



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ENERGETICKÝ ÚSTAV**

ENERGY INSTITUTE

**MOŽNOSTI AKUMULACE ELEKTRICKÉ ENERGIE ZE  
SOLÁRNÍCH SYSTÉMŮ**

SOLAR ENERGY STORAGE

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Pavel Řehák**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. Ján Poláčik**

**BRNO 2016**





# Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav  
Student: **Pavel Řehák**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Energetika, procesy a životní prostředí  
Vedoucí práce: **Ing. Ján Poláčik**  
Akademický rok: 2015/16

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:

## Možnosti akumulace elektrické energie ze solárních systémů

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Produkce elektrické energie ze solárních panelů je silně ovlivněna mimo jiné proměnlivostí a jistou mírou nestability počasí. Tento jev je jednou z příčin, která vytváří nerovnováhu mezi výrobou a spotřebou elektrické energie. Je snahou tento jev co nejvíce eliminovat například pomocí akumulace. Tato práce je zaměřena na problematiku akumulace elektrické energie ze solárních panelů (solárních tašek) pro zvolenou nemovitost.

### Cíle bakalářské práce:

1. Obecný popis principu zapojení solárních panelů (tašek) a jejich napojení na zásobovaný objekt anebo přenosovou soustavu.
2. Popis možností akumulace elektrické energie. Jako například využití baterie, stlačeného vzduchu, vodíku, a podobně.
3. Praktický návrh a výpočet systému akumulace elektrické energie pro zvolený objekt.

### Seznam literatury:

QUASCHNING, Volker: Obnovitelné zdroje energií. Grada Publishing a.s., 2010. ISBN 978-80-2-7-3250-3

W.Weiss, A.Themessl: Solární systémy, Grada Publishing, a.s., 2005

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zabývá problematikou přebytečné energie ze solárních systémů. Cílem je navrhnout takový solární systém, který by měl být soběstačný bez využití el. energie ze sítě. V úvodu bakalářské práce jsou uvedeny základní informace o funkčnosti solárních panelů a nejvhodnějším prostředí pro jejich umístění. V analytické části jsou uvedeny obecné informace o jednotlivých typech akumulace a jejich výhody a nevýhody při použití. V praktické části je popsán a vypočítán návrh solárního systému pro určenou nemovitost.

### **KLÍČOVÁ SLOVA:**

tašky, solární, panel, akumulace, vodík, elektrolyza, akumulátor, fotovoltaika, obnovitelné zdroje

## **ABSTRACT**

This thesis aims to find solution that deals with excess energy produced by solar systems. Main point in this Bachelor's thesis is to solve off-grid solar power system that is completely self-sufficient. Introduction examines how solar panels works and the best weather conditions of operating. Analytics part of this thesis focuses on basic information about types of power accumulation with their advantages and disadvantages. Practical part proposes system used and also mathematical solution of solar system.

### **KLÁČOVÁ SLOVA:**

solar, panel, accumulation, elektrolyse, hydrogen, smart home, photovoltaic, renewable energy



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE:**

ŘEHÁK, P. *Možnosti akumulace elektrické energie ze solárních systémů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 46 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Ján Poláček



## **PROHLÁŠENÍ:**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „*Možnosti akumulace elektrické energie ze solárních systémů*“ vypracoval samostatně pod vedením vedoucího práce a s užitím uvedené odborné literatury a podkladů.

V Brně, dne.....

Podpis:





## **Poděkování**

Tímto děkuji za nápomocné připomínky od vedoucího mé bakalářské práce Ing. Jánovi Poláčikovi a dále za podporu a poskytnutí cenných informací Radku Doležalovi ze Solárních tašek.



## Obsah

Úvod.....	- 15 -
1 Sluneční záření .....	- 17 -
2 Fotovoltaika.....	- 19 -
2.1 Výroba a princip solárního panelu .....	- 19 -
3 Akumulace.....	- 21 -
3.1 Olověné baterie elektrochemie .....	- 21 -
3.2 Alkalické baterie elektrochemie .....	- 23 -
3.2.1 Nikl-ocelové a nikl-kadmiové akumulátory .....	- 24 -
3.2.2 Lithium Iontové akumulátory .....	- 27 -
3.3 Superkondenzátory .....	- 28 -
3.4 Vodíkové hospodářství (power to gas) .....	- 29 -
3.5 Akumulace el. energie do tepla .....	- 31 -
3.6 Ostatní zdroje akumulace .....	- 31 -
3.6.1 Přečerpávací vodní elektrárny.....	- 31 -
3.6.2 Setrvačníky .....	- 31 -
3.6.3 Stlačený vzduch .....	- 32 -
4 Solární Systém.....	- 33 -
4.1 Komponenty a jejich technická data.....	- 33 -
4.1.1 Fotovoltaický panel .....	- 33 -
4.1.2 Power box (Optimizer) .....	- 35 -
4.1.3 Měnič.....	- 37 -
4.1.4 Baterie (Tesla PowerWall Battery) .....	- 38 -
4.1.5 Watt Router.....	- 39 -
4.2 Připojení k systému rozvodu elektrické energie.....	- 39 -
5 Návrh solárního systému.....	- 41 -
5.1 Návrh plochy střechy .....	- 41 -
5.2 Návrh spotřeby energie rodinného domu .....	- 42 -
5.3 Výroba energie z fotovoltaického systému .....	- 47 -
5.4 Návrh denního ukládání přebytečné energie .....	- 48 -
5.5 Finanční zhodnocení .....	- 49 -
6 Další možnosti do budoucna .....	- 53 -
6.1 Využití pasivních domů .....	- 53 -
6.2 Montáž tepelného čerpadla.....	- 53 -

6.3	Bazén.....	- 53 -
6.4	Snížení nákladů na elektrických spotřebičích .....	- 53 -
6.5	Celoroční ukládání přebytečné energie.....	- 53 -
6.6	Výběr lokality .....	- 54 -
7	Závěr .....	- 55 -

## Úvod

Doba, ve které žijeme, plná pohonným hmot vyrobené z ropy či uhlí, nás přivádí k ekologičtějšímu trendu úspory energie a ochraně životního prostředí. Tento trend už se u nás v ČR rozvíjí přes 10let za účelem snížení emisí a imisí a tím ke snížení skleníkových plynů a také k ochraně fauny, flóry a především obyvatel měst, kde je tento problém největší.

Je možné pouze snižování emisí a imisí a nebo můžeme taky využít některé z obnovitelných zdrojů, které neprodukují emise. Je zde na výběr ze spousty zdrojů energie jako je např. větrná, solární energie a další.

Problém znečištění ovzduší a oteplování je již rozšířen na globální úroveň a bylo by tedy rozumné tyto ekologické systémy užívat jako primární zdroje energie.

Obnovitelných zdrojů energie je možné provozovat jako fyzická osoba a využívat je přímo a pouze pro svůj objekt a nebo jej prodávat do sítě za cenu výkupní. Zde se vyskytuje problém s akumulací energie. energii, kterou nevyužijeme okamžitě je možné uchovat nebo prodat.

Tato bakalářská práce bude zaměřena na využití solární energie za účelem vytvoření systému, který by byl schopen alespoň částečné soběstačnosti, čímž se určitou měrou vyhneme prodeji energie. Při využití solárních panelů, v tomto případě solárních střešních tašek, zaměříme pozornost na jejich funkčnost, zapojení a možný výkon. Dále budeme řešit provedení ukládání přebytečné energie, kterou nevyužijeme, do akumulátorů a budou zmíněné i další možnosti akumulace. Nevyužitá energie nám vzniká v době kdy má slunce největší intenzitu, tedy v poledních hodinách přičemž odběry od spotřebitele jsou nejnižší (nesvítíme, jsme mimo domov). Provedeme rozdělení možností ukládání energie a následně vybereme nejvhodnější akumulátor pro rodinný dům. V případě, že nastane situace, kdy přebytečnou energii již není možné uložit do akumulátoru z důvodu jeho úplného nabití je třeba navrhnout další možnosti. Jenou z variant je použití, zatím ne moc rozšířené technologie, elektrolyzér k přeměně el. energie do vodíku. V praktické části celý tento systém navrhne, spočítáme návratnost, účinnost systému a rozebereme další možnosti.



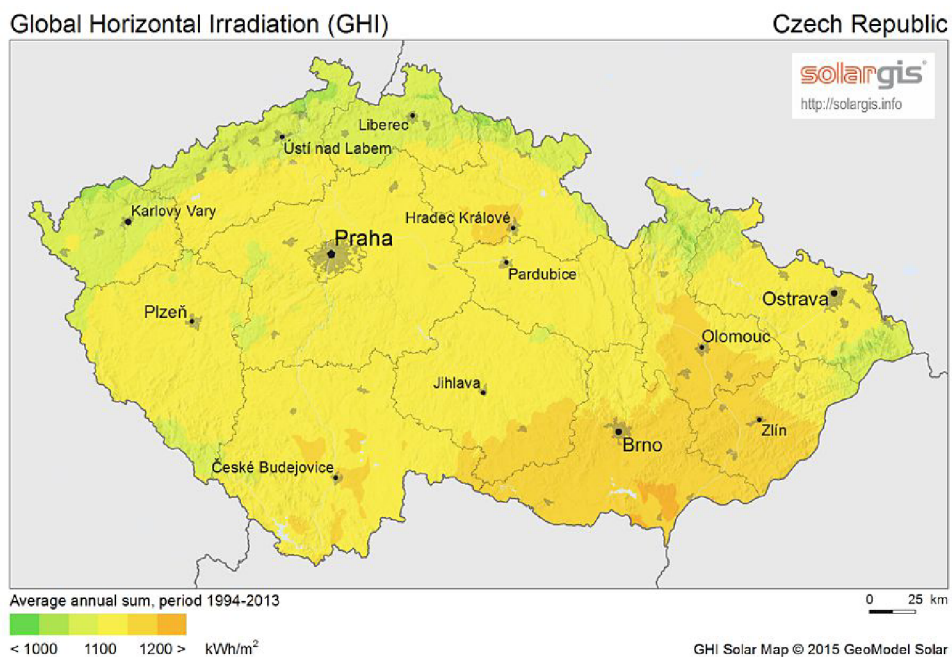
## 1 Sluneční záření

Sluneční záření je primárním zdrojem pro všechny ostatní obnovitelné zdroje jako je vítr, biomasa nebo vodní zdroje energie. Sluneční záření se udává ve wattch na metr čtvereční ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) nebo v kilowatthodinách na metr čtvereční ( $\text{kWh}/\text{m}^2$ ). Základní hodnotou je sluneční konstanta, která je  $1348 \text{ W}/\text{m}^2$ . Sluneční konstanta je sluneční záření na hranici atmosféry neboli bez ztrát pohlcením atmosférou, které jsou přibližně 32 %. Sluneční energii můžeme také využít jako přímý zdroj pro výrobu el. energie nebo pro ohřev vody pomocí fotovoltaických, fototermických a kolektorových systémů. [52]

