

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Studie rodinného domu vybaveného hybridním
fotovoltaickým systémem a tepelným čerpadlem pro
vytápění**

Tomáš Herold

2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Tomáš HEROLD**
Osobní číslo: **E13N0161P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Technická ekologie**
Název tématu: **Studie rodinného domu vybaveného hybridním fotovoltaickým systémem a tepelným čerpadlem pro vytápění**
Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

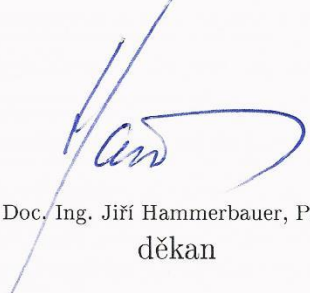
1. Popište různé typy FV systémů a tepelných čerpadel vhodných pro RD
2. Zpracujte schéma energetického vybavení RD a analyzujte jeho energetické potřeby
3. Navrhněte hybridní FV systém pro uvedený RD
4. Vyhodnoňte návrh po stránce energetické, ekonomické, ekologické a po stránce energetické soběstačnosti

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:


Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí diplomové práce: **Prof. Ing. Jan Škorpil, CSc.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **15. října 2014**
Termín odevzdání diplomové práce: **11. května 2015**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2014

Abstrakt

Diplomová práce je založená na teoretickém návrhu hybridního FV systému a tepelného čerpadla rodinného domu. Vyhodnotil a popsal jsem rodinný dům, který jsem si vybral, po stránce energetické spotřeby, zateplení a polohy vůči světovým stranám. Dále jsem tento návrh zhodnotil ekonomicky a ekologicky, zhodnotil jsem energetické poměry pro napájení a vytápění rodinného domu po instalaci hybridního systému tepelného čerpadla a fotovoltaické elektrárny. Poté jsem odhadl jeho energetickou soběstačnost.

Klíčová slova

Fotovoltaický systém, tepelné čerpadlo, ostrovní provoz, návrh hybridního systému, měnič, rodinný dům.

Abstract

Diploma thesis is focused on the theoretical design of the hybrid PV system and the heat pump for the family house. Then I analyzed and described the house, which I chose, after the energy consumption, insulation and position relative to the cardinal points. I also evaluated this proposal economically and ecologically, and I have evaluated the energy ratios of power supply and heating for the house after installation of heat pump and PV system. Then I had estimated its energy self-sufficiency.

Key words

The photovoltaic system, the heat pump, off grid system, the design of the hybrid system, the inverter, the family house.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....
podpis

V Plzni dne 29.4.2015

Tomáš Herold

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Prof. Ing. Janu Škorpilovi CSc. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Dále konzultantovi Ing. Josefovi Ledvinovi za poskytnutí cenných rad a podkladových materiálů.

Obsah

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	10
ÚVOD.....	11
1 POPIS TYPŮ FOTOVOLTAICKÝCH SYSTÉMŮ A TEPELNÝCH ČERPADEL VHODNÝCH PRO RD	13
1.1 FOTVOLTAICKÉ SYSTÉMY	13
1.1.1 Krystalický křemíkový článek	14
1.1.2 Amorfni křemíkové články	14
1.1.3 Hybridní panely	15
1.1.4 Střídač/měnič	16
1.2 TEPELNÁ ČERPADLA	16
1.2.1 Tepelná čerpadla voda-voda	17
1.2.2 Tepelná čerpadla země-voda	18
1.2.3 Tepelná čerpadla vzduch-voda	19
2 SCHÉMA ENERGETICKÉHO VYBAVENÍ RD A ANALÝZA JEHO ENERGETICKÉ POTŘEBY	20
3 NÁVRH HYBRIDNÍHO FV SYSTÉMU PRO UVEDENÝ RD.....	24
3.1 NÁVRH HYBRIDNÍ FV ELEKTRÁRNY	24
3.1.1 Návrh fotovoltaické elektrárny s akumulátorovou zálohou.....	25
3.1.2 Návrh fotovoltaické elektrárny bez akumulátorové zálohy.....	28
3.2 NÁVRH TEPELNÉHO ČERPADLA	29
4 VYHODNOCENÍ NÁVRHU PO STRÁNCE ENERGETICKÉ, EKONOMICKÉ, EKOLOGICKÉ A PO STRÁNCE ENERGETICKÉ SOBĚSTAČNOSTI.....	31
4.1 ENERGETICKÉ VYHODNOCENÍ NÁVRHU	31
4.1.1 Energetické vyhodnocení fotovoltaické elektrárny.....	31
4.1.2 Energetické vyhodnocení tepelného čerpadla	35
4.1.3 Energetické vyhodnocení hybridního systému TČ a FV.....	35
4.2 EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ	36
4.2.1 Hybridní FV systém s akumulátorovou zálohou.....	37
4.2.2 Roční náklady pro hybridní systém postavený v roce 2015.....	38
4.2.3 Roční náklady pro hybridní systém postavený v roce 2013.....	39

4.2.4	<i>Hybridní systém bez akumulátorové zálohy.....</i>	40
4.2.5	<i>Roční náklady pro hybridní systém postavený v roce 2015.....</i>	41
4.2.6	<i>Roční náklady pro hybridní systém postavený v roce 2013.....</i>	41
4.2.7	<i>Náklady pouze za tepelné čerpadlo</i>	42
4.3	EKOLOGICKÉ VYHODNOCENÍ	43
4.3.1	<i>Životnost fotovoltaických panelů</i>	43
4.3.2	<i>Recyklovatelnost fotovoltaických panelů</i>	43
4.3.3	<i>Životnost tepelných čerpadel</i>	44
4.3.4	<i>Recyklovatelnost tepelných čerpadel</i>	45
4.3.5	<i>Snížení emisí produkovaných v tepelných elektrárnách</i>	46
4.4	ENERGETICKÁ SOBĚSTAČNOST	47
5	ZÁVĚR.....	48
6	SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	50

Seznam symbolů a zkratk

Zkratka	Anglicky	Česky
AC	Alternating current	Střídavý proud
CVD	Chemical Vapor Deposition	Chemická nanášení z plynné fáze
DC	Direct current	Stejnoseměrný proud
EVA	Ethylene-vinyl acetate	Etylen-Vinyl-Acetát
FV	Photovoltaic	Fotovoltaika
FVE	Photovoltaic power plant	Fotovoltaická elektrárna
HDPE	High-density polyethylene	polyethylen s vysokou hustotou
LiFePO₄		Lithium-železo-fosfátový akumulátor
PECVD	Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition	Plasmou posílené chemické nanášení z plynné fáze
PEX	Cross-linked polyethylene	zesítný polyethylen
PV	Photovoltaic	Fotovoltaika
RD		Rodinný dům
SiH₄	Silan	Silan
TČ	Heat pump	Tepelné čerpadlo

Úvod

Člověk od průmyslové revoluce vytváří neuvěřitelné množství ekologicky zatěžujících látek, které pomalu, ale zásadně mění životní prostředí. Posledních několik desítek let jsme se však začali zajímat o dopady lidského chování na životní prostředí.

V dnešní době je největší producent škodlivin výroba elektřiny v tepelných elektrárnách. Snížením spotřeby elektrické a tepelné energie, snížíme i produkci škodlivin v elektrárnách. Samozřejmě to není řešení, ale dá nám to čas přijít na trvalé řešení v podobě obnovitelného zdroje, nebo zdroje, který nebude znečišťovat životní prostředí.

Jeden způsob, jak zpomalit nebo úplně zastavit změnu klimatu, je snížit spotřebu tepelné a elektrické energie a nahradit je jinými zdroji jako jsou například obnovitelné zdroje. Lze například použít energii Slunce, která dopadá na Zemi. Tuto energii ve formě fotonů je možno transformovat pomocí fotovoltaických článků na elektrickou energii. Pro získání tepla můžeme použít solární panely. Při použití solárních panelů se chladící médium ohřeje slunečním zářením dopadajícím na panely. Toto médium má za úkol odvádět teplo zachycené na panelech do akumulární nádoby, nebo do topného okruhu.

Pro získávání tepla z okolí se hodí tepelné čerpadlo. Podle druhé věty termodynamiky nemůže teplo samovolně přestupovat ze studenějšího tělesa na teplejší, musíme dodat práci, abychom získali teplo obsažené v chladnějším médiu. Tepelná čerpadla používají většinou kompresor k dodání požadované práce, kdy se látka za nízkého tlaku ohřeje na teplotu okolí (vzduch, země nebo podzemní vody). Teplo z látky se pak za vysokého tlaku předá do topného oběhu nebo do akumulátoru.

Pro minimální náklady na vytápění a spotřebu elektrické energie se stále více rodinných domů staví jako nízkoenergetické nebo dokonce jako pasivní, aby byl co nejmenší dopad na životní prostředí. Pro dosažení těchto cílů se domy vybavují tepelnými čerpadly, fotovoltaickými panely, solárními panely, rekuperačními jednotkami, samotnou konstrukcí, zateplením a jinými technologiemi.

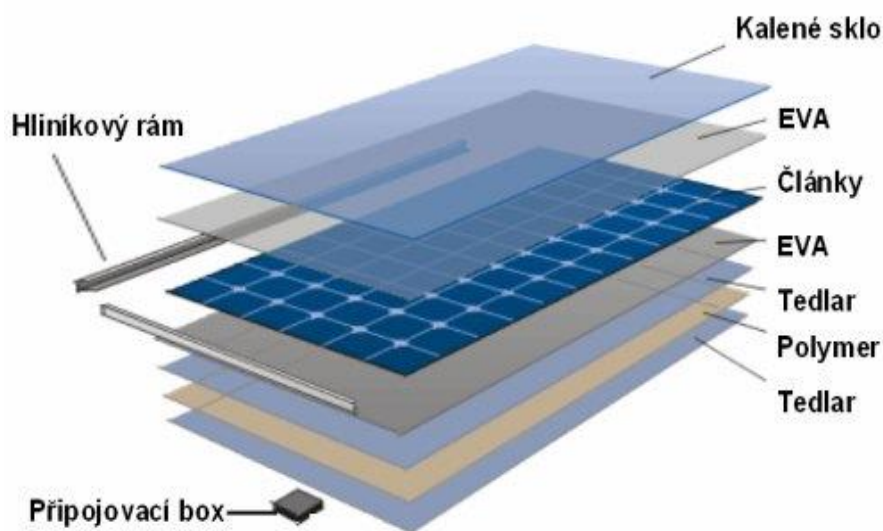
Proto jsem si vybral tuto diplomovou práci, ve které navrhuji tepelné čerpadlo a fotovoltaickou elektrárnu pro napájení a vytápění rodinného domu. Rodinný dům, který jsem si zvolil, patří mé sestře. Tento dům byl postaven v roce 2004. Jedná se o patrový dům s obydlým podkrovím. Pro tento návrh jsem dostal konzultanta Ing. Josefa Ledvinu z firmy INTERSEKCE, zabývající se návrhy FV systémů a tepelných čerpadel.

1 Popis typů fotovoltaických systémů a tepelných čerpadel vhodných pro RD

1.1 Fotovoltaické systémy

Pro rodinný dům se používají panely nejčastěji složené z monokrystalických, polykrystalických nebo amorfních křemíkových článků. Pro maximální využití vyrobené elektrické energie z FV článků se mohou připojit střídače (měniče) a baterie pro akumulaci elektrické energie pro pozdější potřebu. Pro vytvoření ostrovního systému je nutné, aby fotovoltaický systém obsahoval střídače, schopné pracovat s bateriemi a baterie na akumulaci elektrické energie. Při pouhém dodávání elektrické energie do distribuční sítě není potřeba používat baterie.

Na Obr. 1-1 vidíme, jak jsou FV články v panelu chráněné před nepříznivými podmínkami. Fotovoltaické články musí být chráněny tvrzeným sklem, které je spojené pomocí EVA s články a spodní strana se kryje vícevrstvou pevnou fólií (Tedlar a polymer), také spojené EVA vrstvou, hliníkový rám chrání panel ze stran a také vše zpevňuje.[1]



Obr. 1-1 Jednotlivé vrstvy FV panelu [1]

1.1.1 Krystalický křemíkový článek

Křemík absorbuje velkou část světelného spektra, které na křemík dopadne. Neabsorbuje však část infračerveného spektra, protože fotony s vlnovou délkou nad 1100 nanometrů nemají dostatečnou energii, která je potřebná ke vzniku volného elektronu v křemíku (minimální energie je asi 1,1 elektronvltu).

