113 Kč	34 768 Kč	- 230 345 Kč
2013	5 019,3	22 225 Kč	13 293 Kč	267 840 Kč	35 518 Kč	- 197 554 Kč
2014	4 969,1	22 440 Kč	13 849 Kč	268 608 Kč	36 289 Kč	- 162 034 Kč
2015	4 919,4	22 655 Kč	14 427 Kč	269 420 Kč	37 083 Kč	- 125 763 Kč
2016	4 870,2	22 870 Kč	15 029 Kč	270 278 Kč	37 899 Kč	- 88 722 Kč
2017	4 821,5	23 085 Kč	15 655 Kč	271 185 Kč	38 739 Kč	- 50 890 Kč
2018	4 773,3	23 298 Kč	16 305 Kč	272 144 Kč	39 604 Kč	- 12 245 Kč
2019	4 725,6	23 512 Kč	16 982 Kč	273 157 Kč	40 493 Kč	27 235 Kč
2020	4 678,3	23 724 Kč	17 685 Kč	274 228 Kč	41 409 Kč	67 574 Kč
2021	4 631,5	23 935 Kč	18 417 Kč	275 360 Kč	42 352 Kč	108 794 Kč
2022	4 585,2	24 146 Kč	19 177 Kč	276 556 Kč	43 323 Kč	150 921 Kč
2023	4 539,4	24 355 Kč	19 967 Kč	277 820 Kč	44 323 Kč	193 980 Kč
2024	4 494,0	24 563 Kč	20 789 Kč	279 155 Kč	45 352 Kč	237 996 Kč
2025	4 449,0	24 770 Kč	21 642 Kč	280 566 Kč	46 412 Kč	282 997 Kč
2026	4 404,5	24 975 Kč	22 529 Kč	282 057 Kč	47 504 Kč	329 010 Kč
2027	4 360,5	25 178 Kč	23 451 Kč	283 632 Kč	48 629 Kč	376 064 Kč
2028	4 316,9	25 379 Kč	24 408 Kč	285 296 Kč	49 788 Kč	424 188 Kč
2029	4 273,7	25 579 Kč	25 403 Kč	287 055 Kč	50 982 Kč	473 412 Kč
2030	4 231,0	25 776 Kč	26 436 Kč	288 912 Kč	52 212 Kč	523 766 Kč
2031	4 188,7	25 971 Kč	27 509 Kč	290 874 Kč	53 480 Kč	575 284 Kč

V tabulce 5.6 jsou celkové náklady na elektřinu, sloupec spotřeba není vyplněný, jelikož se každý rok bude dokupovat jiné množství elektrické energie, které je rovnou vyčísleno peněžně.