Jedním z hlavních aspektů pro výpočty jsou sluneční hodiny, které nám říkají, jak dlouho v průměru svítí slunce na  $\text{m}^2$  v určité lokalitě. Druhý je samotná sluneční intenzita, opět na  $\text{m}^2$  v určité lokalitě. Existují mapky, které nám tyto hodnoty poskytují (Obr. 1,2). Tato sluneční intenzita se liší zeměpisnou šířkou a podnebními podmínkami, jak je vidět z obrázků 1,2, kde na mapě česka dosahuje intenzita maximálně  $1200 \text{ kWh}/\text{m}^2$  za rok a na mapce chorvatska v okolí města Dubrovník je tato intenzita až  $1600 \text{ kWh}/\text{m}^2$ .



Obr. 1: Mapa slunečního ozáření v chorvatsku [35]



**Obr. 2:** Mapa slunečního ozáření v česku [35]



## 2 Fotovoltaika

Již v roce 1839 objevil Francouz Alexandre Edmond Becqueli, že vystavením slunečního záření na zinkové a platinové elektrody baterie získá přírůstek napětí. Po dalších 39. letech se podařil tento jev prokázat i u polovodičů a v roce 1883 Američan Charles Fritz poprvé sestrojil selenový fotočlánek. Tento jev popsal Albert Einstein jako fotoefek a v roce 1921 získal nobelovu cenu. Fotočlánek jak jej známe, vyroben z křemíku, byl poprvé postaven v roce 1954.[1]

### 2.1 Výroba a princip solárního panelu

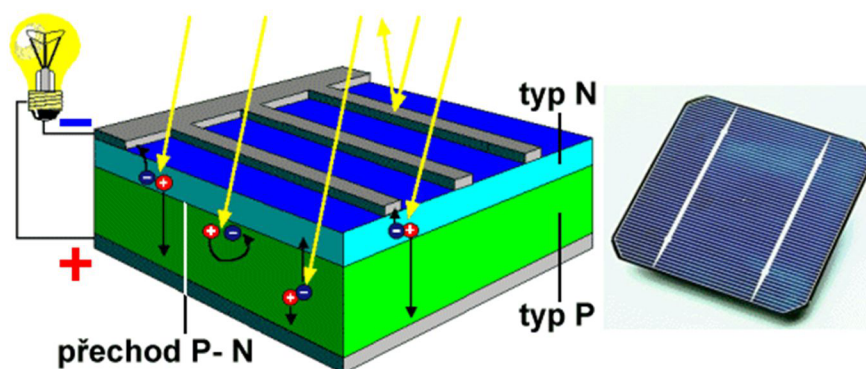
Vše začíná u materiálových věd a materiálového inženýrství pro získání tak potřebného křemíku. druhého nejrozšířenějšího prvku na planetě Zemi. Díky jeho „všudepřítomnosti“ zbývá už jen získat tento prvek, pokud možno v co nejjistější podobě. Díky dnešní technologii jsme schopni získat z křemičitého písku křemík o čistotě 99,9998%. [1] Pro výrobu křemíku se využívá obloukové pece, kde pomocí redukce a při teplotě 2000 °C získáme již zmíněný čistý křemík. Křemík musíme dále upravit, aby bylo možno jej použít na výrobu fotovoltaických panelů. Rozpuštěný křemík v chlorovodíkové kyselině se přemění na trichlorsilan, který se dále destiluje. Celý tento děj se děje ve fluidním reaktoru. [4]

Při zahřátí nad 1000 °C se začne křemík oddělovat a začne tvořit krystalické tyče. Takto tepelně a chemicky upravený polykrystalický křemík je použitelný pro stavbu fotovoltaických buněk. Můžeme do procesu výroby zahrnout i další tepelné zpracování, metodou tažení z kelímku podle Czochralskiho, kterou dosáhneme změny z polykrystalické mřížky na mřížku monokrystalickou.

Takto zpracovaný křemík se nařeže na vrstvy o tloušťce 0,2 mm. Při řezání dochází k velkým ztrátám materiálu z důvodu prožezu pily. Tyto tenké desky se dotují nebo legují příměsí ve formě plynu. Tato povrchová úprava nám vytvoří P a N vrstvy, které nám vytvoří P – N přechod (Obr.1). Tento přechod je propustný pouze jedním směrem ( z P vrstvy do N vrstvy). Princip přechodu P – N je běžný pro většinu polovodičových součástek, jako je například fotodioda.

Další velmi podstatný krok, je nanesení antireflexní vrstvy z nitridu křemíku na povrch buňky. Tato vrstva má za následek snížení ztrát odrazem slunečního záření od stříbřitě šedého křemíku a dává článkům namodralou barvu.

Posledním krokem je nanášení kontaktů technologií sítotisku, které slouží jako nosiče pro náboj. [1] Na obrázku je znázorněné odtržení elektronů po dopadu fotonů na křemíkovou vrstvu, které se po zapojení spotřebiče přesouvají k horní části N vrstvy a tvoří rozdíl potenciálu napětí neboli napětí, které bývá 0,5 V na jedné buňce o rozměrech  $100 \times 100$  mm. Je zde také patrná snížená účinnost odrazem slunečního záření od vodiče na povrchu buňky. Tento princip se nazývá fotoelektrický jev.



Obr. 1: Princip fotočlánku [3]

Všechny tyto vlastnosti a úpravy křemíku mají vliv především na účinnost jednotlivých typů fotovoltaických (FV) panelů ( tabulka 1).

**Tabulka 1.** Dostupné komerční typy FV panelů [51]

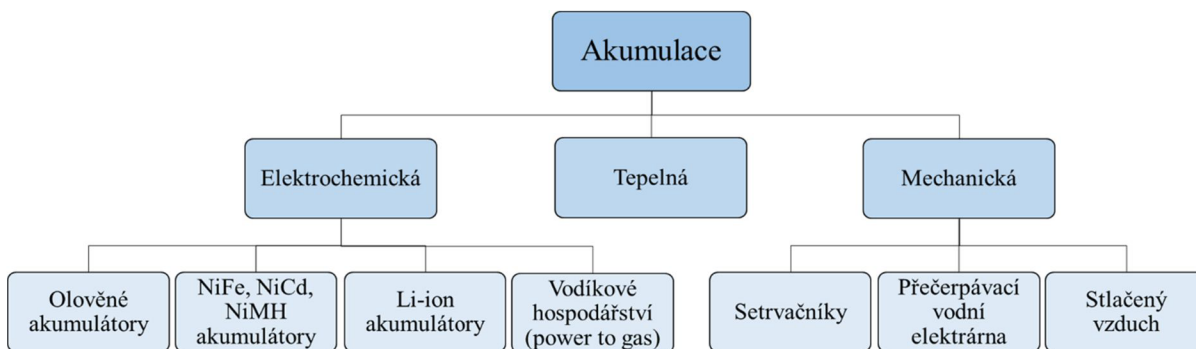
Typ FV panelu	Účinnost
Polykrystalické panely	12 – 16%
Monokrystalické panely	12 – 20 %
Amorfní panely (CIS)	6 – 11 %

Cena panelů je velmi variabilní podle výrobce, velikosti panelu, výkonu panelu, účinnosti a neposledně podle kvality.

### 3 Akumulace

Akumulace energie z obnovitelných zdrojů, především ze solární energie je nedílnou součástí každého domu či elektrárny z důvodu nevyužití přebytku sluneční energie přes den a nedostatku sluneční energie v ranních a večerních špičkách spotřeby energie. Aktuální stav akumulace energie v domácím prostředí je teprve na počátku a zatím se prakticky nevyužívá.

Jednou z možností, dnes nejvíce využívanou, je přeměna elektrické energie na tepelnou energii. Další možností je ukládání el. energie do elektrochemických akumulátorů, do vodíku, ale také do stlačeného vzduchu nebo do mechanických setrvačníků. [22] V této části bakalářské práce jsou popsány principy možnosti ukládání energie. Z hlediska ukládání energie ze solárního systému umístěného na rodinném domě budou v této části nejvíce rozebrány možnosti akumulace menších výkonů, pro které se využívají akumulace elektrochemická (Obr.2).



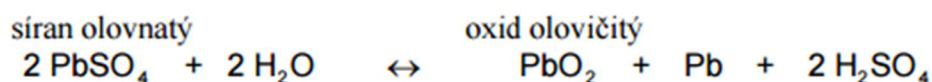
**Obr. 2:** Rozdělení akumulace elektrické energie

#### 3.1 Olověné baterie elektrochemie

V roce 1800 sestrojil Alessandro Volta první galvanický článek, který byl schopen produkovat elektrický proud, nazýváme Voltův sloup. Tento akumulátor byl složen z vrstev měděných a zinkových destiček proložených napuštěnými hadříky v kyselině sírové. Dalším z objevitelů byl Luigi Galvani, podle kterého je pojmenovaný Galvanický článek. První akumulátor byl vytvořen chemikem Dr. Williamem Cruickshankem, který vložil Voltův sloup do dřevěné bedny a zalil tento článek solankou (slanou vodou). Tento článek se však stále choval jako primární článek, a nebyl schopen dobíjení. První sekundární článek, který je možný dobít, vynalezl a vyrobil fyzik Gaston Planté v roce 1859. Tento článek funguje na bázi vodivých

olověných destiček ponořených do kyseliny sírové ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). [23] To dalo za vznik prvnímu olověnému akumulátoru.