Monokrystalické křemíkové články se vytahují z taveniny za vysokých teplot. Tyto krystalové ingoty se pak nařezají na požadovanou tloušťku a následně se dotují pro vytvoření P-N přechodu. Pokud se ohlédneme na energetickou návratnost při výrobě, tak jsou dražší než polykrystalické články.

Polykrystalické články se vyrábějí slisováním vykrystalizovaných krystalů křemíku, tato technologie je jednodušší než vytáhnout jediný krystal. Proto se energeticky a ekonomicky vyrovnají článkům monokrystalickým.

1.1.2 Amorfni křemíkové články

Tenký film amorfniho hydrogenizovaného křemíku se nechává narůst v tenký film z plynného stavu (plynný SiH₄), ve vakuové komoře, při teplotách okolo 250°C. Používá se CVD, konkrétně PECVD, tato technologie umožňuje nanášet fotovoltaické články na flexibilní polymery a jiné substráty. Výroba těchto článků je tedy materiálově i energeticky levnější, než jsou krystalické technologie. [2]

Výhody amorfniho hydrogenizovaného křemíku

- Menší teplotní součinitel výkonu, tedy jeho účinnost klesá s rostoucí teplotou mnohem pomaleji než u krystalického křemíku.
- Možnost instalace do míst, kde nelze panely orientovat ideálně na jih, protože amorfni křemík lépe absorbuje rozptýlené sluneční záření než krystalický křemík.

Nevýhody amorfniho křemíku

- účinnost, která je zhruba poloviční, než je tomu u krystalického křemíku. [3]

1.1.3 Hybridní panely

Při výrobě elektrické energie z FV panelů se využije jen asi 15% energie, která dopadne na FV panel. Zbytek této energie se přemění na teplo, když zanedbáme odraz (ten je minimální, pokud je krycí sklo panelu opatřeno antireflexní vrstvou). Zároveň se při zvyšující teplotě snižuje účinnost přeměny energie fotonu na elektrickou energii ve FV článkách. Proto se vyvinuly hybridní panely, které kombinují solární panely ohřívající vodu s FV články vyrábějící elektrickou energii.

Výhody těchto panelů jsou:

- Menší nároky na místo (uvažujeme-li použití solárních panelů a FV panelů současně).
- Vyšší účinnost FV přeměny slunečního záření na elektřinu.
- Výroba tepla pro další použití.

Nevýhody jsou:

- Náročnější údržba
- Větší hmotnost každého panelu [4]



Obr. 1-2 Přední strana, vnitřní díl a zadní strana[5]

1.1.4 Střídač/měnič

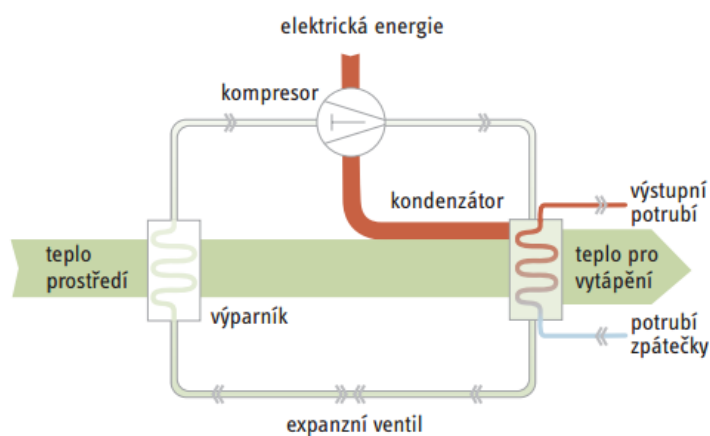
Slouží jako měnič stejnosměrného napětí z baterií nebo FV panelů na střídavé napětí sinusového průběhu. Dále slouží k řízení a posílání elektrické energie, tam kde je potřeba. Pokud použijeme měnič, který je schopný pracovat s bateriemi v rodinném domě, máme možnost využít co největší část vyrobené elektrické energie přímo v domě a nemusíme ji dodávat do distribuční sítě. Tím snížíme nutnost odebírat elektrickou energii z distribuční sítě. Pokud navrhujeme soběstačný systém, který není závislý na distribuční síti, říkáme mu ostrovní systém. [6]

1.2 Tepelná čerpadla

Primární okruh tepelných čerpadel se dá rozdělit na dva základní typy. Tepelné čerpadlo země-voda využívá tepla země (popř. podzemní vody) nebo TČ vzduch-voda využívající teplo obsažené ve vzduchu. Výstupní teplota vody dosahuje 30°C - 65°C.

Sekundární okruh tvoří výměník, řídicí modul, akumulační nádrž.

Obr. 1-3 si můžeme rozdělit na čtyři hlavní části výparník, kompresor, kondenzátor a expanzní ventil. Výparník slouží k ohřevu chladiva za nízkého tlaku na teplotu okolí (nebo teplotu podzemní vody/země). Tato teplota chladivo vypaří a chladivo následně postupuje do kompresoru. Kompresor stlačí plynné chladivo a tím se zvýší tlak a teplota chladiva. Stlačené chladivo postupuje do kondenzátoru, kde odevzdá své teplo. Předáním tepla se chladivo zkapalní a postupuje přes expanzní ventil zpátky do výparníku. Expanzní ventil slouží ke snížení tlaku před vstupem do výparníku.



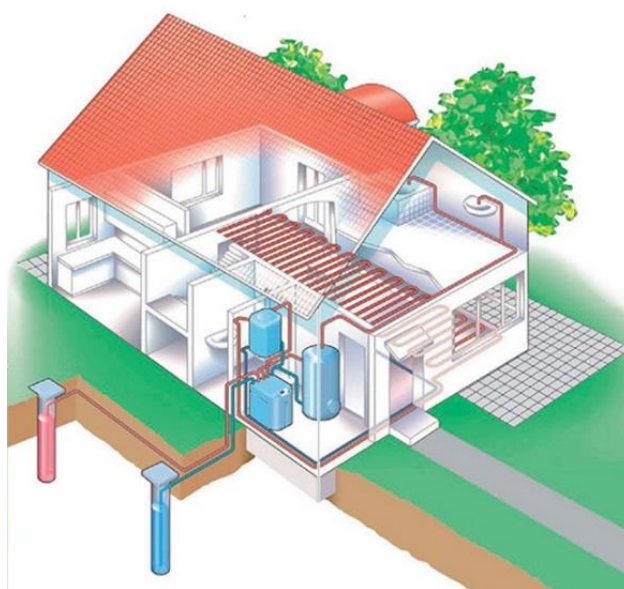
Obr. 1-3 Schéma tepelného čerpadla [7]

V dnešní době se dodávají kompaktní tepelná čerpadla, která mají integrované oběhové čerpadlo, tepelné čerpadlo, řídicí jednotku i akumulční nádrž a expanzní nádobu.

1.2.1 Tepelná čerpadla voda-voda

Tepelná čerpadla voda-voda získávají teplo z podzemní vody. To se provádí pomocí hlubinných vrtů.

Tento typ tepelného čerpadla pracuje na základě konstantních teplot v hloubce země po dobu celého roku prakticky se stejnou účinností.



Obr. 1-4 Schéma hlubinného vrtu tepelného čerpadla a TČ s využitím podzemní vody [8]

Výhody:

- Teplota podzemní vody je stálá (země pod 0,8m v zimě nezamrzá)
- Možnost použití pro chlazení v létě
- Stálý tepelný výkon při změnách teploty
- Na vrt není potřeba velký pozemek

Nevýhody:

- Vysoké pořizovací náklady
- Na vrty je potřeba souhlas příslušného stavebního úřadu
- Na vrty je potřeba souhlas vodoprávního úřadu (riziko změny vodních poměrů)[8]

Střední teploty země (°C)			
Vrtaná hloubka (m)	Volná poloha	Městská oblast	Výšková poloha
0	9,5	9,5	3,2
25	11,3	12,5	8,0
50	12,0	13,5	8,7
75	12,8	14,5	9,5
100	13,5	15,5	10,2
125	14,3	16,5	11,0
150	15,0	17,5	11,7
175	15,8	18,5	12,5
200	16,5	19,5	13,2

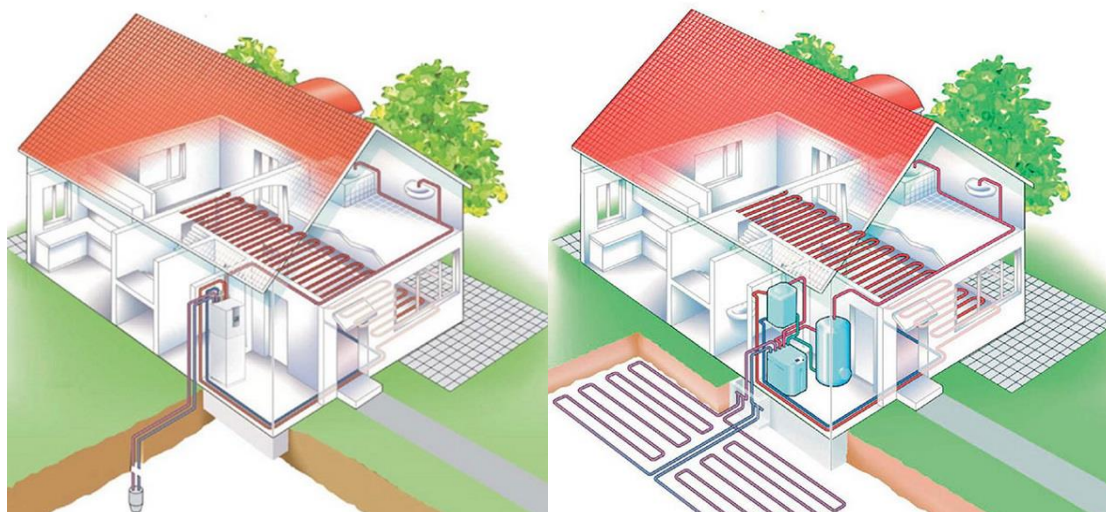
Tab. 1-1 Znázorňující teplotu země v závislosti na hloubce [9]

1.2.2 Tepelná čerpadla země-voda

Tepelné čerpadlo země-voda získává teplo ze země. To se provádí pomocí povrchového zemního kolektoru nebo geotermálního vrtu.

V levé části Obr. 1-5 se používá geotermický vrt, kde se zapustí jedna nebo několik sond do země (podle potřeby) do hloubky 50 až 150 metrů. Kapalina teplotonosného média (chladiivo) dopravuje zemní teplo k tepelnému čerpadlu.

Pravá část Obr. 1-5 Pokud není možné provést hlubinný vrt a je dostatek prostoru použijí se povrchové zemní kolektory.



Obr. 1-5 Schéma TČ využívající povrchového zemního kolektor [8]

Tepelné čerpadla země-voda mají několik výhod:

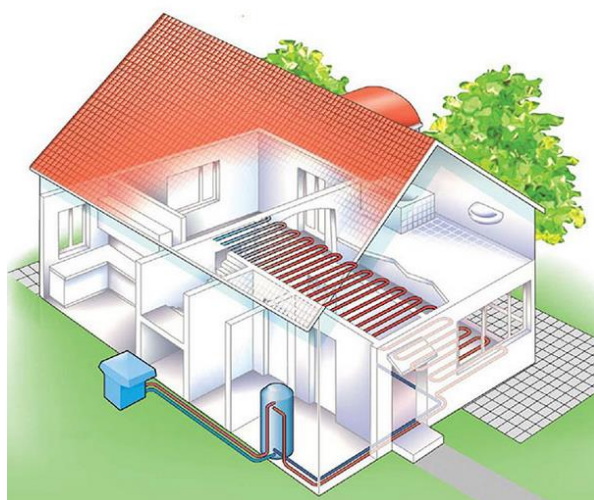
- Teplota země kolísá jen mírně
- Možnost použití pro chlazení v létě

Nevýhody

- Vysoké pořizovací náklady
- Potřeba velkého pozemku, pod který se instalují kolektory [8]

1.2.3 Tepelná čerpadla vzduch-voda

Tepelná čerpadla využívající tepla obsaženého ve vzduchu, mají topný výkon závislý na teplotě okolí. Tedy pokud se sníží teplota vzduchu, sníží se topný výkon TČ. Moderní tepelná čerpadla pracují i v mrazu do $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Obr. 1-6 Schéma TČ vzduch-voda [8]

Výhody TČ vzduch-voda:

- Nižší finanční náklady (oproti vrtům nebo kolektorům)
- Malé nároky na prostor
- Rychlá instalace

Nevýhody

- Nižší tepelný výkon v zimě při teplotách pod $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Větší hlučnost [8]

2 Schéma energetického vybavení RD a analýza jeho energetické potřeby

V Tab. 2-1 vidíme, že rodinný dům je čtvercového půdorysu a celková výška budovy je asi 6,6 m.