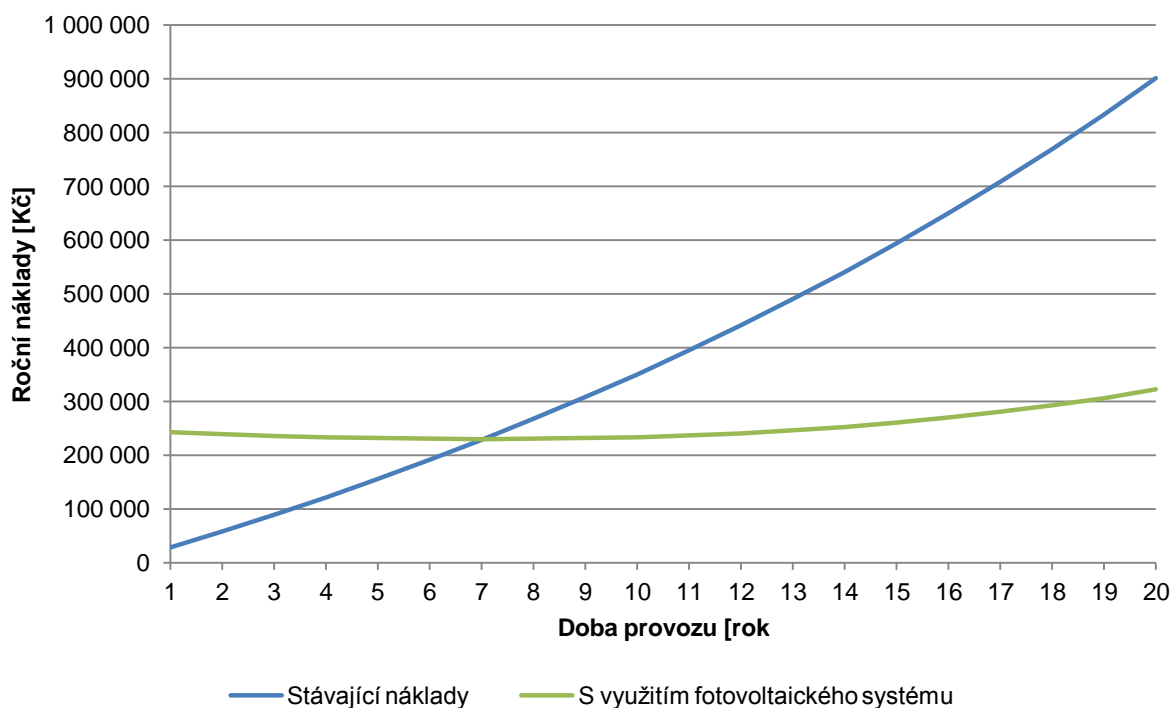
Tab. 5.6 Celkové náklady za elektřinu s využitím fotovoltaického systému

Platba	Spotřeba	2012	2016	2021	2026	2031
Jistič	12	3 355 Kč	3 355 Kč	3 355 Kč	3 355 Kč	3 355 Kč
Dokoupeno v NT		1 226 Kč	1 614 Kč	2 257 Kč	3 134 Kč	4 322 Kč
Dokoupeno ve VT		11 237 Kč	14 014 Kč	18 452 Kč	24 273 Kč	31 902 Kč
<b>Celkem</b>		<b>15 818 Kč</b>	<b>18 983 Kč</b>	<b>24 065 Kč</b>	<b>30 762 Kč</b>	<b>39 579 Kč</b>
Zisk		22 009 Kč	22 870 Kč	23 935 Kč	24 975 Kč	25 971 Kč
<b>Celkem zapláceno</b>		<b>-6 191 Kč</b>	<b>-3 887 Kč</b>	<b>129 Kč</b>	<b>5 787 Kč</b>	<b>13 608 Kč</b>

V grafu 3 jsou zobrazeny ztráty výtěžnosti fotovoltaických panelů vlivem snižující se účinnosti v jednotlivých měsících v roce a z toho odpovídající potřeba dokupování elektřiny ve VT a NT. Ve VT se za období říjen až únor v roce 2012 bude muset dokoupit 320,9 kWh, v roce 2031 to bude až 447,9 kWh, ostatní měsíce bude spotřeba ve VT pokryta elektřinou vyrobenou fotovoltaickým systémem a přebytkem elektřiny se bude nahřívat akumulární nádrž. V NT se bude v roce 2012 muset dokoupit 5 638,6 kWh, v roce 2031 to bude 6 334,8 kWh. Z grafu 4 je patrné, že dotace ve formě zelených bonusů se projeví do celkových nákladů tak, že budeme využívat elektřinu po dobu 10 let zcela zdarma.