Tyto baterie patří do skupiny elektrochemických akumulátorů (Obr. 3). Průchod proudu skrze elektrody způsobuje při nabíjení tvorbu kyseliny sírové ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) a elektrolyt houstne. Po úspěšném nabití bude na záporné elektrodě zachyceno olovo (Pb) a na kladné elektrodě se vytvoří vrstva oxidu olovičitého ( $\text{PbO}_2$ ). Při vybíjení se na záporné i kladné elektrodě tvoří síran olovnatý ( $\text{PbSO}_4$ ). Tato chemická reakce je opakovatelná a při vybíjení je tento princip opačný, jak zobrazuje chemická rovnice 1. Jedná se o přeměnu elektrické energie na energii chemickou a naopak. [24]

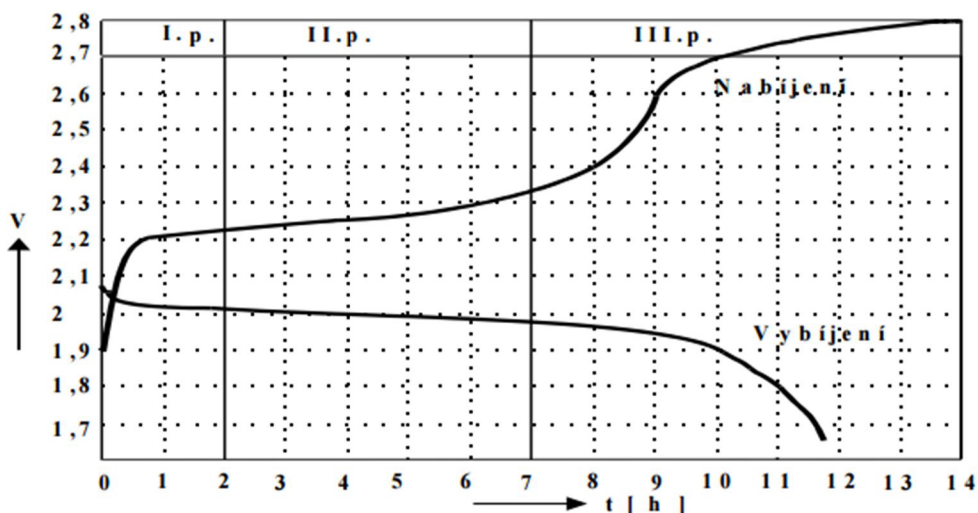


(směr šipky vpravo značí pochod při nabíjení a vlevo při vybíjení)

**Rovnice 1:** Nabíjení a vybíjení sekundárního článku olověné baterie [24]

Elektrody se vyrábí z porézního materiálu, aby byla kyselina sírová schopna průniku do elektrod a tím byla zvýšena účinnost baterie. Porézita kladných elektrod je 1 až 2  $\mu\text{m}$  a u záporných elektrod je tato porézita 10  $\mu\text{m}$ .

Koncentrace  $\text{H}_2\text{SO}_4$  se mění dle nabití. Při úplném nabití akumulátoru se tato koncentrace pohybuje mezi 28 a 40 %. U vybitého akumulátoru je to 1 až 24 %. Můžeme sledovat i pokles nebo nárůst napětí podle situace nabití baterie. Tento pohyb napětí v závislosti na době nabíjení a vybíjení je vyzobrazen na Obr. 3.



**Obr. 3:** Charakteristika napětí nabíjení a vybití olověné baterie závislá na čase

U běžných olověných akumulátorů dochází k úniku plynu při samovybití nebo při malém přebíjení, proto je potřeba kyselinu dolívat neboli je potřeba se starat o tyto baterie. Díky dlouhodobému vývoji a nejnovějším poznatkům o elektrochemii byly vyrobeny baterie bezúdržbové hermeticky uzavřené. Tyto baterie jsou bezpečnější než klasické, protože plyny, které se uvolňují jsou zpětně absorbovány a neunikají do okolí. Zaručují bezpečnou manipulaci a jsou voděodolné. Jejich životnost se pohybuje v rozmezí 5 až 15 let a dosahují až 3000 cyklů. [24]

Dnes se jedná stále o nejpoužívanější baterie z důvodů poměru ceny a výkonu, dostupnosti a spolehlivosti. Novějším typem baterií, které mají vyšší účinnost, nižší hmotnost a vyšší životnost jsou alkalické baterie.

### 3.2 Alkalické baterie elektrochemie

Tyto baterie stejně jako olověné patří do skupiny elektrochemických akumulátorů. Dnes se s nimi můžeme setkat ve všech podobách od tužkových primárních článků až po baterie využívané v domácnostech a v elektro automobilech ve formě sekundárních článků.

Alkalické akumulátory fungují na stejném principu jako olověné akumulátory, pouze využívají jiných elektrod a jiného elektrolytu.

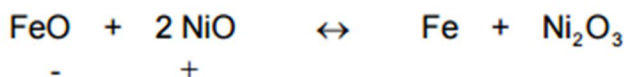
### 3.2.1 Nikl-ocelové a nikl-kadmiové akumulátory

S prvním řešením po olověných akumulátorech přišel T.A. Edison, který vynalezl nikl – ocelové (NiFe) akumulátory již před více jak 100 lety (1900) a ve stejné době začal pracovat na prvním elektromobilu vůbec. Ve stejné době, tentokrát ve Švédsku, pracoval na niklo – železné a niklo – kadmiové (NiCd) baterii Waldmar Junger, který následně obdržel patent za nikl – kadmiový akumulátor v roce 1899.

Tyto baterie mají vyšší životnost než olověné baterie. Patří k velmi spolehlivým zdrojům energie a jejich životnost může dosahovat až 40 let. Elektrochemický děj probíhá za přítomnosti elektrolytu hydroxidu draselného (KOH) nebo hydroxidu sodného (NaOH) o koncentraci okolo 20 %. Jejich kladné elektrody vždy tvoří oxid nikelnatý (NiO) a záporná elektroda je tvořena odlišným kovem podle typu baterie. Mohou to být směsi kadmia, železa a oxidy železa. Reakce těchto baterií jsou uvedeny v chemických rovnicích 2,3 [25]

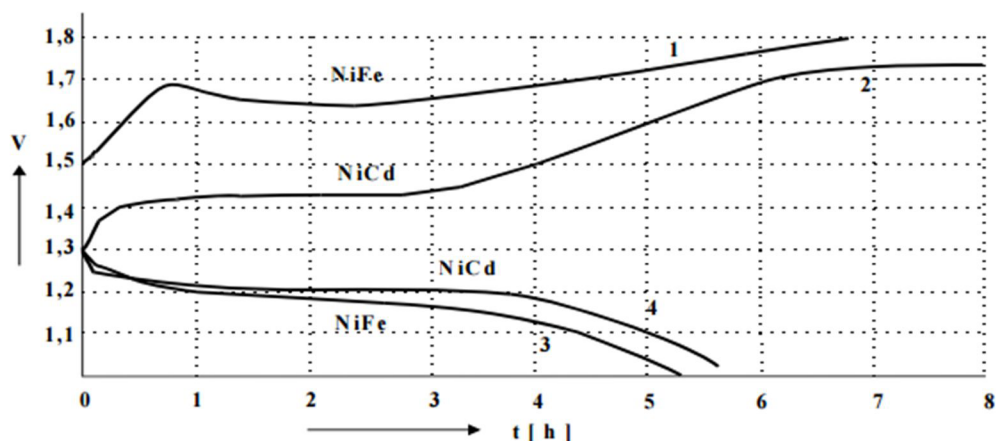


**Rovnice 2:** Nabíjení a vybíjení sekundárního článku niklo – železné baterie [25]



**Rovnice 3:** Nabíjení a vybíjení sekundárního článku niklo – kadmiové baterie [25]

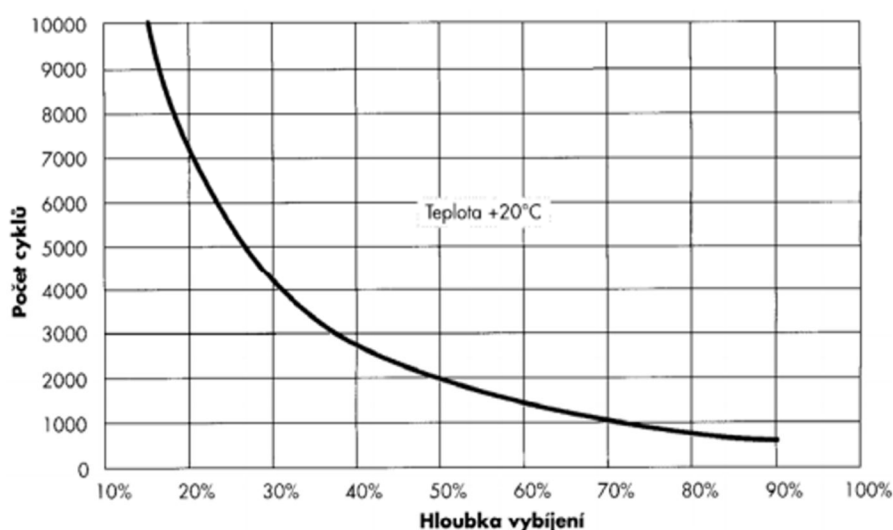
Na následujícím obrázku (Obr. 4) jsou ukázány poklesy a nárůsty napětí v závislosti na čase pro tyto typy baterií.