	Délka [m]	Výška [m]	Celková plocha [m ²]
Stěn	10,50	3,00	126,00
Střecha	11,50	3,60	156,00
Trojúhelníkové okno	5,35	2,70	23,60
Obdélníková okna	1,50	1,20	
	0,66	0,90	
	1,80	2,20	

Tab. 2-1 Rozměry domu

Tab. 2-2 nám ukazuje, jaké možnosti máme při instalaci fotovoltaické elektrárny na střechu rodinného domu. Pokud si vypočteme sklon a plochu jedné strany střechy, která směřuje na jih.

Výška střechy	3,60 m
Délka střechy	11,50 m
Výška jedné strany	6,78 m
Úhel sklonu střechy	32°
Plocha jedné strany střechy	39,00 m ²
Plocha jedné strany střechy bez oken	37,80 m ²

Tab. 2-2 Rozměry střechy

V Tab. 2-3 máme udané průměrné měsíční spotřeby v topném období a v letních měsících. Dále je uvedena průměrná roční spotřeba elektrické energie za roky 2005. A náklady za elektrickou energii pro rok 2005.

Topné období od listopadu do května, měsíční spotřeba průměrně	1 620 kWh.
Letní období od června do října měsíční průměrná spotřeba	313 kWh.
Průměrná roční spotřeba	12 907 kWh.
Natočení na jih není ideální	odklon 15°
Náklady na elektrickou energii	28 070,- Kč

Tab. 2-3 Průměrná spotřeba pro rok 2005

Rodinný dům je v současnosti vytápěný pouze elektrickým kotlem o maximálním výkonu 12 kW a nastaven je na výkon 8 kW.

Podle online kalkulačky jsem odhadl tepelné ztráty rodinného domu (Tab. 2-4). Rodinný dům má tedy asi 6 225 W tepelných ztrát.

Typ konstrukce (větrání)	Tepelná ztráta [W]
Obvodový plášť	1214
Podlaha	590
Střecha	964
Okna, dveře	1021
Jiné konstrukce	0
Tepelné mosty	373
Větrání	2063
--- Celkem ---	6225

Tab. 2-4 Odhad tepelných ztrát jednotlivými konstrukcemi [11]

V Tab. 2-5 máme vyjmenované tloušťky a druhy zateplení v jednotlivých částech rodinného domu.

	Typ	Tloušťka zateplení [mm]	Typ zateplení
Stěny	Ytong 375	90	polystyren
Podlaha	beton	75	polystyren
Střecha	Obytné podkroví	400	minerální vata
Okna	Plastová	U=1,1[W/m ² K]	

Tab. 2-5 Způsob zateplení domu

Tento rodinný dům byl postaven 2004 v souladu s tehdejšími energetickými standardy. Střecha byla zateplena nad minimální požadavky daných standardů dané doby.

V Tab. 2-6 jsem vyjmenoval spotřebiče v domě a odhadl jsem jejich roční spotřebu energie. Jako největší odběratelé elektrické energie jsou topení a bojler.

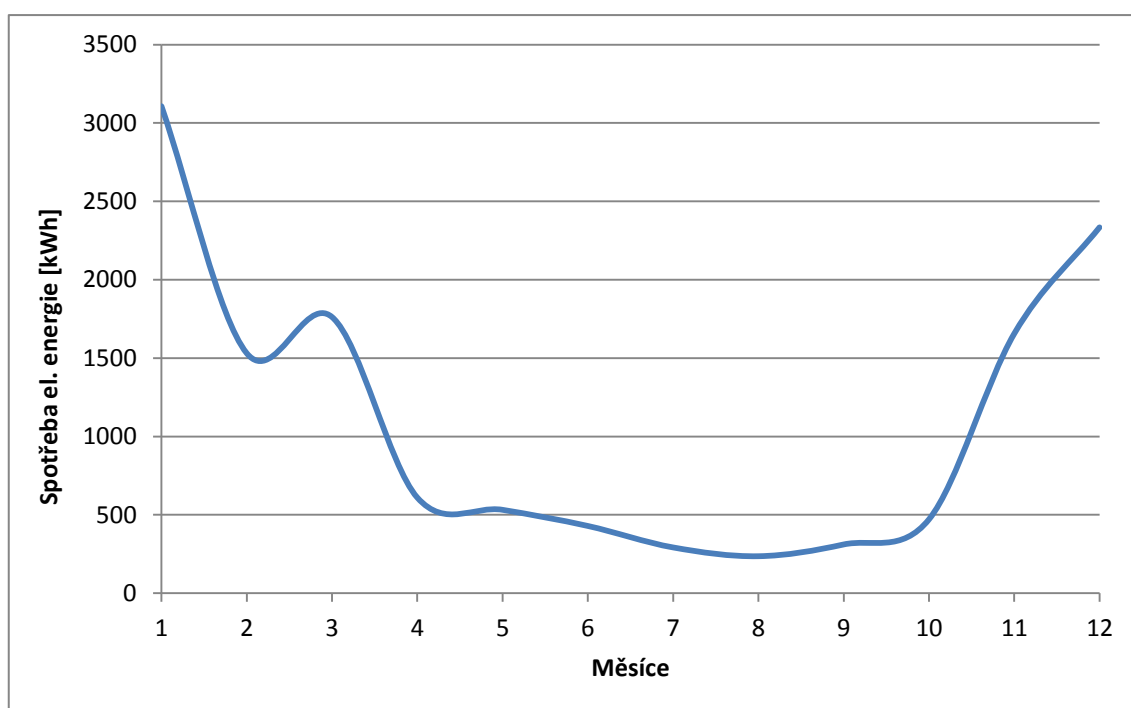
Seznam spotřebičů	Spotřeba/výkon	Odhad roční spotřeby [kWh]
Elektrický kotel	12 kW	7 765
TUV	2 kW	3 450
Myčka	1 kWh/cyklus	183
Lednička	1 kWh/24h	365
Pračka	1 kWh/cyklus	104
Sušička	2,7 kWh/cyklus	281
Osvětlení	1 kWh/24h	365
Celkem		12 513

Tab. 2-6 Seznam spotřebičů v domě



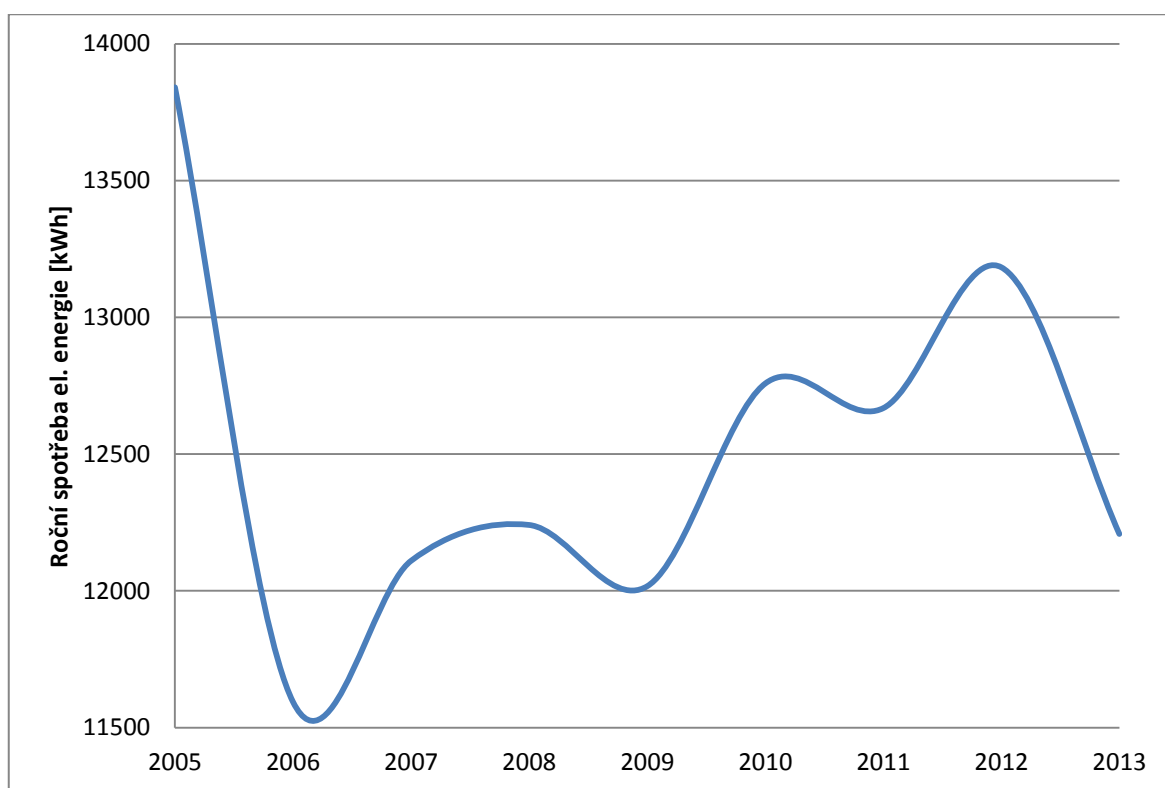
Obr. 2-1 Letecký snímek rodinného domu [10]

Na Obr. 2-2 je znázorněna spotřeba domu pro jednotlivé měsíce. Toto měsíční odečítání je pouze pro rok 2005.



Obr. 2-2 Měsíční spotřeba el. energie za rok 2005

Na Obr. 2-3 vidíme, že první rok byla vysoká spotřeba el. energie hlavně z důvodu vysušování novostavby.

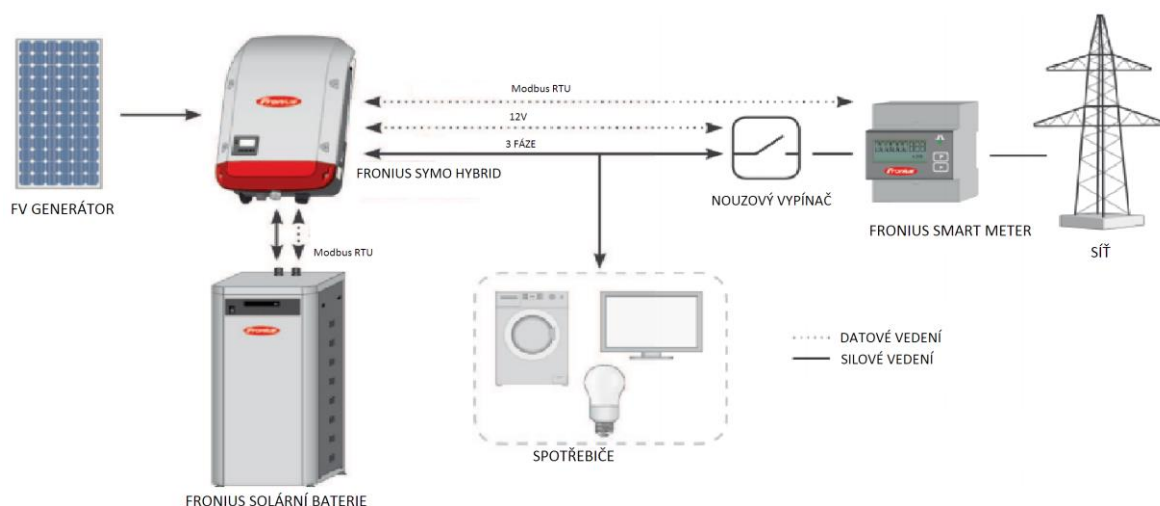


Obr. 2-3 Spotřebovaná el. energie pro jednotlivé roky od 2005 do 2013

3 Návrh hybridního FV systému pro uvedený RD

3.1 Návrh hybridní FV elektrárny

Pro tento návrh jsem vybral 2 scénáře, které jsou si velmi podobné. Odlišují se jediným prvkem a to je akumulace elektrické energie, tato bateriová záloha by mohla plně nahradit síť, pak by se stal rodinný dům energeticky soběstačným.