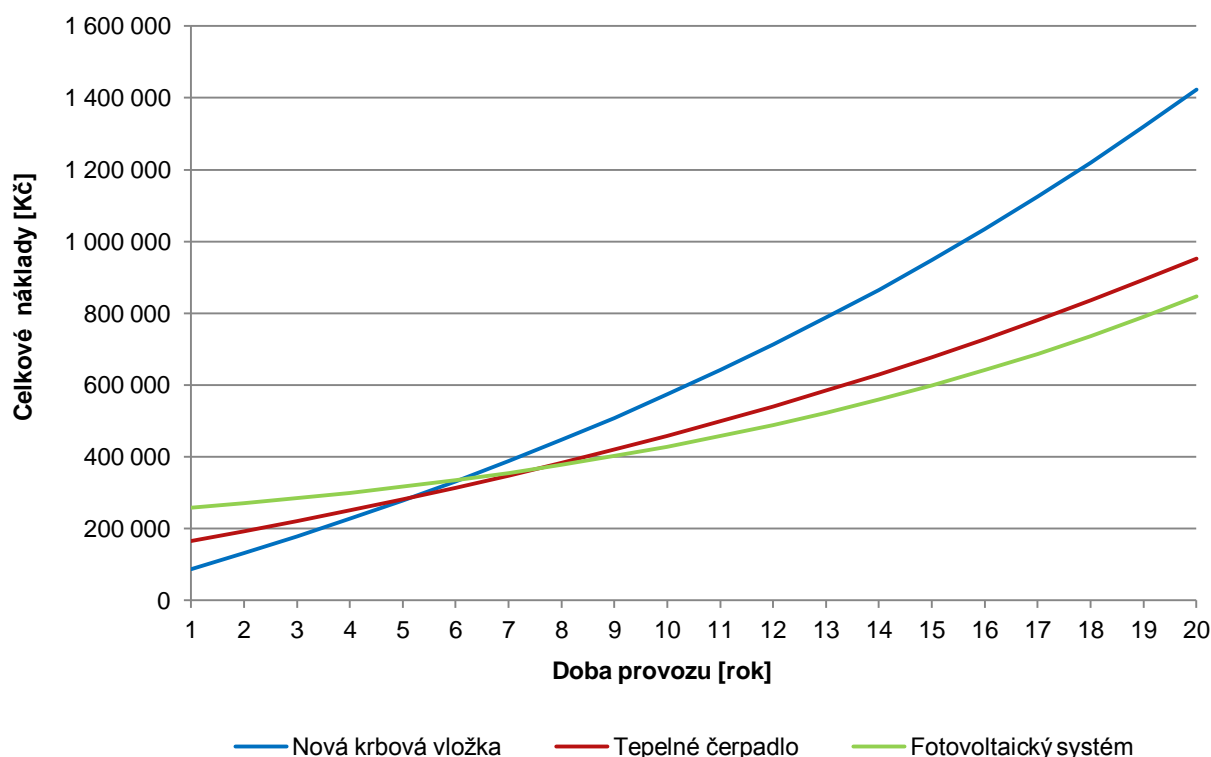
Graf 3 Elektroenergetická výtěžnost po 5 letech se snižující se účinností ze 100 % na 80 %