**Obr. 4:** Charakteristika napětí nabíjení a vybíjení niklo – železné a niklo – kadmiové baterie závislá na čase [25]

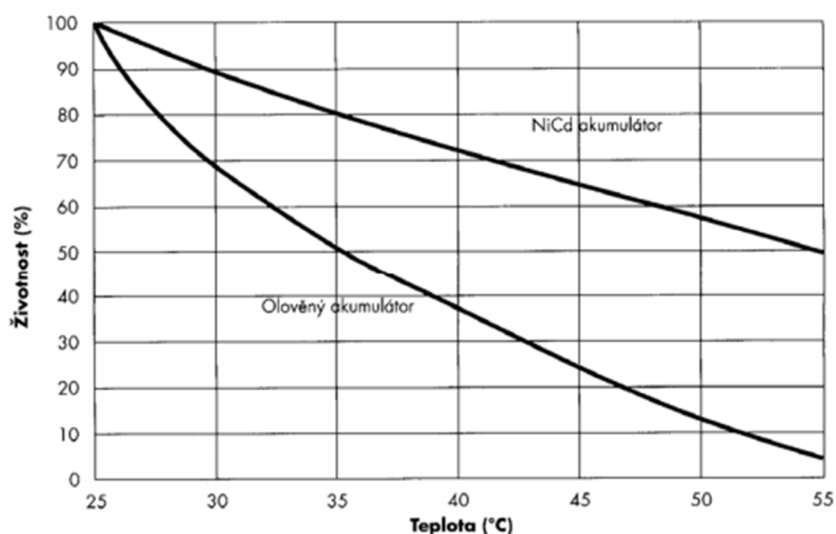
Kde: Křivka 1,2 jsou křivky pro nabíjení a křivky 3,4 jsou pro vybíjení. [25]

Jako u olověných baterií i tyto baterie mohou být otevřené či hermeticky uzavřené a podle toho mají nebo nemají ventil na odpouštění plynů. Tyto plyny se u niklo – železných baterií vyskytují už v počátcích nabíjecího cyklu, zatímco u nikl – kadmiových se tento efekt projevuje až ke konci nabíjecího cyklu. Z tohoto důvodu jsou NiCd baterie přibližně o 10 % účinnější než NiFe baterie. U těchto baterií se hustota elektrolytu nemění tolik, jako u olověných a proto jsou stabilnějším, bezpečnějším, odolnějším zdrojem a s vyšší životností, která je uvedena v počtech cyklů vybití a nabití v závislosti na hloubce vybití jak popisuje Obr. 5. [25]



**Obr. 5:** Počet cyklů závislých na hloubce vybití u NiCd baterií [25]

Na následujícím obrázku (Obr. 6) jsou porovnány životnosti NiCd baterie s olověnými bateriemi.

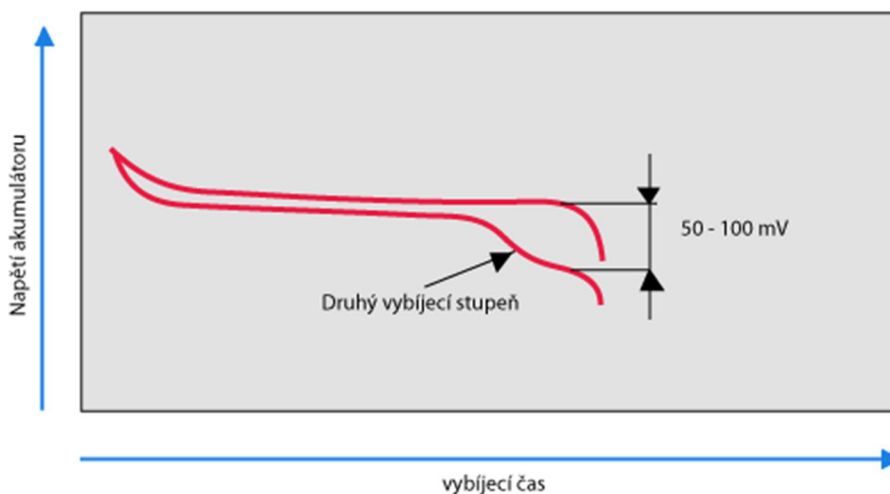


**Obr. 6:** Životnost NiCd a PbFe baterií závislá na provozní teplotě



Na obrázku 6 můžeme vidět že NiCd baterie (platí i pro NiFe) jsou méně náchylné na provozní teploty článků v návaznosti na životnost.

Dalším, velmi podobným typem baterie k NiCd baterii, je baterie nikel – metal hydrid (NiMH). Tyto baterie netrpí paměťovým efektem tak, jak NiCd. [25] Paměťový efekt se u těchto baterií nemůže vůbec vyskytovat z důvodu absence aktivní složky kadmia na záporné elektrodě. Tento jev je vratný úplným vybitím baterie. Na obrázku 7 je vidět rozdíl napětí na baterii po cyklu vybití, který se nazývá paměťovým efektem. [40]



**Obr. 7:** Paměťový efekt u baterií s aktivním kadmíem na záporné elektrodě [40]

NiMH baterie mají vyšší kapacitu a jsou ještě méně náchylné na teploty než baterie NiCd. Hlavním důvodem využívání těchto baterií je však to, že neobsahují toxické kovy (Cd) a jsou tak šetrné k životnímu prostředí. Nevýhody oproti NiCd bateriím je především menší životnost a vyšší cena. Oba zmíněné typy baterií (NiCd a NiMH) umožňují rychlonabíjení (nabíjení do jedné hodiny), které je ošetřeno proti nechtěnému přebíjení baterií s následným poškozením baterie a snížením životnosti baterie. [25]

Dnes se s těmito bateriemi můžeme setkat v zařízeních jako jsou akumulátorové ruční nářadí, přenosné radiostanice, notebooky, nouzové osvětlení měřicí přístroje aj. [26]

I přes využití se tyto baterie ve velkém nahrazují novějšími a spolehlivějšími lithiium – iontovými bateriemi, které mají do budoucna velký potenciál.



### 3.2.2 Lithium Iontové akumulátory

I tyto baterie vznikly z primárních článků v sedmdesátých letech, kdy se používaly sloučeniny  $\text{LiWO}_2$ ,  $\text{Li}_6\text{Fe}_2\text{O}_3$  nebo  $\text{Li}_9\text{MoSe}_6$  jako záporná elektroda a sloučeniny titanu a wolfranu jako elektroda kladná. Přenos iontů obstarává  $\text{Li}^+$ . Tyto baterie dosahovali napětí pouze 1,8 – 2,7V a byly velmi drahé na výrobu. V roce 1990 přišla firma Sony s baterií, která využívala zápornou elektrodu z grafitu s příměsí lithia a polyolefinu. Dnes používané baterie mají složenou kladnou elektrodu ze sloučenin jako jsou  $\text{LiCoO}_2$ ,  $\text{Li}_x\text{Mn}_2\text{O}_4$ ,  $\text{LiNiO}_2$  a  $\text{LiV}_2\text{O}_5$  (kobalt, nikl, mangan, vanad, titan, niob, železo-fosfát, železo-yttrium-fosfát) s elektrolytem  $\text{LiPF}_6$  a zápornou elektrodu stále na bázi grafitu.

Takové akumulátory dnes dosahují napětí třikrát vyššího a více jak třikrát vyšší kapacity než baterie NiCd. Paměťový efekt se u těchto baterií taktéž nevyskytuje a samovybití se udává 8 % za měsíc. Díky většímu poklesu napětí při vybití je jednodušší určit stav baterie. Využití těchto baterií z důvodů nízké hmotnosti a vyšší kapacity je takřka ve všech odvětvích elektroniky a navíc nemají negativní vliv na životní prostředí.

Ačkoli jsou schopné rychlonabíjení jako předchozí skupiny baterií, samotné baterie trpí na přebíjení nebo podvybití a proto musí obsahovat řídicí jednotku. Všechny tyto vlastnosti se projevují na ceně.

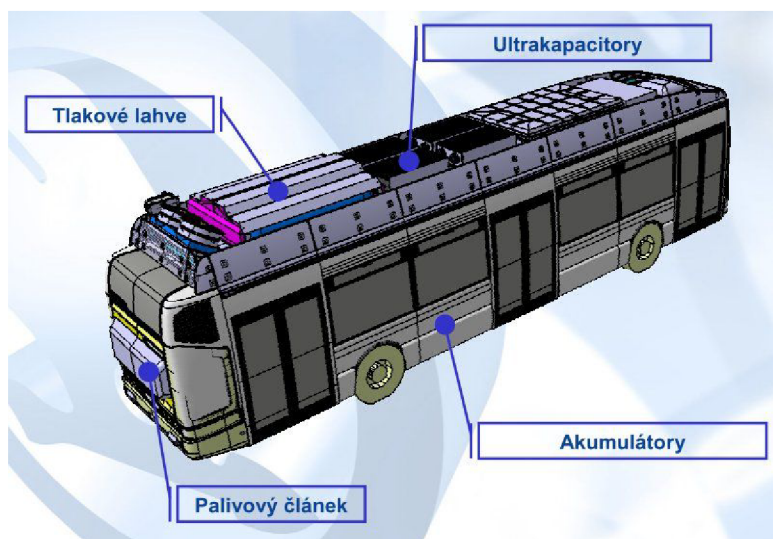
Jednou ze známých variant Li-Iontových baterií je tzv. Li-Pol. Tato baterie má místo klasického kapalného nebo gelového elektrolytu elektrolyt polymerový. Li-Pol baterie mají nižší hmotnost díky odlehčenému obalu, který u Li-Ion slouží jako vývod záporné elektrody. U těchto baterií se využívá kovový pásek pro vývod této elektrody.