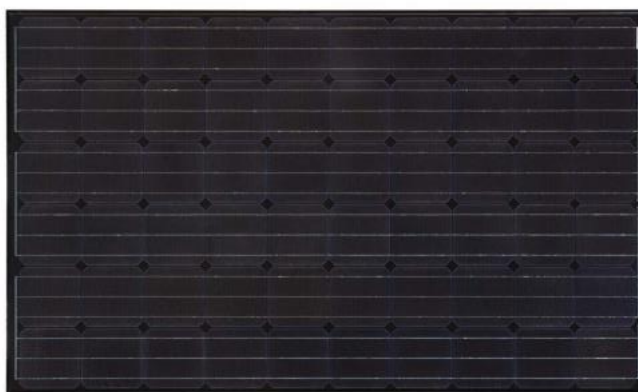
Obr. 3-1 Blokové schéma hybridního systému FRONIUS s bateriovou zálohou [13]

3.1.1 Návrh fotovoltaické elektrárny s akumulátorovou zálohou

Pro můj návrh jsem vybral FV panely od firmy München Solar typu Monocrystalline MSMD260AS-30BK BLACK.

V technické dokumentaci se udává maximální statická nosnost sněhu a větru na přední stranu 5400 Pa. Rám je vyroben z eloxovaného hliníku. Rozvodný box obsahuje bypass diodovou ochranu, krytí IP65 rozvodného boxu a konektory mají krytí IP67. Rozsah operačních teplot panelů -40 °C až 85 °C. Každý panel při jmenovitém výkonu má napětí 32,63 V tedy při 16 panelech v sérii dostaneme 522 V.

Výrobce tyto panely vyrábí v souladu s mezinárodními standardy: ISO 9001: 2008, ISO 14001: 2004, ISO 17025: 2005. Testováno v náročných prostředích jako je solná mlha a korozivní amoniak: IEC 61701, DIN 50916:1985 T2. Každý modul je nezávisle testován, aby se zajistil soulad s certifikací a regulačními normami. [12]



Obr. 3-2 Znáznornění vybraného fotovoltaického panelu [12]

Typ modulu	MSMD260AS-30BK
Výkon modulu	260 Wp
Výška modulu	1,64 m
Šířka modulu	0,99 m
Plocha modulu	1,62 m ²
Počet modulů	16 ks
Plocha 16 modulů	25,98 m ²
PV elektrárna maximální výkon	4,16 kWp
Účinnost modulu	16%
Teplotní koeficient	-0,45%/°C

Tab. 3-1 Návrh FV generátoru [12]

Jako hybridní měnič jsem vybral Fronius Symo Hybrid 3.0-3-S, s výkonem 5 kW na FV vstup, výkonem na baterie 3 kW a výkonem na AC 3 kW. Tento měnič jsem zvolil, protože je 3fázový a může napájet vybrané tepelné čerpadlo. [13]



Obr. 3-3 Fronius Symo hybrid 3.0-3-S měnič [13]

FRONIUS SYMO HYBRID 3.0-3-S	
DC vstup/ výstup	
Min. Vstupní napětí ($V_{DC MIN}$)	150 V
Nominální vstupní napětí (DC)	595 V
Maximální vstupní napětí ($U_{DC MAX}$)	1 000 V
Rozsah napětí ($U_{MPP MIN} - U_{MPP MAX}$)	200-800 V
Max. výkon z baterií	3 kW
Max. účinnost (FV napájecí systém)	97,5 %
AC vstup/ výstup	
Max. Výstupní AC proud ($I_{AC MAX}$)	4,5 A
Výstupní AC napětí	3~NPE 400 V / 230 V
Trvalý výkon	3 kW

Tab. 3-2 Technické parametry hybridního měniče Fronius Symo Hybrid 3,0-3-S [13]

Za akumulátor jsem vybral Fronius solar battery 4,5 typu LiFePO₄, s napětím 170V tento akumulátor je kompatibilní s hybridním měničem, který jsem zvolil.[15]



Obr. 3-4 Fronius Solar Battery 4.5 [14]

Fronius Solar Battery 4.5	
Jmenovitá kapacita	4,5 kWh
Použitelná kapacita	3,6 kWh
Životnost při vybíjení do 80% plné kapacity	6 000 cyklů
Rozsah napětí	120–170 V
Max. Vybíjecí proud	16 A

Tab. 3-3 Technické parametry Fronius Solar Battery 4.5 [14]

3.1.2 Návrh fotovoltaické elektrárny bez akumulátorové zálohy

Pro tento návrh jsem vybral stejné FV panely od firmy München Solar typu Monocrystalline MSMD260AS-30BK BLACK.[12]

Za měnič jsem zvolil Fronius Symo 3.0-3-S. Tento měnič má výkon na AC 3 kW. [15]

Fronius Symo 3.0-3-S	
DC vstup/ výstup	
Min. Vstupní napětí ($V_{DC\ MIN}$)	150 V
Nominální vstupní napětí (DC)	595 V
Maximální vstupní napětí ($U_{DC\ MAX}$)	1000 V
Rozsah napětí ($U_{MPP\ MIN} - U_{MPP\ MAX}$)	150-800 V
Max. účinnost (PV napájecí systém)	96,5 %
AC vstup/ výstup	
Max. Výstupní AC proud ($I_{AC\ MAX}$)	9 A
Výstupní AC napětí	3~NPE 400 V / 230 V
Trvalý výkon	3 kW

Tab. 3-4 Technické parametry hybridního měniče Fronius Symo 3.0-3-S [15]

3.2 Návrh Tepelného čerpadla

Pro tento rodinný dům jsem zvolil tepelné čerpadlo typu země-voda od společnosti STIEBEL-ELTRON typu WPC 07 cool s kolektory v hlubinném vrtu. Tento typ tepelného čerpadla je velmi kompaktní, protože je kombinovaný se zásobníkem teplé vody i oběhovým čerpadlem a poskytuje možnost temperování teploty v letním období. [7]



Obr. 3-5 STIEBEL-ELTRON WPC [16]

WPC 07 cool	
Tepelný výkon při B0/W35	7,5 kW
Průtok na straně tepelného zdroje	1,82 m ³ /h
Rozběhový proud	20 A
Topný faktor při B0/W35	4,85
Výkonové číslo při 60 °C	2,30
Elektrický příkon při 60 °C	3,1 kW
Topný výkon při 60 °C	7,2 kW

Tab. 3-5 technické údaje tepelného čerpadla WPC 07 cool [7]

4 Vyhodnocení návrhu po stránce energetické, ekonomické, ekologické a po stránce energetické soběstačnosti

4.1 Energetické vyhodnocení návrhu

Nejprve vyhodnotím roční úhrn záření v oblasti zvoleného rodinného domu. Následně zhodnotím, jaký sklon bude pro fotovoltaickou elektrárnu nejlepší. Dále pak odhadnu kolik FV elektrárna vyrobí elektrické energie za rok.

U tepelného čerpadla odhadnu energetickou spotřebu a porovnáám ji se současnou spotřebou.

4.1.1 Energetické vyhodnocení fotovoltaické elektrárny

Obr. 4-1 nám jen obrazně udává představu, jaký je roční úhrn globálního záření. Pro přesnější vyhodnocení globálního záření za rok jsem použil kalkulátor na stránkách PVGIS.

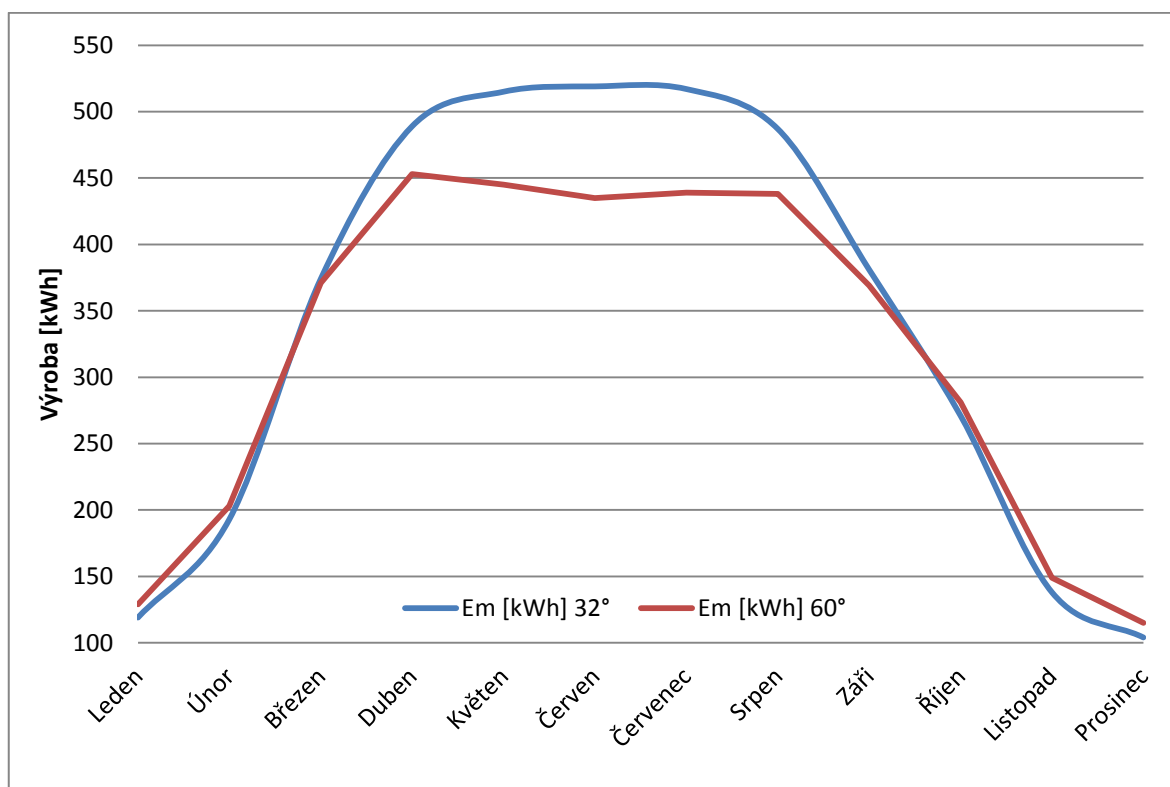


Obr. 4-1 Globální záření a solární energetický potenciál [17]

Měsíc	$E_m 32^\circ$ [kWh]	$E_m 60^\circ$ [kWh]
Leden	119	129
Únor	193	203
Březen	374	371
Duben	489	453
Květen	515	445
Červen	519	435
Červenec	517	439
Srpen	487	438
Září	381	369
Říjen	271	281
Listopad	138	149
Prosinec	104	115
Roční průměr	342	319
Celková roční produkce	4 110	3 830

Tab. 4-1 Průměrná produkce elektrické energie [18]

Obr. 4-2 (str. 33) ukazuje, že největší produkci FV elektrárny budeme mít v letním období. Jako základní předpoklad jsem vzal v úvahu úhel panelů 32° (podle sklonu střechy). Pokud bychom změnili úhel na 60° dostaneme měsíčně asi o 10 kWh více v zimním období, ale celková roční produkce poklesne o 280 kWh.