Graf 4 Porovnání celkových nákladů za elektrickou energii a doba návratnosti

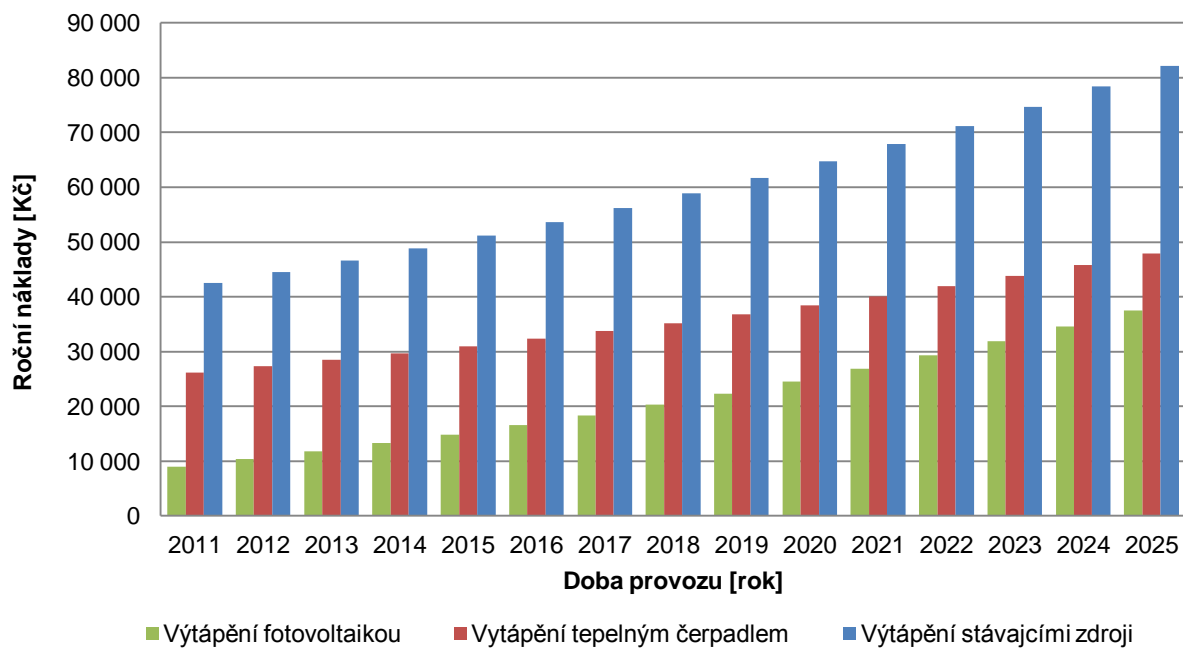
### 5.3 Vyhodnocení nejlevnější metody k vytápění před započítáním stavby domu

Zde je jen pro ukázkou graf 5, který zahrnuje provozní náklady, počáteční investice tepelného čerpadla či fotovoltaického systému nebo krbové vložky. V případě, že by se dům teprve plánoval stavět a vyhodnocovala by se levnější varianta pro dům se 4 obývacími osobami a 25 % nárůstu spotřeby elektřiny oproti současnému stavu. V nákladech pro všechny varianty jsou započítány pořizovací náklady, náklady za spotřebovanou elektřinu k provozu rodinného domu, stálé platby za jistič a náklady za spálené dřevo. Pořizovací náklady krbové vložky jsou 40 000 Kč.



Graf 5 Vyhodnocení levnější varianty před počátkem stavby RD

V grafu 6 jsou uvedeny roční provozní náklady na vytápění a ohřev TUV bez počátečních investic. Nejlevnější variantou se jeví fotovoltaický systém, ovšem jeho účinnost se postupně snižuje a v průběhu 20 let se provozní náklady téměř ztotožní s provozními náklady TČ. Zde se však musí brát v úvahu, že TČ má omezenou životnost stejně jako fotovoltaický systém a po určitém čase by se muselo investovat do nových zařízení. Je patrné, že náklady na provoz fotovoltaického systému jsou více než poloviční ve srovnání se stávajícími zdroji. Což se projeví v celkových nákladech po 20 letech i přes velké počáteční investice. Úspora využíváním TČ (kdyby dosáhlo životnosti 20 let, což je nepravděpodobné) je 465 855 Kč, s využitím fotovoltaického systému (kdyby dosahovalo účinnosti 80 % po 20 letech provozu) je úspora 572 506 Kč vůči stávajícímu systému.



Graf 6 Porovnání celkových ročních provozních nákladů

## ZÁVĚR

Popsané druhy alternativních zdrojů energie se v posledních letech dostávají více a více do popředí, jelikož se jedná o bezobslužné systémy, které šetří peníze, životní prostředí a v případě fotovoltaického systému je možné dosáhnout i zisku. Ještě do nedávna bylo pořízení těchto systémů dotováno státem a při využití dotace bylo možné dosáhnout nemalých úspor a zkrácených návratností. Tyto dotace v dnešní době stát již neposkytuje a hlavní nevýhodou těchto systémů jsou vysoké pořizovací náklady. Je pravdou, že v posledních letech se pořizovací náklady snižují, ale i přes to nemá každý na nákladnou investici a při využití půjčky z banky a placení úroků, by se investice nemusela stát až tak výhodnou.