I zde se vyskytuje nežádoucí efekt a to nafukování baterie při podvybití a skladování ve vybitém stavu. [40] Díky malé hmotnosti a zachování kapacity se tyto baterie využívají ve všech přenosných zařízeních jako jsou telefony a notebooky. Ačkoli je jejich cena stále vysoká, vzhledem k tomu, že dosahují vysoké životnosti v tisících cyklech a velké kapacity na kilogram hmotnosti baterie, začínají se používat i v elektromobilech a v domácnostech jako zdroj energie.

### 3.3 Superkondenzátory

Kondenzátory patří do skupiny elektrostatického uchování energie. Jejich předností je rychlé nabití a následné rychlé vybití. Jejich výhodou je tedy schopnost podat maximální výkon během krátkého časového úseku a díky tomu i vysoké účinnosti. Netrpí na přebíjení jako klasické elektrochemické akumulátory. Jejich životnost není ovlivněna chemickými reakcemi a proto dosahuje desítek let. Díky rychlému nabíjení je vhodné využití v automobilovém průmyslu kde jsou schopny okamžitě pohltit brzdovou energii vozidla. Jejich kapacita je obsažena v porézním uhlíku, který může mít až 2 000 m<sup>2</sup> povrchu v pouhém jednom gramu. Jejich přednosti tedy můžeme vidět například u vodíkového autobusu TriHyBus (Obr. 8), který využívá ultrakapacitory a ty mu napomáhají při akceleraci nebo při prudkém stoupání.

Snahou do budoucna je nahradit elektrochemické baterie superkondenzátory a tím zkrátit čas nabíjení z hodin na sekundy. [41]



**Obr. 8:** Schéma Trihybusu s umístěním ultrakapacitorů [42]

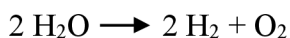
### 3.4 Vodíkové hospodářství (power to gas)

Koncept power to gas vznikl za účelem pokrýt přebytečnou energii mimo špičky a to především z obnovitelných zdrojů, jako jsou fotovoltaické elektrárny nebo větrné elektrárny. Tento koncept také podpoří fakt, že nevznikají žádné znečišťující látky a plyny, které přispívají ke globálnímu oteplování. Celý systém pracuje na principu elektrolýzy při které vzniká vodík (H<sub>2</sub>) jako využitelné palivo a odpadní látkou je tak pouze kyslík, který můžeme vypustit do atmosféry nebo je možné jej využít například v chemickém průmyslu. Další možností je sekundární proces, nazývaný metanizace, ve kterém se míchá vodík s oxidem uhličitým (CO<sub>2</sub>) a vzniká metan (CH<sub>4</sub>) neboli bioplyn (SNG).

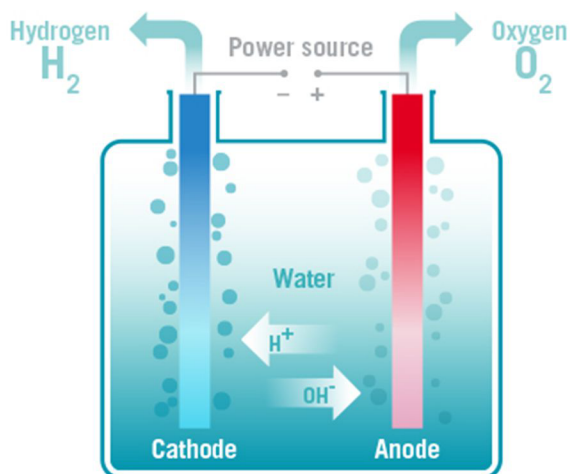
Primárním produktem elektrolýzy je tedy vodík, který se ukládá do zásobníků. Vodík nebo SNG pomocí palivového článku můžeme využít pro pohon aut, autobusů nebo pouze vrátit do el. energie a poslat do sítě. Celý systém (elektrická energie na vodík, vodík na elektrickou energii) má účinnost 34 – 44 %. Účinnost klesá tepelnými ztrátami, které je možné také využít. V takovém případě nám účinnost naroste na 48 – 62 %. Tento proces se nazývá CHP (combined heat and power). [47]

System power to gas má velké výkonnostní rozpětí, které se pohybuje od výkonu v jednotkách kW, jako je například v institutu ÚJV Řež poblíž Prahy, kde mají elektrolyzátor o výkonu 6,7 kW a palivový článek o výkonu 4 kW až po výkony v MW či GW jako je v Německu v Energie park mainz kde mají tři vysokotlaké elektrolyzéry o výkonu 1,3 MW na zpracování elektrické energie z místních větrných elektráren. [46][47][48]

Princip elektrolýzy je popsán v rovnici 4 a názorně zobrazen na Obr. 9 [48]



**Rovnice 4:** *Rozklad vody na vodík a kyslík*



**Obr. 9:** Schéma principu elektrolyzy [48]

Kde:

Cathode – katoda (záporná elektroda)

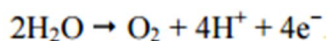
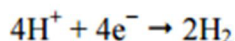
Anode – anoda (kladná elektroda)

Water – voda

Hydrogen – vodík

Oxygen – kyslík

Elektrolyzér funguje na principu štěpení vody za přítomnosti elektrické energie. Na katodě se uvolní molekula vodíku ( $H_2$ ) za přítomnosti elektronů a zůstane sloučenina  $OH^-$ , která se díky zápornému náboji přesune na kladnou elektrodu (anodu), kde se uvolní kyslík a vytvoří se zpětně i voda, ale už ne v takovém množství jako na začátku. Tato reakce uvolňuje energii v podobě elektronů. Tento princip je popsán v rovnicích pro anodu a katodu (rovnice 5,6).



**Rovnice 5,6:** Princip elektrolyzy

Princip palivového článku (rovnice 7) je obdobný jen s rozdílem, že elektrickou energii vyrábíme z vodíku a kyslíku. Odpadní látkou je vodní pára. Výhodou palivového článku oproti oběhovým motorům je ten, že využívá přeměny energie z chemické přímo na elektrickou a nemá tak žádné pohyblivé části.



**Rovnice 7:** Princip palivového článku

### **3.5 Akumulace el. energie do tepla**

Jednou z variant je akumulace elektrické energie do tepla. Tato varianta se hojně využívá i v domácnostech. Můžeme se s ní potkat u elektrokotlů se zásobníkem teplé vody (boiler). Takovou tepelnou energii neumíme přeměnit zpátky na elektrickou energii. Proto se tento systém využívá na ohřev teplé užitkové vody (TUV) nebo na vytápění objektů a rodinných domů.

### **3.6 Ostatní zdroje akumulace**

Tato skupina obsahuje způsoby akumulace, které znázorňuje schéma (Obr. 3). Jsou to zdroje, které nejsou vhodné nebo není vůbec možné využít v projektu pro rodinný dům z důvodu velkých investičních nákladů, nebo kvůli realizaci nad rámec výkonu elektrárny pro rodinný dům. [22]

#### **3.6.1 Přečerpávací vodní elektrárny**

Přečerpávací vodní elektrárna (PVE) slouží jako přeměna levnější energie na energii dražší ve smyslu přečerpávání vody ze spodní nádrže do horní nádrže v době, kdy je přebytek energie a naopak. Dále je tento princip využíván pro regulaci jaderných elektráren, které technologicky nejsou schopné regulace. Dnes se také využívají pro regulaci nepředvídatelných výkyvů fotovoltaických a větrných elektráren způsobené nahodilým počasím a povětrnostními podmínkami. Přečerpáváním vody do horní nádrže získáváme energii vody ve formě potenciální energie, kterou přeměníme za pomoci turbíny na mechanickou energii a následně na generátoru na energii elektrickou. Tuto energii potom využíváme ve špičkách zatížení elektrizační soustavy. [43]

#### **3.6.2 Setrvačníky**

Toto zařízení využívá ukládání energie do kinetické energie rotujícího disku. Jeho výhodou je okamžitá akumulace energie nebo naopak okamžitý odběr energie za pomoci elektromotoru (generátoru). Otáčky rotujícího setrvačníku mohou být okolo 16 000 ot/min u komerčního využití, kde slouží stejně jako PVE k pokrytí špiček spotřeby el. energie. Dalším využitím mohou být například hybridní automobily nebo závodní formule F1, kde se systém označovaný KERS využívá. Takovéto setrvačníky jsou schopny se točit až 60 000 ot/min.

Aktivace setrvačnicků v automobilovém průmyslu nastává právě při brždění, jak tomu bylo u superkondenzátorů a napomáhá tak při akceleraci. [44] Jejich účinnost se pohybuje okolo 80% a oproti kondenzátorům mají nevýhodu v otáčivém mechanismu, který vyžaduje uložení v ložiscích, což představuje nebezpečí poruchy funkčních částí.

### 3.6.3 Stlačený vzduch

Ukládání energie do stlačeného vzduchu neboli CAES (compressed air energy storage) se využívá stejně jako PVE pro pokrytí špiček a využití el. energie.

Vzduch se za pomoci kompresoru stlačuje do dutin pod povrchem země v době přebytku el. energie (mimo špičku) a zpětně se využívá v době kdy energii znovu potřebujeme. Při potřebě této energie se stlačený vzduch vhání do turbíny, kde dochází k ohřátí vzduchu spaliny ze spalovacího motoru či turbíny a dochází tak ke zvýšení tlaku vzduchu, který následně roztáčí turbínu propojenou s generátorem tvořící el. energii. U klasických turbín jsou 2/3 výkonu spotřebovány právě na kompresi vzduchu, proto zásobník se stlačeným vzduchem nám v době, kdy je energie potřeba může poskytnout až 100% výkonu turbíny. Pro realizaci takového projektu je zapotřebí velkého podzemního prostoru. Celková účinnost systému s tepelnými ztrátami je 42%. [45] Jednou z dalších variant, jak stlačovat vzduch je využití větrných elektráren, které místo výroby energie přes generátor pohání přímo kompresor.