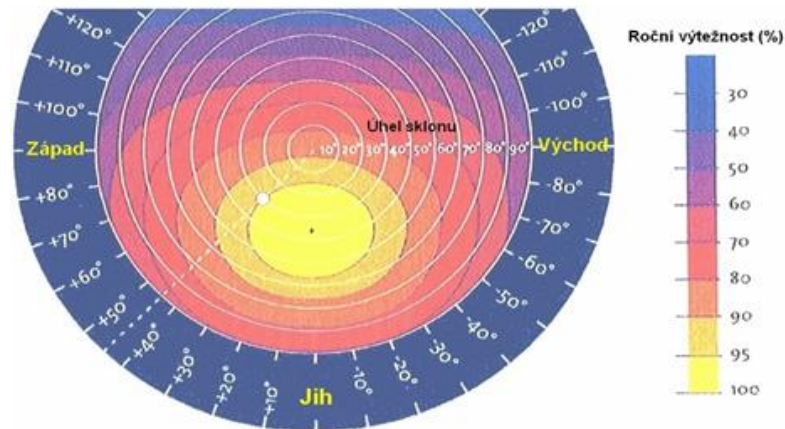
Obr. 4-2 Graf odhadované měsíční produkce z FV systém [18]

V Tab. 4-2 jsem odhadl ztráty měniče a ztráty v kabelech na 7 %, protože jsem vybral měnič nové generace, který udává účinnost až 97,5 %. Odhadl jsem o 5 % větší ztráty v odrazivosti, z důvodu 15° odchylky od jihu.

Jmenovitý výkon FV systému	4,16 kWp
Odhadované ztráty v důsledku teploty a nízká intenzita záření	12,5 %
Odhadované ztráty v důsledku úhlových vlivy odrazivosti	7,0 %
Další ztráty (kabely, měniče atd)	7,0 %
Kombinované PV systém ztráty	26,5 %

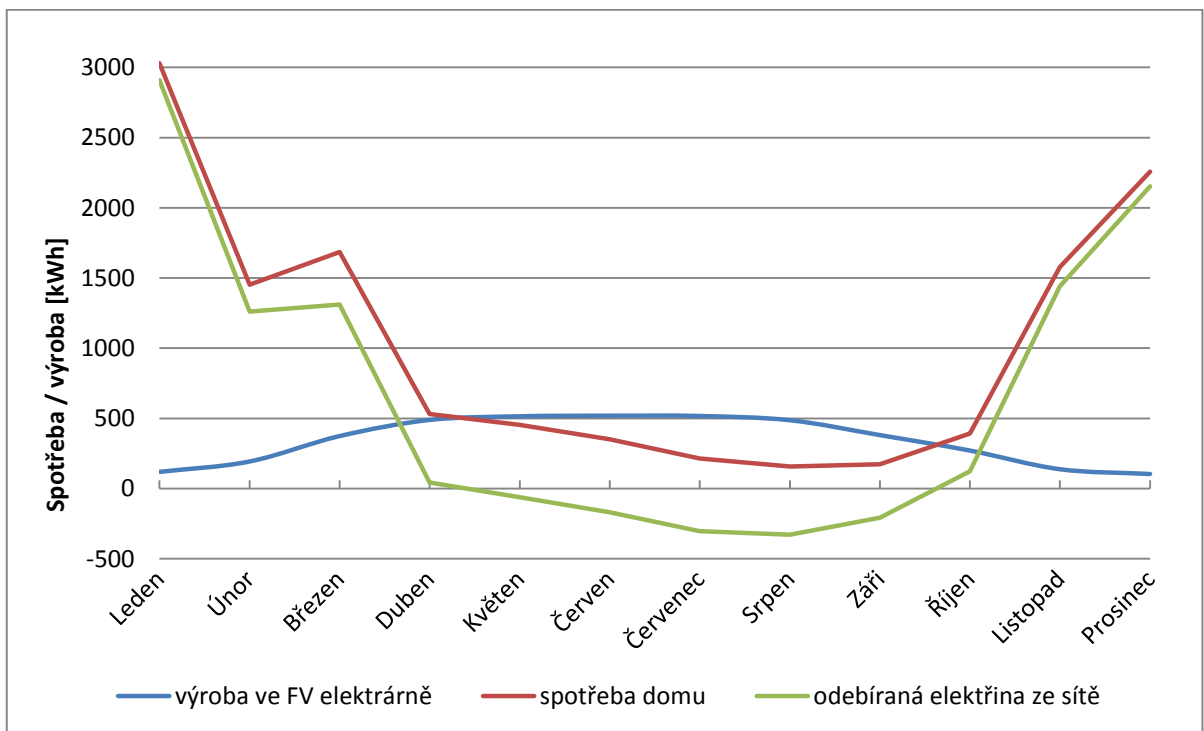
Tab. 4-2 odhadované ztráty FV systému

Na Obr. 4-3 můžeme vidět, že odklon domu od jihu o 15° nemusí vždy znamenat pokles výtěžnosti z FV elektrárny.



Obr. 4-3 Znárodnění snížení účinnosti vlivem horizontálního odklonu od jihu

Na Obr. 4-4 vidíme, že fotovoltaická elektrárna by snížila spotřebu v zimních měsících pouze nepatrně. Dále je patrný přebytek vyráběné elektrické energie v letních měsících, který by bylo možné prodat do sítě.

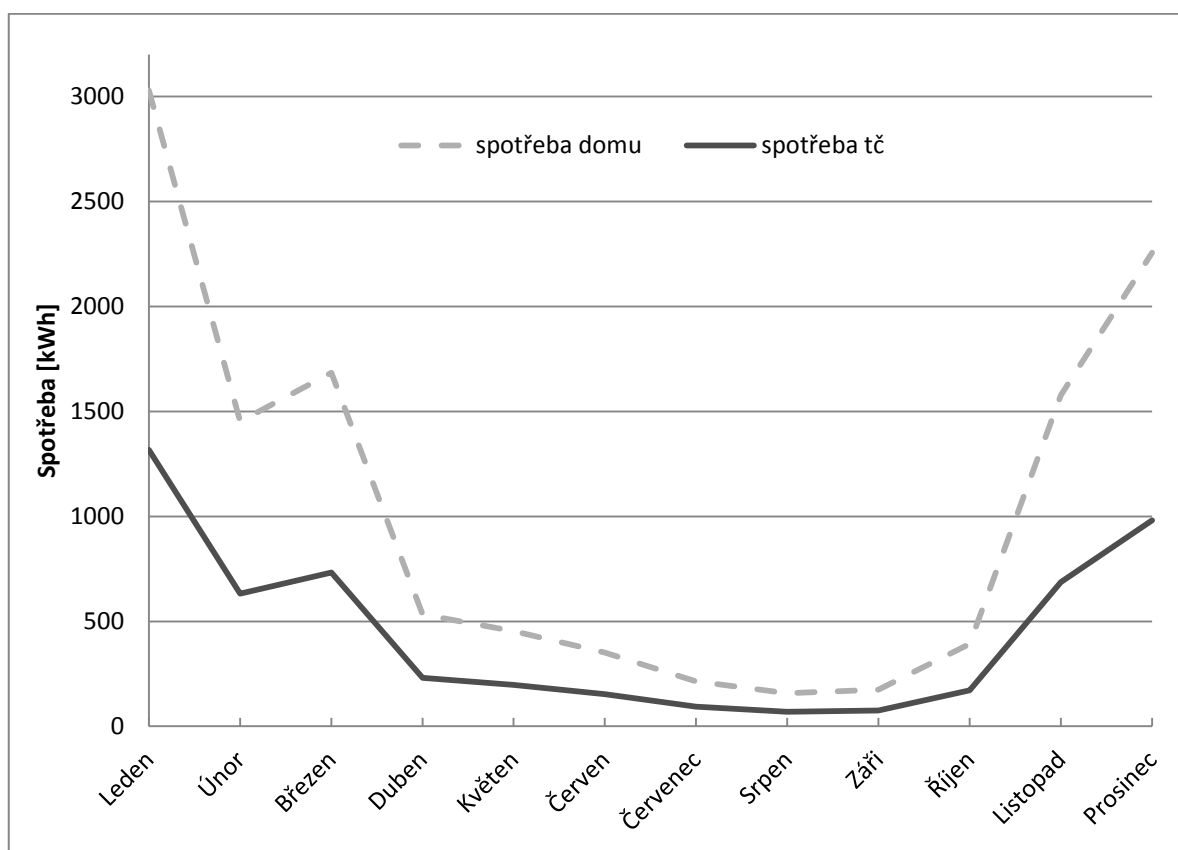


Obr. 4-4 Grafické znázornění spotřeby domu a výroby ve FV elektrárně

4.1.2 Energetické vyhodnocení tepelného čerpadla

Již v Tab. 2-6 (str. 22) jsem odhadl spotřebu na vytápění 7 765 kWh za rok a 3 450 kWh na ohřev teplé vody. Pokud tyto dva největší spotřebiče nahradíme tepelným čerpadlem, spotřeba tepelného čerpadla pro vytápění a ohřev vody za rok by byla průměrně 4 876,1 kWh. Tepelné čerpadlo má podle technických parametrů z Tab. 3-5 (str. 30) elektrický příkon 3,1 kW, topný výkon 7,2 kW a topný faktor 2,3 při 60 °C výstupní teploty vody.[9]

Na Obr. 4-5 můžeme vidět, jak se spotřeba rodinného domu snížila z maximálních 3 000 kWh za leden na 1 300 kWh. Zde již vidíme značné úspory.

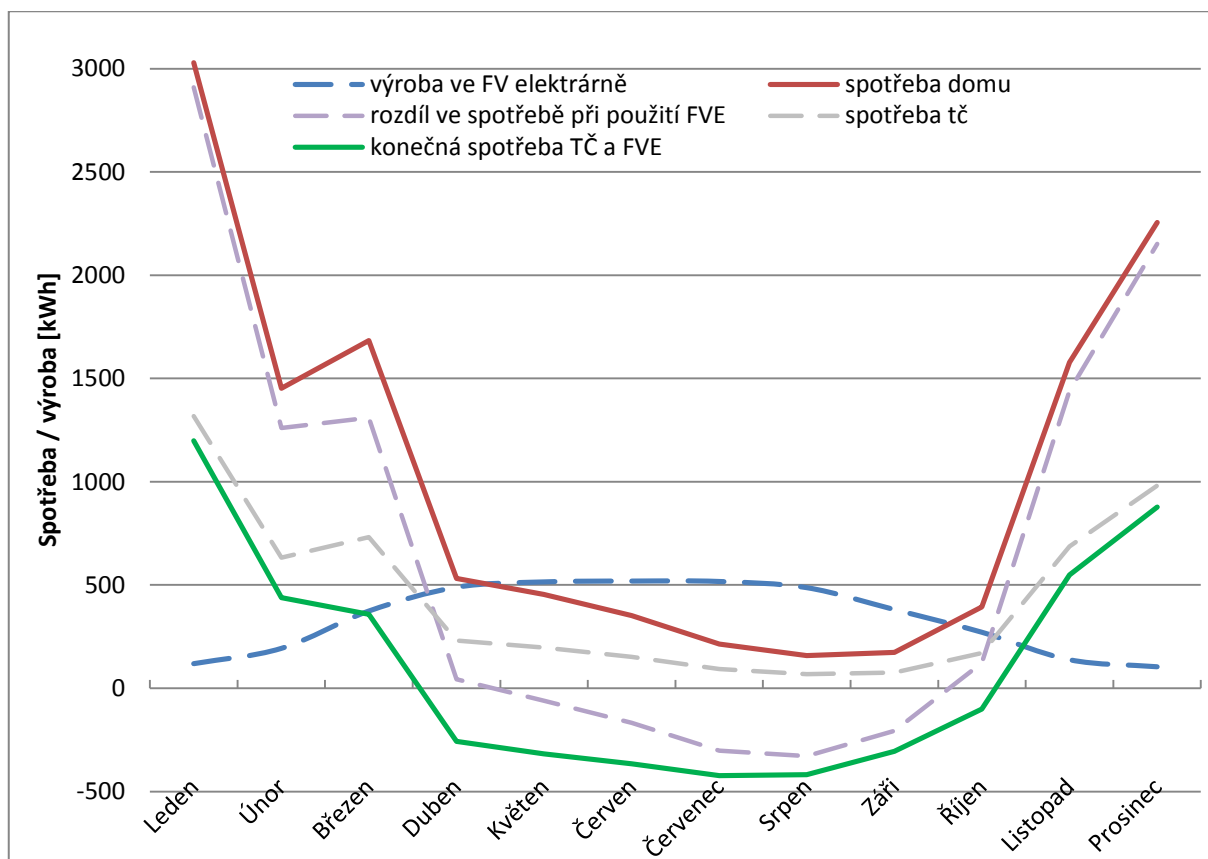


Obr. 4-5 Odhadovaná spotřeba domu s TČ

4.1.3 Energetické vyhodnocení hybridního systému TČ a FV

Pokud však použijeme hybridní systém s tepelným čerpadlem a fotovoltaickou elektrárnou získáme ještě větší úsporu el. energie.