Cílem této práce bylo navrhnout tepelné čerpadlo pro rodinný dům s tepelnými ztrátami 6,3 kW a fotovoltaický systém tak, aby bylo využito 35 m<sup>2</sup> střechy. Stanovit předpokládané náklady provozu a celkové roční náklady za elektřinu, dřevo, vytápění a přípravu TUV.

Celkové roční provozní náklady v roce 2011 za elektřinu, vytápění, ohřev TUV a dřevo činily 32 174 Kč. Uvažujeme také možnost, že dům budou obývat 4 osoby, což by mělo za následek dvojnásobný nárůst spotřeby teplé vody, tedy dvojnásobný nárůst spotřeby elektřiny na její ohřev a k tomu je uvažován 25% nárůst spotřeby elektřiny k provozu rodinného domu. Náklady by tak za rok 2011 dosahovaly 42 491 Kč.

S využitím tepelného čerpadla je nám nabídnuta možnost změny distribuční sazby na výhodnějšího D56d za elektrickou energii, která disponuje 22 hodinami nízkého tarifu. Díky této sazbě ušetříme i za provoz běžných spotřebičů rodinného domu. Celkové roční provozní náklady s využitím tepelného čerpadla dosahují 21 595 Kč tj. úspora 10 579 Kč. Při výpočtu návratnosti bez zvyšování cen energií se investice vrátí za 13,2 let. V tomto případě by nemělo význam nahrazovat stávající systém, jelikož jeho provozní náklady nejsou až tak vysoké, aby byla dosažena kratší návratnost, než je životnost kompresoru tepelného čerpadla. Při meziročním nárůstu cen elektrické energie o 5 % a dřeva o 6 % se návratnost investice urychluje a to proto, že u stávajícího systému je primárním zdrojem k ohřevu TUV elektrické topné těleso, které je oproti tepelnému čerpadlu 3x méně efektivnější. To znamená, že když elektřina bude v roce 2031 cca 3x dražší oproti současnosti, tak využívání TČ bude stejně drahé jak využívání el. topného tělesa v současnosti. Návratnost se v tomto případě pohybuje okolo 10 let. Při zvýšení počtu osob, které budou dům obývat, se roční provozní náklady vyšplhaly na částku 26 197 Kč tj. úspora 16 294 Kč. Tato úspora se bude každým rokem výrazně navyšovat a tím se návratnost sníží na 7,5 let.

FVS není primárně určen k vytápění, a proto je do nákladů zahrnuta pouze elektřina bez spotřeby dřeva. Roční provozní náklady s využitím FVS jsou podstatně výhodnější a to tak, že v prvním roce dosáhneme po zaplacení elektřiny stále zisku 6 191 Kč. Je to způsobeno tím, že všechnu vyrobenou elektřinu budeme spotřebovávat k provozu rodinného domu a přebytky k ohřívání akumulární nádrže, tím ušetříme za nákup elektřiny a navíc za vyrobenou elektřinu budeme dostávat dotace ve formě zelených bonusů. Tímto v prvním roce provozu ušetříme 34 768 Kč a návratnost se bude pohybovat okolo 7,2 let. Za 20 let provozu dosáhneme toho, že se nám vrátí počáteční investice a dosáhneme zisku 578 863 Kč. Když by dům obývaly 4 osoby tak by se návratnost ani náklady díky využívání FVS nesnížili, jelikož už je využit jeho maximální potenciál, zatím co TČ je úmyslně předimenzováno, proto aby bylo vhodné i pro 4 osoby.