V tabulce 1. jsou shrnuty možnosti ukládání elektrické energie v závislosti na účinnosti a kapacitě.

**Tabulka 1.** *Shrnutí účinností a kapacit jednotlivých možností akumulace el. energie*[47][50]

Technologie	Účinnost	Kapacita v MW	Časové využití
Olověné baterie	70–80 %	0,05–40	minuty–dny
NiCd baterie	65–75 %	45	minuty–dny
Lithiové baterie	80–90 %	0,1–50	minuty–dny
Vodíkové hospodářství	30–75 %	0,01–1000	minuty–měsíce
Superkondenzátory	85–98 %	0,01–1	sekundy
Přečerpávací vodní elektrárna	70–85 %	1–5000	měsíce–hodiny
Setrvačnick	85–95 %	0,1–20	sekundy–minuty
Stlačená vzduch	70–75 %	50–300	hodiny–měsíce

## 4 Solární Systém

Solární tašky vyvinula švýcarská společnost Panotron ve spolupráci s cihelnou Rapperswil Louis Gasser AG za účelem vytvořit estetický solární systém vhodný pro každý rodinný dům. [5] S ohledem na rostoucí zájem o obnovitelné zdroje, pasivní domy a ostrovní systémy se inovativně spojily např. s firmou SolarEdge, která vyrábí jedny z neúčinnějších a nejkvalitnějších elektro systémů k fotovoltaickým elektrárnám a s firmou Tesla Motors, která od roku 2016 zahájila prodej baterií kompatibilních se systémem od firmy SolarEdge. [6]

### 4.1 Komponenty a jejich technická data

Solární tašky se skládají z krytiny od již zmíněné firmy Rapperswil Louis Gasser AG a fotovoltaických panelů od Panotronu. Tyto solární panely jsou vyrobeny z monokrystalických buněk. Jednotlivé moduly jsou složeny ze čtyř dohromady paralelně zapojených fotovoltaických panelů. Tyto moduly se dále do sebe zapojují sériově a tvoří tak řady o napětí 40 voltů. [5] Všechny panely jsou pasivně chlazeny díky krytině a tvoří přirozený tah i s okrajovými taškami. [10] Jako další ze zařízení na střeše jsou tzv. powerboxy, které slouží jako ochrana proti požárům, jako přepěťová ochrana a především pro dosažení nejlepší volt – ampérové charakteristiky. [11]

#### 4.1.1 Fotovoltaický panel

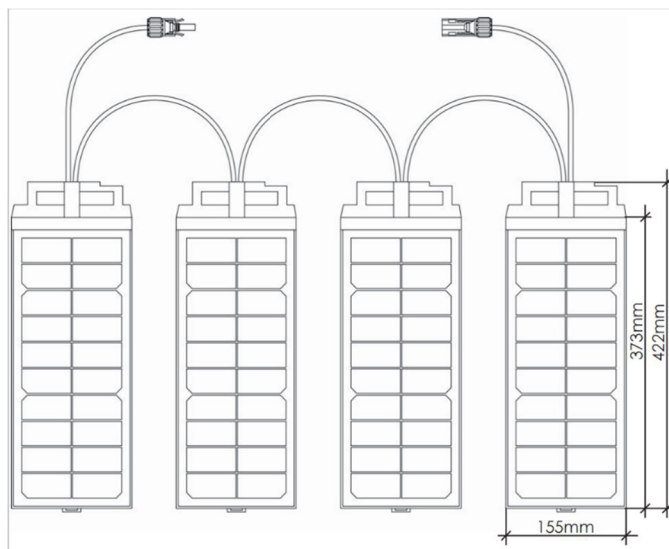
Fotovoltaický panel o rozměrech 422×155 mm při napětí 10 V a proudu 620 mA má výkon 6,2 W za STC (standart test conditions = standardní zkušební podmínky) podmínek, které jsou:

Sluneční ozáření –  $I = 1000 \text{ W/m}^2$

Teplota –  $t = 25 \text{ }^\circ\text{C}$

Úhel naklonění solárních panelů  $45^\circ \text{ AM} = 1,5$

Jmenovitý výkon modulu (Obr. 10) je 25 Wp a jeho napětí 40,3 V. Jeden  $\text{m}^2$  tvoří 3 moduly (12 panelů) a to dělá výkon 75 Wp s účinností panelu 12 %. Díky paralelnímu zapojení modulů předejdeme poklesu výkonu na celém systému například při zastínění jednoho fotovoltaického panelu stínem komínu nebo zastínění nečistotou. [5]



Obr. 10: Schéma jednoho fotovoltaického modulu [7]

Tabulka 2. Základní technické údaje o jednom modulu za podmínek STC [5]

Jmenovitý výkon ( $\pm 5\%$ )	$P_{MPP}$	25	Wp
Napětí	$U_{MPP}$	40,3	V
Proud	$I_{MPP}$	620	mA
Napětí při chodu naprázdno	$U_{OC}$	49,4	V
Zkratový proud	$I_{SC}$	642	mA
Účinnost modulu	$\eta$	12	%

Tabulka 3. Základní technické údaje o jednom modulu za podmínek NOCT [5]

Jmenovitý výkon ( $\pm 5\%$ )	$P_{MPP}$	18,6	Wp
Napětí	$U_{MPP}$	31,7 /td>	V
Proud	$I_{MPP}$	501	mA
Napětí při chodu naprázdno	$U_{OC}$	44,5	V
Zkratový proud	$I_{SC}$	529	mA

Kde:

NOCT –  $I = 800 \text{ W/m}^2$ ;  $t = 20^\circ\text{C}$ ; rychlost větru  $v = 1 \text{ m/s}$

$P_{MPP}$  – jmenovitý výkon panelu, uvádí se hodnota změřená v bodě maximálního výkonu

$$P_{MPP} = U_{MPP} \times I_{MPP}$$



$U_{MPP}$  – napětí při jmenovitém výkonu

$I_{MPP}$  – proud při jmenovitém napětí

$U_{OC}$  – napětí naprázdno – napětí na fotovoltaickém panelu bez připojené zátěže

$I_{SC}$  – proud nakrátko – největší proud, který je panel schopen dodat [9]

Dalším hlídaným faktorem je odolnost proti přírodním jevům. Solární panely jsou vyráběny s ohledem na kroupy do 25 mm při rychlosti 23,1 m/s a jsou schopny funkčnosti v rozmezí teplot  $-40^{\circ}\text{C}$  až  $+85^{\circ}\text{C}$  při tepelných ztrátách viz. tabulka 4. [5]

**Tabulka 4.** *Tepelné ztráty monokrystalických článků*

Jmenovitý výkon	$P_{MPP}$	-0,498	%/K
Napětí při chodu naprázdno	$U_{OC}$	-0,3925	%/K
Zkratový proud	$I_{SC}$	0,0611	%/K

#### 4.1.2 Power box (Optimizer)

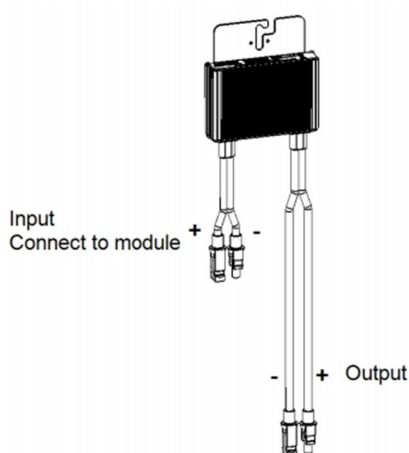
Jak již bylo zmíněno, power box od firmy SolarEdge slouží jako přepět'ová ochrana v případě požárů nebo jiného technického důvodu, kdy je schopen se sám odpojit od systému a předejít tak nehodě. V takovém případě je power box schopen pohltit část výkonu a druhou část pohltí měnič. Tyto power boxy jsou kvůli bezpečnosti předimenzovány o 1/8 výkonu. [10]

Každý power box obsahuje software, který posílá data o využití solárních panelů a je propojen s monitorignem ke kterému má přístup každý majitel systému.

Součástí power boxu je také software MPPT (maximum power point tracker), který slouží k zajištění nejlepšího bodu ve voltampérové charakteristice. Díky těmto optimizérům se maximalizuje účinnost ze solárních panelů. Tento software se obvykle nachází přímo v měničích jednosměrného proudu na střídavý proud, avšak díky tomu, že tento software se nachází v každém power boxu je měnič zodpovědný pouze za změnu proudu a tak dosahuje tento systém větší jak 97 % celkové účinnosti. Účinnost samotného optimizéru je 99,5% a dalo by se říci, že se jedná o měnič jednosměrného proudu na jednosměrný (DC/DC). Power boxy se vyrábí o výkonech od 300 W do 700W dle počtu zapojených modulů do jedné řady. Pro rodinné domy se využívají převážně optimizéry o výkonu 300 a 350 W a na komerční systémy se využívají optimizéry o výkonu 600 a 700 W. [11] Všechny typy jsou shrnuty v tabulce 5 a na obrázku 11 (Obr. 11) je schéma optimizéru.