Obr. 4-6 nám ukazuje, že konečná spotřeba rodinného domu je asi 1 200 kWh v lednu a v letních měsících dokonce může odprodávat elektřinu do sítě.



Obr. 4-6 Konečná spotřeba rodinného domu s TČ a FV

Pokud přičteme (respektive odečteme) výrobu z fotovoltaické elektrárny, dostane Tab. 4-3.

Výroba FV elektrárny	4 110,00 kWh
Spotřeba TČ odebíraná ze sítě	3 421,00 kWh
Celková roční spotřeba domu	4 642,37 kWh
Odprodaná elektřina	2 188,00 kWh

Tab. 4-3 Energetické poměry po instalaci hybridního systému

4.2 Ekonomické vyhodnocení

Pro výpočet použijeme ceny od ČEZu platné od 1. 1. 2015.

Tab. 4-4 nám ukazuje, kolik zaplatíme za kWh při aktuálních cenách v roce 2015. [19]

Pronájem jističe měsíčně	653,40 Kč
Cena 1kWh nízkého tarifu	2,34 Kč
Cena 1kWh vysokého tarifu	2,66 Kč

Tab. 4-4 aktuální ceny elektřiny ČEZ [19]

Pro výpočet ušetřených nákladů musíme nejdříve vypočítat roční náklady na průměrnou roční spotřebu před instalací hybridního systému. Viz Tab. 4-5.

Průměrná roční spotřeba nízký tarif	12 224 kWh	28 627,26 Kč
Průměrná roční spotřeba vysoký tarif	289 kWh	768,79 Kč
Roční plat za rezervovaný příkon		7 840,80 Kč
Celkem		37 236,85 Kč

Tab. 4-5 Náklady pro průměrnou roční spotřebu před instalací hybridního systému

4.2.1 Hybridní FV systém s akumulátorovou zálohou

Jako první jsem zvolil výpočet pořizovacích nákladů hybridního systému s bateriovou zálohou. Tato záloha by sloužila jako zdroj pro potřeby domu při nedostatečné výrobě ve FV elektrárně.

Materiál	Cena za kus/metr [Kč]	Kusů/metrů	Cena celkem [Kč]
FV panely MSMD260AS-30BK	5 190	16	83 040
Měnič Fronius Symo Hybrid	55 826	1	55 826
Fronius Solar Battery 4,5	185 249	1	185 249
Fronius Smart Meter	9 414	1	9 414
Vrt včetně kolektorů	750	100	75 000
Tepelné čerpadlo WPC 07 cool	220 800	1	220 800
Regulátor pro TČ WPMW 3	12 700	1	12 700
Celkem			642 029

Tab. 4-6 Pořizovací cena FV s akumulátorovou zálohou a TČ [13, 14]

Pro ekonomické vyhodnocení jsem si určil několik předpokladů. První předpoklad je, že baterie nebudeme vybíjet pod 80% jejich kapacity, abychom nezkrátili jejich životnost. Elektrickou energii vyrobenou ve FV elektrárně využijeme v topných měsících na topení a ohřev užitkové vody a v letních měsících pro temperování teploty místností a ohřev užitkové vody.

V Tab. 4-7 jsou vypočtené náklady průměrné roční spotřeby hybridního systému s akumulátorovou zálohou.

Průměrná roční spotřeba nízký tarif	4 353,37 kWh	10 195,11 Kč
Průměrná roční spotřeba vysoký tarif	289,00 kWh	768,79 Kč
Roční plat za rezervovaný příkon		7 840,80 Kč
Celkem		18 804,70 Kč

Tab. 4-7 Náklady průměrné roční spotřeby s tepelným čerpadlem

4.2.2 Roční náklady pro hybridní systém postavený v roce 2015

Zelený bonus pro výrobu ve FV elektrárně pro rok 2015 se již nevyplácí. Odkup silové elektřiny je stanoven pro rok 2015 na 598,95 Kč za 1 MWh.

Při prodeji námi vyrobené elektřiny dostaneme 1 310,5Kč.

Vyrobená elektřina	4 110,00 kWh
Odprodaná elektřina	2 188,00 kWh
Celková roční spotřeba domu	4 642,37 kWh

Tab. 4-8 zisk ze zeleného bonusu a odprodeje elektřiny

Z Tab. 4-9 můžeme vidět návratnost hybridního systému s akumulátorovou zálohou na 32,52 let, tato návratnost je nedostatečná.

Celkové roční náklady	17 494,20 Kč
Pořizovací náklady	642 029,00 Kč
Ušetřené roční náklady	19 742,65 Kč
Návratnost investic	32,52 let

Tab. 4-9 Návratnost investic

4.2.3 Roční náklady pro hybridní systém postavený v roce 2013

Pro představu jsem zpracoval ekonomické vyhodnocení pro rok 2013, protože od roku 2014 se zelené bonusy za vyrobenou elektřinu ve FV elektrárnách nedávají.

Zelený bonus bychom využili pro námi vyrobenou elektrickou energii ve fotovoltaické elektrárně.

Zelený bonus	2,860 Kč/kWh
Odprodej elektřiny	0,599 Kč/kWh

Tab. 4-10 Zelený bonus a cena odprodané elektřiny

Tab. 4-11 nám udává, kolik bychom dostali v zeleném bonusu a odprodeji vyrobené elektřiny.

Vyrobená elektřina	4 110 kWh	11 754,6 Kč
Odprodej elektřiny	2 188 kWh	1 310,5 Kč
Celkem		13 065,1 Kč

Tab. 4-11 Zisk ze zeleného bonusu a odprodeje elektřiny

Z Tab. 4-12 můžeme vidět návratnost hybridního systému s akumulátorovou zálohou na 20,38 let, což je velmi pomalá návratnost pořizovacích nákladů. Pokud by akumulátorová záloha nestála skoro 200 000 Kč a fotovoltaická elektrárna měla lepší produkci i v zimních měsících mohla by být dobrým řešením pro hybridní systém.

Celkové roční náklady	5 739,60 Kč
Ušetřené roční náklady	31 497,25 Kč
Pořizovací náklady	642 029,00 Kč
Návratnost investic	20,38 let

Tab. 4-12 Návratnost investic

4.2.4 Hybridní systém bez akumulátorové zálohy

Tento systém bez akumulátorové zálohy může napájet rodinný dům pouze při dostatečné výrobě ve FV elektrárně. Zbytek nevyužité elektřiny je možno odprodat do distribuční sítě.

Materiál	Cena za kus/metr [Kč]	Kusů/metrů	Cena celkem [Kč]
FV panely MSMD260AS-30BK	5 190	16	83 040
Měnič Fronius Symo	32 571	1	32 571
Fronius Smart Meter	9 414	1	9 414
Vrt včetně kolektorů	750	100	75 000
Tepelné čerpadlo WPC 07 cool	220 800	1	220 800
Regulátor pro TČ WPMW 3	12 700	1	12 700
Celkem			433 525

Tab. 4-13 Cenové zhodnocení hybridního systému bez akumulátorové zálohy [15]

Pro případ fotovoltaické elektrárny bez akumulátorové zálohy budu předpokládat, že vyrobená elektřina nebude pokrývat spotřebu tepelného čerpadla, protože největší výroba fotovoltaické elektrárny je v letních měsících a spotřeba tepelného čerpadla je hlavně v zimních měsících.

Průměrná roční spotřeba nízký tarif	4 876,1 kWh	11 419,29 Kč
Průměrná roční spotřeba vysoký tarif	289,0 kWh	768,79 Kč
Roční plat za rezervovaný příkon		7 840,80 Kč
Celkem		20 028,88 Kč

Tab. 4-14 Náklady průměrné roční spotřeby s tepelným čerpadlem

4.2.5 Roční náklady pro hybridní systém postavený v roce 2015

V Tab. 4-15 vidíme, že veškerá elektrická energie vyrobená ve FV elektrárně, je prodána do distribuční sítě za cenu silové elektřiny.

Vyrobena elektřina	4 110 kWh	
Odprodej elektřiny	4 110 kWh	2 461,7 Kč

Tab. 4-15 Odprodej elektřiny

U Tab. 4-16 vidíme návratnost 22,04 let, tato návratnost je nepřijatelná z důvodu pravděpodobně delší návratnosti, než je životnost některých prvků systému.

Celkové roční náklady	17 567,18 Kč
Požizovací náklady	433 525,00 Kč
Ušetřené roční náklady	19 669,67 Kč
Návratnost investic	22,04 let

Tab. 4-16 Návratnost investic

4.2.6 Roční náklady pro hybridní systém postavený v roce 2013

Pro představu si vypočteme náklady na hybridní systém pro rok 2013.

Tab. 4-17 nám ukazuje, kolik bychom dostali zeleného bonusu a za odprodej elektřiny do distribuční sítě.

Vyrobena elektřina	4 110 kWh	11 754,6 Kč
Odprodej elektřiny	4 110 kWh	2 461,7 Kč

Tab. 4-17 Zisk ze zeleného bonusu a odprodeje elektřiny

U Tab. 4-18 již vidíme návratnost 14 let, tato návratnost již je přijatelná.

Celkové roční náklady	5 812,58 Kč
Pořizovací náklady	433 525,00 Kč
Ušetřené roční náklady	31 424,27 Kč
Návratnost investic	13,8 let

Tab. 4-18 Návratnost investic

4.2.7 Náklady pouze za tepelné čerpadlo

Pro představu si vypočteme roční náklady tepelného čerpadla.

Materiál	Cena za kus/ metr [Kč]	Kusů/ metrů	Cena celkem [Kč]
Vrt včetně kolektorů	750	100	75 000
Tepelné čerpadlo WPC 07 cool	220 800	1	220 800
Regulátor pro TČ WPMW 3	12 700	1	12 700
Celkem			308 500

Tab. 4-19 Pořizovací náklady tepelného čerpadla

Průměrná roční spotřeba nízký tarif	4 876,1 kWh	11 419,28 Kč
Průměrná roční spotřeba vysoký tarif	289,0 kWh	768,79 Kč
Roční pronájem elektroměru		7 840,80 Kč
Celkem		20 028,88 Kč

Tab. 4-20 Průměrná roční spotřeba tepelného čerpadla

Celkové roční náklady	20 028,88 Kč
Pořizovací náklady	308 500,00 Kč
Ušetřené roční náklady	17 207,97 Kč
Návratnost investic	17,93 let

Tab. 4-21 Návratnost investic

4.3 Ekologické vyhodnocení

U ekologického vyhodnocení se zaměřím na životnost jednotlivých prvků systému a následné recyklaci použitých materiálů. Dále pak uvažuji, o kolik by se snížila produkce emisí při předpokladu snížení celkové výroby elektřiny.