Při porovnání všech tří systému FVS, TČ a krbové vložky s elektrickým topným tělesem zjistíme, že jako nejvýhodnější investicí se jeví FVS, je to proto, že výkup elektřiny je stále dotovaný státem. Je pravdou, že vyrábět elektrickou energii a pak jí využívat k provozu el. topného tělesa je velice neúčinné a pro tento účel by byly dostačující solární panely k ohřevu vody. Ale díky poskytnutým dotacím se vyplatí tuto elektřinu využít a tím snížit roční náklady za nakoupenou elektřinu.



## POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] MURTINGER, Karel. *Fotovoltaika, elektřina ze slunce*. 2. vyd. Brno: ERA, 2008. s. 81. ISBN 978-80-7366-133-5.
- [2] Slunce a jeho energie. *Fotovoltaika* [online]. 2008-2009 [cit. 2012-03-22]. Dostupné z: <http://fotovoltaika.falconis.cz/slunce/>.
- [3] Slunce. *PLANETS* [online]. 2009 [cit. 2012-04-15]. Dostupné z: <http://planets.cz/ostatni/slunce/>.
- [4] Fotovoltaika-princip. *Energ-Service* [online]. 2005 [cit. 2012-04-15]. Dostupné z: <http://www.energervis.cz/cs/fotovoltaika/fotovoltaika-princip/>.
- [5] QUASCHNING, Volker. *Obnovitelné zdroje energií*. 1. vyd. Praha: Grada, 2010. s. 296. Stavitel. ISBN 978-80-247-3250-3.
- [6] Fotovoltaika. *Solarenavi* [online]. 2012 [cit. 2012-04-15]. Dostupné z: <http://www.solarenavi.cz/slunecni-elektrarny/aktualni-nabidka/>.
- [7] SRDEČNÝ, Karel. *Tepelná čerpadla*. 1. vyd. Brno: ERA, 2005. s. 68. ISBN 80-736-6031-8.
- [8] PRINCIP TEPELNÝCH ČERPADEL. *Kostečka* [online]. 2012 [cit. 2012-04-15]. Dostupné z: <http://www.kostecka.net/tepelna-cerpadla/princip-tepelnych-cerpadel>.
- [9] ENERGIE PROSTŘEDÍ, GEOTERMÁLNÍ ENERGIE, TEPELNÁ ČERPADLA. *I-EKIS* [online]. 2001 [cit. 2012-04-15]. Dostupné z: <http://www.i-ekis.cz/?page=prostredi>.
- [10] Tepelná čerpadla. *KEA Olomouckého kraje* [online]. 2006 [cit. 2012-04-15]. Dostupné z: <http://www.kea-olomouc.cz/index.php?ca=zdroje&ar=02>.
- [11] KOVAŘÍK, Jan. *Technická zpráva: Výpočet tepelných ztrát*. Frýdek- Místek, 2009.
- [12] HORÁKOVÁ, Alena. ARCADIS PROJECT MANAGEMENT, s.r.o. *Klimatologické údaje*. Praha, 2009. Dostupné z: [http://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/Klimatologie\\_2009.pdf](http://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/Klimatologie_2009.pdf).
- [13] Potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé vody. REINBERK. *TZB-info* [online]. 2003 [cit. 2012-03-22]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-potreba-tepla-pro-vytapani-a-ohrev-teple-vody>.
- [14] Canadian Solar 240 Watt Solar Panel CS6P-240P. *Solar electric supply* [online]. 2001 [cit. 2012-04-15]. Dostupné z: [http://www.solarelectricsupply.com/Solar\\_Panels/Canadian-Solar/CS6P-240P.html](http://www.solarelectricsupply.com/Solar_Panels/Canadian-Solar/CS6P-240P.html).
- [15] Diagram záření. *WATTprojekt* [online]. 2012 [cit. 2012-03-11]. Dostupné z: [http://www.wattprojekt.cz/diagram\\_zareni.html](http://www.wattprojekt.cz/diagram_zareni.html).