**Tabulka 5.** *Technické data optimizérů* [13]

Typ	P300	P350	P500	P600	P700	Jednotky
Vstupní výkon (DC)	300	350	500	600	700	W
Maximální vstupní napětí	48	60	80	96	125	V
Maximální vstupní proud	10	11	10,1	10,1	10,1	I
MPP Tracker pracovní rozpětí	8–48	8–60	8–80	12,5–80	12,5–105	V
Účinnost	98,8	98,8	98,8	98,6	98,6	%
Maximální výstupní napětí	60	60	60	85	85	V
Maximální výstupní proud	15	15	15	15	15	I



**Obr. 11:** *Schéma optimizéru* [12]



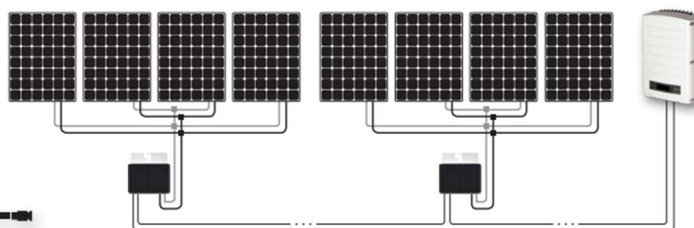
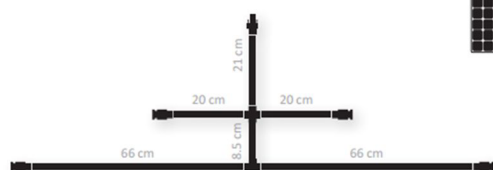
Pro zapojení jednotlivých modulů se využívají kabely, které jsou dvakrát izolované a jsou schopny propojit paralelně 2–4 moduly (Obr. 13) Pro zapojení se využívají MC4 konečky (Obr. 12).

[14]

**Obr. 12:** *MC4 konektor* [49]

**4-Module Branch Cable**

Part number: SE-CBY-4MM  
(10 male units+ 10 female units in each package)



**Obr. 13:** *Zapojení modulů do optimizérů a měniče* [14]

### 4.1.3 Měnič

Jako každý jiný měnič (inverter) slouží ke změně DC (jednosměrného proudu) na AC (střídavý proud). Měnič od SolarEdge je speciálně navržený na práci s optimizéry. Jeho účinnost je vyšší jak 97% a je možná instalace jak uvnitř, tak i venku. Má v sobě nainstalovaný sběrač dat, který shromažďuje data z jednotlivých modulů díky optimizérům. Tyto data mohou být pomocí LAN kabelu či pomocí bezdrátové sítě Wifi sdíleny na webovém rozhraní SolarEdge (příloha A), kde má každý klient přístup k monitoringu systému, který uskuteční sledování jak aktuálního výkonu, tak i funkci jednotlivých modulů (příloha B,C,D,E). [15]

Hlavní rozdělení těchto měničů je podle počtu fází na jednofázové a třífázové. V ČR se prodávají pouze třífázové z důvodu jednoduššího zapojení na domácí síť a předejití problémům se slučováním jističů na jednu fázi. [16] Další dělení měničů je podle výstupního výkonu (příloha F) a v tabulce 6 je uvedený měnič, který bude použit v navrhovaném systému.

**Tabulka 6.** Měnič od SolarEdge [17,18,19,20]

Typ (třífázový)	SE10K	Jednotky
Vstupní výkon (DC)	13500	W
Maximální vstupní napětí	900	V
Maximální vstupní proud	16,5	I
Účinnost	97,6	%
Frekvence	50/60	Hz
Výstupní napětí	380/220	V
Maximální výstupní proud	16	I
Výstupní výkon (AC)	10000	W

Jelikož Česká legislativa povoluje fotovoltaickou elektrárnu pouze do 10kW jako obnovitelný zdroj bez záminky podnikání, budou dále brány pouze invertory do 10kW. [21]

#### 4.1.4 Baterie (Tesla PowerWall Battery)

Baterie slouží k ukládání přebytečné elektrické energie na dobu, kdy ji využijeme. Dnešní lithiové akumulátory jsou dobrou volbou kvůli účinnosti baterie a kapacitě. Bohužel tyto baterie podléhají samovybití a slouží tak pouze k uchování energie na následující dny, maximálně týdny. Hodnota samovybití bývá u lithiových baterií okolo 8 % za měsíc. To znemožňuje uchování el. energie například z léta, kdy máme velké přebytky energie do zimy, kdy jsou naopak nedostatky vyrobené energie.

Baterie Tesla powerwall battery je novinkou na trhu a je kompatibilní se všemi měniči (jedno i tři fázové) od SolarEdge. Navíc její cena je díky vývoji asi dvakrát nižší než konkurenční baterie a účinnost dosahuje 92,5 %. Tento typ baterie se instaluje na stěnu a je potřeba odborné montáže. V tabulce 7 a 8 jsou technické a rozměrové parametry této baterie.

[28]

**Tabulka 7.** *Rozměrové specifikace Tesla PowerWall Battery* [28]

Rozměry		
Šířka	86,106	[cm]
Výška	130,048	[cm]
Hloubka	18,034	[cm]
Hmotnost	97	[kg]

**Tabulka 8.** *Technické informace, záruka a cena baterie Tesla PowerWall Battery* [28]

Záruka	10	let
Kapacita	6,4	kWh
Cena	100000	Kč
Výkon	3,3	[kWp]
Účinnost	92,5	[%]
Hloubka v	100	[%]
Napětí	350 - 450	[V]
Proud	9,5	[A]



**Obr. 14:** *Fotka baterie Tesla PowerWall Battery* [28]

#### 4.1.5 Watt Router

Wattrouter je regulátor, který v základním principu slouží k maximálnímu využití energie ze solárního systému a zabraňuje tak přetékání vyrobené energie do sítě. Zároveň slouží k efektivnímu přikupování el. energie ze sítě, jestliže máme na fázi nedostatek energie z fotovoltaické elektrárny (FVE). Další jeho výhodou jsou nastavitelné priority pro jednotlivé fáze a podle toho je schopen rozdělit energii z FVE. Jako základní prioritou se obvykle nastavuje ohřev TUV, vytápění či jiná přeměna do tepla. Pokud máme stále přebytek energie, nastavuje se druhá priorita na elektrické spotřebiče.

Wattrouter (Obr. 14) má i vlastní správu a monitoring, které jsou přístupné pro uživatele z osobního počítače a může do něj sám zasahovat a upravovat si priority podle své potřeby. [Příloha G][36]

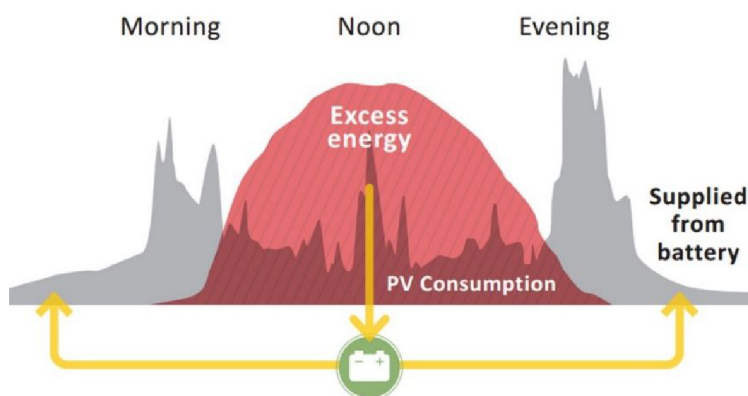


Obr. 14: Fotka watt routeru [36]

#### 4.2 Připojení k systému rozvodu elektrické energie

Po zapojení fotovoltaických modulů a následného připojení k měniči je potřeba promyslet, jaké fáze kam budou zapojeny. První fáze se zapojí na elektrický kotel s akumulační nádobou, kam se bude posílat přes Wattrouter většina okamžité vyrobené energie. Na další fázi se zapojí spotřebiče jako jsou pračka, myčka, sporák, mikrovlnka. Tyto spotřebiče se využívají pouze krátkodobě ve srovnání s elektrickým kotlem. Na třetí fázi se zapojí malé spotřebiče, které jedou delší dobu denně nebo dokonce celý den jako je lednička, notebook, televizor aj. Na Wattrouteru by se nastavila priorita 1 na elektrokotel, priorita dvě na malé spotřebiče vč. lednice a priorita 3 by byly spotřebiče s vysokým odběrem.

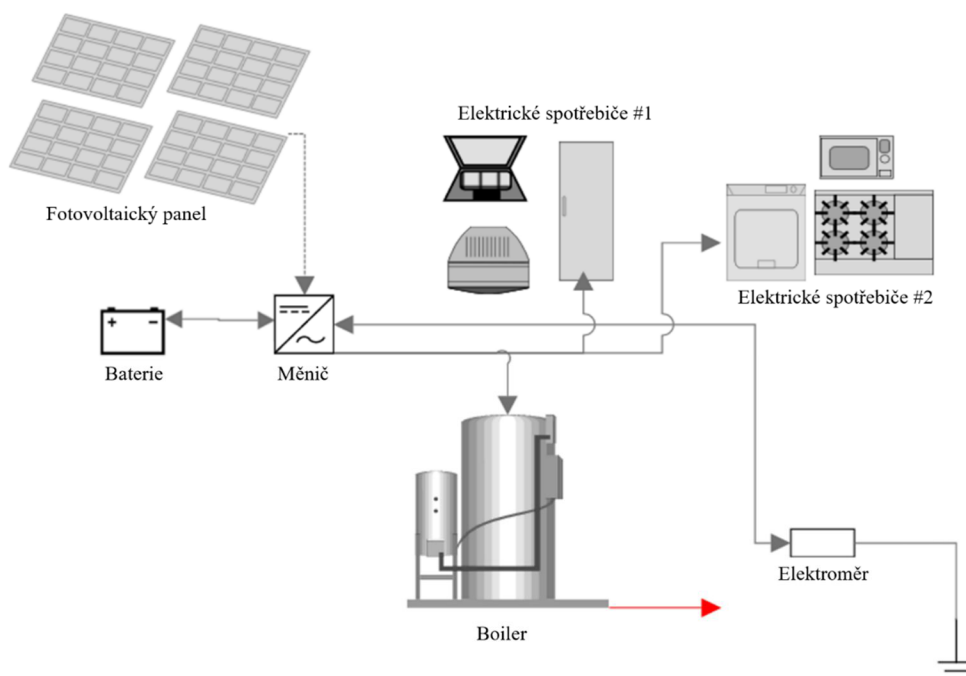
V systému si celkovou spotřebu z vyrobené energie hlídá měnič (wattrouter hlídá přetoky energie do sítě a priority) a pokud vyhodnotí, že energie není využívána okamžitě nebo není



využívána v celém rozsahu, přepne na ukládání energie do baterií. Tato situace nastává v denních hodinách (Noon), kdy spotřeba je minimální a výroba maximální. El. energii z baterie poté použijeme v ranních a večerních hodinách (Morning, Evening) (Obr. 16).