4.3.1 Životnost fotovoltaických panelů

Fotovoltaický panel má definovanou životnost jako pokles výkonu o 20 %. Výrobce München Solar garantuje 12-ti letou záruku na kvalitu zpracování a 25-ti letou záruku na výkon panelu. Skoro každý výrobce běžně dostupných panelů garantuje maximální pokles účinnosti o 20 % za 25 let. Avšak na nejstarších instalacích po 25 letech se pokles účinnosti panelu pohybuje kolem 6 až 8 %. Proto skutečná životnost může být delší. [12, 23]

Předpoklad životnosti (pokles výkonu o 20 %) v současné době se odhaduje u kvalitních panelů i 30 až 40 let od jejich instalace. Tato doba však nepředstavuje konečnou životnost, pouze představuje snížení účinnosti výroby elektrické energie. Vlastník proto může zvážit, jestli se mu vyplatí vyrábět se sníženou účinností nebo pořízení nových panelů. [12, 23]

4.3.2 Recyklovatelnost fotovoltaických panelů

Největším podílem hmotnosti krystalických panelů připadá na sklo (60–70 %) a hliníkový rám (kolem 20 %). Oba tyto materiály mají téměř 100 % recyklovatelnost. Ostatní kovové materiály jsou získávány pro svoji vysokou hodnotu. Plasty však lze recyklovat pouze částečně nebo vůbec. [23]

Hliník - patří mezi nejvíce zastoupené prvky v zemské kůře. Jeho průmyslová výroba do poměrně nedávné doby byla obtížným procesem. Hlavním důvodem je to, že elementární hliník nelze metalurgicky vyredukovat z jeho rudy. Na rozdíl od železa, kdy se relativně snadno získá z rudy za pomoci koksu ve vysoké peci. Až po zvládnutí průmyslové elektrolýzy taveniny kovových rud umožnilo produkci čistého hliníku ve velkém množství. [24]

Při elektrolýze se z taveniny směsi bauxitu a kryolitu o teplotě přibližně 950 °C na katodě vylučuje elementární hliník a na grafitové anodě se uvolňuje kyslík, který reaguje s grafitem za vzniku toxického oxidu uhelnatého. [24]

Tato primární produkce je energeticky velmi náročná asi 55,6 kWh elektřiny (200 MJ) na jeden kilogram a představuje asi 8 % spotřeby energie na výrobu celého panelu. Hliník však lze snadno recyklovat s velmi nízkou spotřebou asi 8 MJ na kilogram převážně tepelné energie, výtěžnost z této recyklace se blíží 100 %. [24]

Sklo - je základní konstrukční díl všech typů fotovoltaických panelů, jen v některých případech jsou použity plastové materiály. Recyklace skla snižuje spotřebu energie na jeho výrobu až o 40 %. Výhodou je, že sklo ve většině případů lze recyklovat na původní výrobek bez snížení mechanických vlastností. [23]

Plastové komponenty jsou vlivem klimatických podmínek obvykle degradovány, jen vzácně jsou recyklovatelné na původní výrobek. V praxi se spíše využívá energetická recyklace. [23]

Fotovoltaické články - u krystalických technologií se podíl hmotnosti článků pohybuje v jednotkách procent. Krystalické články se podílejí až z 80 % na spotřebované energii a zhruba z 50 % jeho ceny. U tenkovrstvých článků je podíl na hmotnosti panelů ještě o jeden až dva řády nižší. V současné době jsou první praktické zkušenosti s recyklací celých článků nebo desek. [23]

Jelikož se jedná o polovodičové materiály s příměsemi vzácných kovů, jejich recyklace je velice důležitá. [23]

Těžké kovy - představují zanedbatelné položky na výrobu panelů z hlediska hmotnosti, ceny i spotřeby energie. Podíl jednotlivých kovů je v desetinách promile celkové hmotnosti panelů. Energetická i materiálová recyklace je srovnatelná s výrobou z primárních surovin. U těžkých kovů se jedná o jiný důvod recyklace. Protože většinou jsou těžké kovy toxické, musíme zamezit jejich kontakt s životním prostředím.

U stříbra se očekává vyčerpání ekonomicky těžitelných zásob v blízké budoucnosti a proto i nárůst nákladů na těžbu i ceny stříbra. Tento problém se dá vyřešit použitím jiných materiálů. [23]

4.3.3 Životnost tepelných čerpadel

Životnost kompresoru závisí na počtu startů kompresoru, ta pak udává celkovou životnost tepelného čerpadla. Pokud se navrhne tepelné čerpadlo tak, aby kompresor pracoval prakticky bez zastavení, prodloužíme životnost kompresoru a tedy i tepelného

čerpadla. Dalším důležitým prvkem tepelného čerpadla je regulace, která optimálně nastavuje výkon tepelného čerpadla a minimalizuje počet startů kompresoru. U tepelných čerpadel země-voda je ověřená životnost kompresoru více než 20 let. [25]

Životnost zemních kolektorů nebo vrtů je udávána v řádech desítek let i 100 let. [26]

Do vrtů se vkládá kolektorové potrubí obvykle jednoduché nebo dvojité U trubice z plastu HDPE nebo PEX. Toto potrubí se většinou zalévá do směsi bentonitu a cementu nebo jiných směsí v závislosti na geologických podmínkách.

4.3.4 Recyklovatelnost tepelných čerpadel

Tepelné čerpadlo je chráněno proti korozi; vnější díly opláštění jsou zhotoveny z žárově pozinkovaného ocelového plechu a dodatečně nastříkané vypalovaným lakem.

Tepelná čerpadla se mohou skládat z různých materiálů, protože jsem nenašel přesný výčet materiálů použitých u mnou vybraného tepelného čerpadla, vybral jsem nejčastěji používané.

Ocel - je mnohem úspornější recyklovat než ji pracně a draze vyrábět ze surového železa. Recyklováním oceli se ušetří velké množství železné rudy, uhlí a vápence. Recykluje se až 75 % oceli každý rok. [27]

Nerez ocel – je slitina železa, která obsahuje příměsi na ochranu proti korozi a rzi nejčastěji nikl a chrom. Tato slitina je mimořádně silná a odolná i při vysokých teplotách, kdy poskytuje optimální výkon při náročných ekologických a chemických podmínkách. Kromě niklu a chromu, jsou použité i jiné legující prvky jako molybden, titan, wolfram a vanad. Většina z těchto speciálních slitin jsou si vzhledem velmi podobné. Pro odlišení se používá rentgenová spektrometrie. [28]

Nerezová ocel je 100 % recyklovatelná a neztrácí žádné ze svých původních fyzikálních vlastností v recyklačním procesu. Recyklace jedné tuny oceli, ušetří 1 100 kg železné rudy, 630 kg uhlí a 55 kg vápence. Průměrný výrobek z nerezové oceli se skládá z přibližně 60 % recyklovaného materiálu. [28]

Měď - surová měď se vyrábí tzv. pražením sulfidových rud. Dalším krokem je následná redukce vzniklého oxidu uhlím. Druhá možnost je sulfatační pražení, kde se převede sulfid na sulfát, který se z mědi vylučuje pomocí železa (cementace). Vyrobená surová černá měď dosahuje čistoty 94–97 % a musí se rafinovat.

Rafinace surové mědi se provede přetavením v nístějové peci za přídavku dřevěného uhlí. Takto rafinovaná hutní měď má čistotu 99,7 %. Pro dokonalejší rafinaci mědi se používá elektrolyza v síranovém prostředí. Elektrolyticky rafinovaná měď dosahuje až 99,95 % čistoty. Měď se zcela recykluje a při recyklování mědi se ušetří až 85 % energií. [30]

Slitiny mědi – jako nejčastěji používané slitiny mědi jsou bronz a mosaz. V dnešní době se používá nejvíce mosaz.

Mosaz - výroba mosazi z nové mědi a zinku plýtvá surovinami a je neekonomická, takže se pro výrobu nových mosazných výrobků používá recyklovaného odpadu. [31]

Co se týká PEX a HDPE tak recyklace je velice omezená hlavně z důvodu, že se zalévá do bentonitu s cementem. Tím pádem je prakticky nemožné oddělit potrubí od země.

STIEBEL-ELTRON používá pro svá tepelná čerpadla chladivo typu R410A, toto chladivo je směs dvou látek Difluorethan (R32) a Pentafluoroethan (R125). Podle zákona č. 356/2003 Sb. chladivo typu R410A není klasifikováno jako nebezpečné. Tato směs je stabilní za normálních podmínek. [32]

4.3.5 Snížení emisí produkovaných v tepelných elektrárnách

Jako předpoklad jsem uvažoval 65 % odsíření SO₂ a 98 % odlučování tuhých látek filtrů elektrárny.

Tab. 4-22 ukazuje, kolik vyprodukuje elektrárna emisí pro pokrytí spotřeby rodinného domu. Referenční průměrná roční spotřeba domu je 12 513 kWh.

Emise	Výroba 1MWh _e [kg]	Roční emise [kg]
Tuhé látky	3,00	37,539
SO ₂	5,30	66,319
NO _x	7,70	96,350
CO	0,65	8,133
CO ₂	1213,00	15 178,269

Tab. 4-22 Vypočtení produkce v tepelné elektrárně pro pokrytí spotřeby domu

[33]

Započteme-li naše snížení spotřeby po instalaci hybridního systému s akumulátorovou zálohou, získáme Tab. 4-23. Referenční průměrná roční spotřeba domu s hybridním systémem je 4 642,37 kWh. Snížíme výrobu o 7 870,63 kWh.

Emise	Výroba 1MWh _e [kg]	Roční emise [kg]
Tuhé látky	3,00	23,612
SO ₂	5,30	41,710
NO _x	7,70	60,600
CO	0,65	5,120
CO ₂	1213,00	9 547,074

Tab. 4-23 Snížení produkce emisí v tepelné elektrárně pro pokrytí spotřeby domu [33]

Při výpočtu snížení spotřeby po instalaci hybridního systému bez akumulátorové zálohy, získáme Tab. 4-24. Referenční průměrná roční spotřeba domu po instalaci hybridního systému je 5 165,1 kWh. Snížíme výrobu el. energie o 7 347,9 kWh.

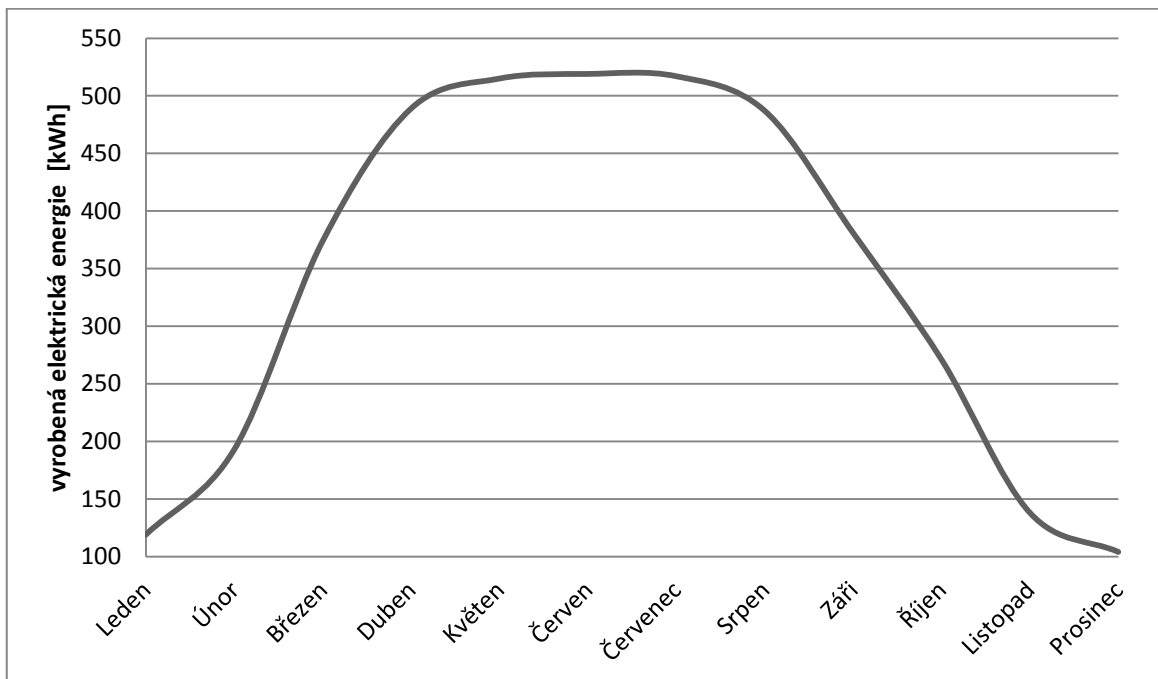
Emise	Výroba 1MWh _e [kg]	Roční emise [kg]
Tuhé látky	3,00	21,567
SO ₂	5,30	38,102
NO _x	7,70	55,355
CO	0,65	4,673
CO ₂	1213,00	8 720,257

Tab. 4-24 Snížení produkce emisí v tepelné elektrárně pro pokrytí spotřeby domu [33]

4.4 Energetická soběstačnost

Z Obr. 4-7 (str. 48) vidíme, že fotovoltaická elektrárna vyrábí elektrickou energii hlavně od března do listopadu. V prosinci, lednu a únoru je výroba zanedbatelná, až nulová, záleží hlavně na počasí. Avšak v těchto měsících je největší potřeba topit. Takže instalovat fotovoltaickou elektrárnu v kombinaci s tepelným čerpadlem se vyplatí, ale

nemůžeme čekat ostrovní provoz rodinného domu. Ovšem v jarních a podzimních měsících, kdy je chladno, fotovoltaická elektrárna ještě vyrábí větší množství elektřiny, může se snížit spotřeba domu na minimum a v letních měsících může být dům napájen pouze z fotovoltaické elektrárny a dokonce odprodávat do sítě přebytečnou energii.