- [16] *Tepelná čerpadla vzduch-voda. Hotjet* [online]. 2009, 2010 [cit. 2012-03-22].  
Dostupné z: <http://www.hotjet.eu>.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

<b>Zkratka</b>	<b>Popis</b>
FVS	Fotovoltaický systém
NT	Nízký tarif
PR	Performance ratio
RD	Rodinný dům
TČ	Tepelné čerpadlo
TUV	Teplá užitková voda
VT	Vysoký tarif

<b>Symbol</b>	<b>Jednotka</b>	<b>Popis</b>
$\eta$	[-]	Účinnost krbové vložky
$\eta_F$	[-]	Účinnost fotovoltaického panelu
$\rho$	[kg·m <sup>-3</sup> ]	Hustota vody
$\varepsilon$	[-]	Celkový opravný součinitel
$\eta_0$	[-]	Účinnost obsluhy
$\varepsilon_n$	[-]	Součinitel nesoučasnosti
$\eta_r$	[-]	Účinnost rozvodu vytápění
$\varepsilon_r$	[-]	Součinitel regulace
$\varepsilon_s$	[-]	Součinitel vlivu otopného systému
$\varepsilon_t$	[-]	Topný faktor
$\varepsilon_u$	[-]	Součinitel útlumu teplot
A	[m <sup>2</sup> ]	Využitelná plocha
A <sub>p</sub>	[m <sup>2</sup> ]	Plocha střechy zabraná fotovoltaickými panely
A <sub>p1</sub>	[m <sup>2</sup> ]	Plocha jednoho panelu
c	[J·kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	Měrná tepelná kapacita vody
d	[-]	Počet dnů otopného období
D	[K . den]	Počet denostupňů
E <sub>elektrický</sub>		Elektroenergetická výtěžnost za 1 měsíc
f <sub>skolnu</sub>	[-]	Ztráty na množství dopadající energie odklonem orientace a sklonu střechy od optimálních podmínek

---

H	[J]	Výhřevnost dřeva
$H_{\text{SOLAR}}$	[kWh/m <sup>2</sup> ]	Hodnota dopadu sluneční energie
I	[kW/m <sup>2</sup> ]	Skutečný dopad sluneční energie
$I_0$	[kW/m <sup>2</sup> ]	Sluneční konstanta
m	[kg]	Hmotnost dřeva
N	[-]	Počet dnů pro ohřev teplé vody
P	[kWh]	Dodaná energie pro pohon tepelného čerpadla
$P_{\text{MPP}}$	[kW <sub>p</sub> ]	Instalovaný výkon fotovoltaického systému
$P_p$	[ks]	Počet využitelných panelů na dané ploše
$P_{\text{TUV,r}}$	[kWh]	Spotřeba elektřiny k pohonu TČ pro ohřev TUV za rok
$P_{\text{vyt,r}}$	[kWh]	Spotřeba elektřiny k pohonu TČ pro vytápění za rok
Q	[kWh]	Získané teplo
$Q_c$	[kW]	Tepelné ztráty objektu
$Q_d$	[J/kg]	Potřeba tepla ze dřeva
$Q_{\text{TUV,d}}$	[kWh]	Denní potřeba tepla k ohřevu teplé vody
$Q_{\text{TUV,r}}$	[MWh/rok]	Roční potřeba tepla k ohřevu teplé vody
$Q_{\text{vyt,r}}$	[MWh/rok]	Roční potřeba tepla k vytápění
$t_1$	[°C]	Teplota studené vody
$t_2$	[°C]	Teplota ohřáté vody
$t_e$	[°C]	Venkovní výpočtová teplota
$t_{es}$	[°C]	Průměrná vnější teplota v otopném období
$t_{is}$	[°C]	Průměrná vnitřní teplota v otopném období
$t_{svl}$	[°C]	Teplota studené vody v létě
$t_{svz}$	[°C]	Teplota studené vody v zimě
$V_{2p}$	[m <sup>3</sup> ]	Potřeba teplé vody na den
z	[-]	Koeficient energetických ztrát systému pro přípravu teplé vody