Obr. 4-7 Odhadovaná výroba elektřiny fotovoltaickou elektrárnou

5 Závěr

Jak již bylo řečeno v úvodu, v dnešní době nemáme náhradu za fosilní paliva. Pokud se však bude počítat pro nové stavby s dobrým zateplením, s tepelným čerpadlem a fotovoltaickou elektrárnou, snížíme emise skleníkových plynů a zároveň i spotřebu elektrické energie produkovanou v tepelných elektrárnách na fosilní paliva. Věřím, že pokud se tepelná čerpadla stanou nedílnou součástí nových staveb, sníží se i jejich pořizovací cena a tedy i jejich návratnost.

Pokud se podíváme na Obr. 4-1 (str. 31) vidíme, že po celé České republice je roční úhrn slunečního záření od 1 100 do 1 300 kWh/m². A navíc máme značně proměnlivé počasí. Stejná fotovoltaická elektrárna 26 m² 4,16 kWp, by nám vyprodukovala v jižní Francii i 6 240 kWh a v jižní Itálii 6 864 kWh, u nás však vyrobí asi 4 110 kWh. Ale v těchto zemích nepotřebují tolik topit spíše chladit. Takže mají maximální výrobu z fotovoltaické elektrárny ve stejnou dobu, kdy běží klimatizace.

Horizontální odklon od jihu v našem případě 15° ve výrobě elektrické energie nebude mít znatelný vliv, který by bylo možné odhadnout.

Co se týká mého návrhu pro rok 2013, vybral jsem pro tento rodinný dům hybridní systém fotovoltaické elektrárny bez akumulátorové zálohy s tepelným čerpadlem. Tato kombinace je nejlepší z hlediska pořizovacích nákladů a návratnosti do 14 let. Teoreticky bychom mohli ještě navýšit plochu pokrytou fotovoltaickou elektrárnou, ale podle mých odhadů by se panely fotovoltaické elektrárny nevešly na střechu.

V roce 2015 bez zeleného bonusu jsou všechny návrhy na hranici životnosti jednotlivých prvků systému. Jediná možnost v roce 2015 zatím je pořídit pouze tepelné čerpadlo s návratností 18,3 let i tak je s předpokladem 20 let životnosti úspora jen nepatrná.

Pokud bychom se podívali ještě na ekologické hledisko snížení emisí, situace je mnohem příznivější. Roční snížení emisí je v Tab. 4-23 (str. 47) pro hybridní systém s akumulátorovou zálohou a Tab. 4-24 (str. 47) pro hybridní systém bez akumulátorové zálohy. V obou případech se sníží produkce škodlivých emisí více než o polovinu.

Z ekologického hlediska je většina materiálů používána běžně. Již jsou zakázána chladiva na bázi freonů, které narušují ozónovou vrstvu. V dnešní době se používají různé druhy chladiv, u STIEBEL-ELTRON se používá chladivo typu R410A.

Rodinný dům by nebyl energeticky soběstačný ani při použití fotovoltaické elektrárny s akumulátorovou zálohou.

6 Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] Ing. BECHNÍK, Bronislav Ph.D., Technická zařízení budov [online]. *Historie a perspektivy OZE - fotovoltaika, technologie krystalického křemíku*. 9. 3. 2009. [cit. 21. 2. 2015]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/5470-historie-a-perspektivy-oze-fotovoltaika-technologie-krystalickeho-kremiku>
- [2] CLARK, Owain D. University of Southampton Research Repository ePrints Solon [online]. *Thin Film Amorphous Silicon Cells by Inductive PECVD, with a View Towards Flexible Substrates*. June 2009. [cit. 21. 2. 2015]. Dostupné z: <http://eprints.soton.ac.uk/66604/1.hasCoversheetVersion/Thesis.pdf>
- [3] *Amorfni křemik - Technologie, která neprávem stojí opomenutá v koutě*. Maxisun.cz fotovoltaické systémy [online]. [cit. 16. 3. 2013]. Dostupné z: <http://www.maxisun.cz/clanky/amorfni-kremik-technologie-ktera-nepravem-stoji-opomenuta-v-koute>
- [4] Solimpeks [online]. *Volther Hybrid PV-T Panels*. 2010. [cit. 21. 2. 2015]. Dostupné z: http://www.solimpeks.com/wp-content/uploads/2012/06/pvt_presentation_en.pdf
- [5] Tribase [online]. *Fotovoltaické hybridní moduly*. [cit. 21. 2. 2015]. Dostupné z: <http://www.tribase.cz/sites/default/files/Hybridni%20FV%20panely.pdf>
- [6] Voltronic power [online]. *InfiniSolar On-grid Inverter with Energy Storage*. [cit. 21. 2. 2015]. Dostupné z: http://www.voltronicpower.com/oCart2/files/brochure/InfiniSolar_DS.pdf
- [7] STIEBEL ELTRON [online]. *Získávání energie pro denní potřebu*. [cit. 21. 2. 2015]. Dostupné z: http://www.stiebel-eltron.cz/imperia/md/content/lg/stiebeltronczechrepublic/koncovizakaznici/prospekty/obnovitelne zdroje/obnovitelne_zdroje_2012.pdf
- [8] Intersekce [online]. *Tepelná čerpadla*. [cit. 21. 2. 2015]. Dostupné z: <http://intersekce.cz/dodavame/tepelna-cerpadla.html>
- [9] STIEBEL ELTRON [online]. *Technické informace tepelná čerpadla*. Únor 2009 [cit. 21. 2. 2015]. Dostupné z: http://intersekce.cz/images/download/tepelna_cerpadla_2009.pdf
- [10] Google [online]. *Google maps*. [cit. 21. 2. 2015]. Dostupné z: <https://www.google.cz/maps/place/Kounice/@50.1055437,14.8496021,108m/data=!3m1!1e3!4m2!3m1!1s0x470c0a67fa248117:0xe4d721333b3c286c>

- [11] Ing. REINBERK, Z., Ing. ŠUBRT, R., Ing. ZELENÁ, L. tzbinfo. [cit. 14. 2. 2015]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/128-on-line-kalkulacka-uspor-a-dotaci-zelena-usporam>
- [12] München Solar. [online]. *Datasheet M series Monocrystalline MSMDxxxAS-30BK*. [cit. 21. 2. 2014]. Dostupné z: http://www.ostrovni-elektrarny.cz/docs/Munchen_Solar_MMSMDxxxAS-30BK.pdf
- [13] Fronius [online]. *FRONIUS SYMO HYBRID PLANUNGSINFORMATIONEN*. [cit. 21. 2. 2015]. Dostupné z: http://shop.solarpartner.cz/pdf/Fronius_Symo_Hybrid_.pdf
- [14] Solarpartner [online]. *Fronius Solar Battery 4.5* [cit. 21. 2. 2015]. Dostupné z: <http://shop.solarpartner.cz/fronius-solar-battery-4-5>
- [15] Solarpartner [online]. *Střídač - měnič Fronius Symo 3.0-3-M*. [cit. 21. 2. 2015]. Dostupné z: <http://shop.solarpartner.cz/stridac-menic-fronius-symo-3-0-3-s>
- [16] For therm, PVA expo Praha [online]. *Tepelné čerpadlo země/voda WPC 04-13/WPC 04-13 cool*. 2015. [cit. 25. 3. 2015]. Dostupné z: <http://www.for-therm.cz/2014/cz/nanave.asp>
- [17] HULD, Thomas, PINEDO-PASCUA, Irene, European Commission – Joint Research Centre [online]. *Global irradiation and solar electricity potential*. 21. 9. 2012. [cit. 25. 3. 2015]. Dostupné z: http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmaps/eu_cmsaf_opt/G_opt_CZ.png
- [18] JRC, European Commission [online]. *Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps*. [cit. 25. 3. 2015]. Dostupné z: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>
- [19] Technická zařízení budov [online]. *Přehled cen elektrické energie*. 1. 1. 2015. [cit. 28. 3. 2015]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/prehled-cen-elektricke-energie#d56>
- [20] Solární energie [online]. *Zelený bonus jak funguje nebo přímý výkup*. [cit. 28. 3. 2015]. Dostupné z: <http://solarnienergie-cz.webnode.cz/zeleny-bonus-jak-funguje/>
- [21] Poži hlubinné vrty [online]. *Ceník*. [cit. 21. 3. 2015]. Dostupné z: <http://www.pozi.cz/cenik>

- [22] STIEBEL ELTRON [online]. *Přehled výrobků 2014*. [cit. 21. 3. 2015]. Dostupné z: http://www.stiebel-eltron.cz/imperia/md/content/lg/stiebeleltronczechrepublic/koncovizakaznici/prospekty/cenik_se_2014.pdf
- [23] Ing. BECHNÍK, Bronislav Ph.D., *Technická zařízení budov* [online]. *Recyklace fotovoltaických panelů na konci životnosti*. 26. 9. 2011. [cit. 21. 3. 2015]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/7868-recyklace-fotovoltaickych-panelu-na-konci-zivotnosti>
- [24] AL INVEST [online]. *Výroba hliníku*. [cit. 21. 3. 2015]. Dostupné z: <http://www.alinvest.cz/hlinik/vyroba-hliniku>
- [25] A&A, tepelná čerpadla [online]. *Jaká je životnost tepelných čerpadel?*. [cit. 21. 3. 2015]. Dostupné z: <http://www.topimecerpadlem.cz/otazky-odpovedi/jaka-je-zivotnost-tepelnych-cerpadel/>
- [26] Asociace pro využití tepelných čerpadel [online]. Příručka: *Vrty pro tepelná čerpadla*. srpen 2012. [cit. 21. 3. 2015]. Dostupné z: <http://www.avtc.cz/?page=dokumenty>
- [27] DM Mont [online]. *Výroba a vlastnosti oceli* [cit. 24. 3. 2015]. Dostupné z: <http://dmmont.webnode.cz/clanky/ocel/vlastnosti-oceli/>
- [28] Bureau of International Recykling [online]. *Stainless Steel and Special Alloys*. [cit. 24. 3. 2015]. Dostupné z: <http://www.bir.org/industry/stainless-steel/>
- [29] Metal centrum [online]. *Měď* [cit. 24. 3. 2015]. Dostupné z: <http://www.metalcentrum.cz/clanek/med/>
- [30] Šrotařský informační server [online]. *Efektivní využití a recyklace mědi* [cit. 24. 3. 2015]. Dostupné z: <http://www.sroty.cz/efektivni-vyuziti-a-recyklace-medi>
- [31] Středisko mědi [online]. *Mosazi* [cit. 24. 3. 2015]. Dostupné z: <http://copperalliance.eu/cz/o-m%C4%9Bdi/slitiny/mosazi>
- [32] Ekotez [online]. *Bezpečnostní list - Chladivo R410A*. 14. října 2013 [cit. 28. 3. 2015]. Dostupné z: <http://www.ekotez.cz/pub///Chladivo%20R410A.pdf>
- [33] Ing. SRDEČNÝ, Karel, Ing. TRUXA, 2000. *Obnovitelné zdroje energie*. 1. vydání. Praha: ARSCI.
- [34] ČEZ [online]. *Ceník produktových řad*. [cit. 11. 4. 2015]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/content/file/produkty-a-sluzby/obcane-a-domacnosti/elektrina-2015/sdruzeny-ceniky-prehled-vsech-pr.pdf>