**Obr. 16:** Využití baterie k vyrovnání spotřeb energie [38]

V letních měsících nastává často situace, kdy vyrobené energie bude přebytek. V takové situaci je nutné připojit systém k síti a pouštět tuto energii do sítě za minimální výkupní cenu. Díky systému do 10kW není dnes problém vyřízení smlouvy o prodeji elektrické energie z vlastní výroby. Jediné co je potřeba zajistit je podepsání smlouvy se zprostředkovatelem energie (např. od firmy EON) a montáž obousměrného elektroměru. [39] Celý systém a jeho zapojení (Obr. 17) musí provést certifikovaný pracovník.



**Obr. 17:** Schéma zapojení celého systému [37]

## 5 Návrh solárního systému

### 5.1 Návrh plochy střechy

Pro rodinný dům v okolí Brna, tedy pro sluneční podmínky jihomoravského kraje, volíme střechu s fotovoltaickými panely o výkonu 10 kW. Z hlediska české legislativy je to maximální výkon, který můžeme využívat bez podnikatelského záměru. V kapitole Systém jsou popsány principy zapojení a parametry pro zvolené komponenty. Tedy jako zdroj fotovoltaické energie volíme solární tašky s plochou střechy 136 m<sup>2</sup> (1)

$$S_S = \frac{P_S}{P_{MPP} \times 3} = \frac{10\,000 [W]}{25 [W] \times 3} = 136 \text{ m}^2 \quad (1)$$

Kde:

$S_S$  – plocha střechy

$P_S$  – instalovaný výkon

$P_{MPP}$  – výkon jednoho modulu

$P_{MPP} \times 3$  – výkon na m<sup>2</sup>

Čistě solární panely zaujímají (2)

$$S_{FV} = \frac{P_S}{\eta_{FV} \times I_{STC}} = \frac{10000}{0,12 \times 1000} = 83,3333 \text{ m}^2 \quad (2)$$

Kde:

$S_{FV}$  – plocha fotovoltaických panelů

$P_S$  – instalovaný výkon

$\eta_{FV}$  – účinnost fotovoltaických panelů

$I_{STC}$  – sluneční intenzita za podmínek STC



## 5.2 Návrh spotřeby energie rodinného domu

Rodinný dům volíme s průměrnými tepelnými ztrátami novostavby 7 kW a ohřev 200 litrů vody denně. Fotovoltaické panely jsou všechny orientované na jih se sklonem 30°.

### Spotřeba elektrické energie za jednotlivé měsíce

Měsíční tepelné náklady na ohřev vody v otopné sezóně (3)

$$Q_{TUV,om} = Q_{TUV,d} \times d_1 = 15,6975 \times 30 = \mathbf{470,925 \text{ kWh}} \quad (3)$$

Kde:

$Q_{TUV,om}$  – tepelné náklady na ohřev vody v otopné sezóně za měsíc

$Q_{TUV,d}$  – tepelné náklady na ohřev vody za den

$d_1$  – počet dní v otopné sezóně pro jeden měsíc

[27]

Zbylé měsíce jsou počítány chronologicky

Měsíční tepelné náklady na ohřev vody mimo otopnou sezónu (4)

$$Q_{TUV,mom} = 0,8 \times Q_{TUV,d} \times \frac{t_2 - t_{svl}}{t_2 - t_{svz}} \times d_7 = 0,8 \times 15,6975 \times \frac{55-15}{55-5} \times 30 = \mathbf{301,3920 \text{ kWh}}$$

(4)

Kde:

$Q_{TUV,mom}$  – tepelné náklady na ohřev vody mimo otopnou sezónu za měsíc

$Q_{TUV,d}$  – tepelné náklady na ohřev vody za den

$t_2$  – teplota vody na kterou ohříváme

$t_{svl}$  – teplota studené vody v létě

$t_{svz}$  – teplota studené vody v zimě

$d_7$  – počet dní mimo otopnou sezónu pro jeden měsíc [27]

Zbylé měsíce jsou počítány chronologicky



**Tabulka 9.** Roční tepelné náklady na ohřev vody

Měsíc	$Q_{TUV,m}$	
1	470,925	kWh
2	470,925	kWh
3	470,925	kWh
4	470,925	kWh
5	301,392	kWh
6	301,392	kWh
7	301,392	kWh
8	301,392	kWh
9	301,392	kWh
10	470,925	kWh
11	470,925	kWh
12	470,925	kWh

Měsíční tepelné ztráty pro leden (6)

**Tabulka 10.** Konstanty pro výpočet tepla na vytápění

Opravný součinitel	0,765	[-]
Účinnost systému pro vytápění	0,9025	[-]
Počet hodin	24	[hod]
Průměrná vnitřní teplota	19	[C]
Venkovní teplota	-12	[C]

$$D = d \times (t_{is} - t_{es}) = 30 \times (19 - (0)) = 570 \text{ K dny} \quad (5)$$

$$Q_{VYT,m} = \frac{\varepsilon}{\eta_o \times \eta_r} \times \frac{24 \times Q_C \times D}{(t_{is} - t_e)} = \frac{0,765}{0,9025} \times \frac{24 \times 7 \times 570}{(19 - (-12))} = \mathbf{2618,4041 \text{ kWh}} \quad (6)$$

Kde:

$D$  – vytápěcí denostupně

$d$  – počet dní v otopné sezóně pro jeden měsíc (leden)

$t_{is}$  – průměrná vnitřní teplota

$t_{es}$  – průměrná venkovní teplota za měsíc

$Q_{VYT,m}$  – tepelné náklady na vytápění rodinného domu za měsíc

$\varepsilon$  – opravný součinitel

$\eta_0 \times \eta_r$  – účinnost systému pro vytápění

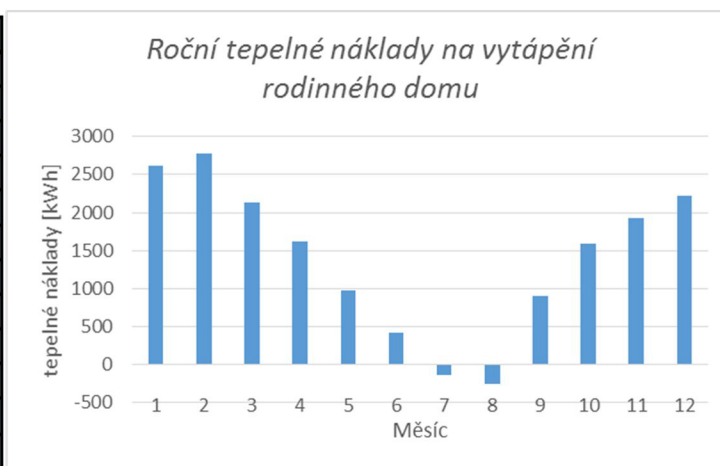
$Q_c$  – tepelné ztráty objektu [27]

Zbylé měsíce jsou počítány chronologicky

V grafu 1 vidíme, že v letních měsících (7 a 8) máme hodnoty u  $Q_{VYT,m}$  záporné. To jsou měsíce, kdy musíme klimatizovat, abychom si udrželi tepelný standart.

**Tabulka 11.** Roční tepelné náklady na vytápění rodinného domu **Graf 1.** Roční tepelné náklady na vytápění rodinného domu

Měsíc	Teplota [°C]	$Q_{VYT,m}$	
1	0	2618,4041	kWh
2	-1,1	2769,9959	kWh
3	3,5	2136,0665	kWh
4	7,2	1626,1667	kWh
5	11,9	978,4563	kWh
6	15,9	427,2133	kWh
7	20	-137,8107	kWh
8	20,8	-248,0593	kWh
9	12,5	895,7698	kWh
10	7,5	1584,8235	kWh
11	5	1929,3504	kWh
12	2,9	2218,7529	kWh



Spotřeba elektrické energie spotřebiči

**Tabulka 12,13.** Spotřeba a délka používání jednotlivých spotřebičů za den [28]

LCD TV	0,1	[kW]
Světlo	0,1	[kW/pokoj]
Notebook	0,05	[kW]
Lednice	0,066667	[kW]
Pračka	2,3	[kW/použití]
Sušička	3,3	[kW/použití]

Počet TV	1	Hodin	6
Počet pokojů	4	Hodin	6
Počet ntb	3	Hodin	12
Počet praček/den	1	-	
Počet sušiček/den	0	-	
Celková spotřeba	7,3667	[kWh/den]	
Celková spotřeba	2688,8333	[kWh/rok]	

Celkovou spotřebu elektrické energie vypočítáme jako součet spotřeb za den a vynásobením 365 dny (7)

$$Q_{EL,r} = (Q_{LCD} + Q_{ntb} + Q_{light} + Q_{lednice} + Q_{pračka}) = (0,1 \times 6 + 0,05 \times 12 \times 3 + 0,1 \times 4 \times 6 + 0,06667 \times 4 + 2,3) \times 365 = 2688,8338 \text{ kWh} \quad (7)$$

Kde:

$Q_{EL,r}$  – spotřeba elektrické energie na spotřebiče za rok

$Q_{LCD}$  – spotřeba elektrické energie na televizi za den

$Q_{ntb}$  – spotřeba elektrické energie na notebook za den

$Q_{light}$  – spotřeba elektrické energie na svícení za den

$Q_{lednice}$  – spotřeba elektrické energie na lednici za den

$Q_{pračka}$  – spotřeba elektrické energie na pračku za den

### **Měsíční spotřeba el. energie spotřebiči**

Průměrnou měsíční spotřebu el. spotřebiči získáme podělením roční spotřeby elektrospotřebičů dvanácti měsíci (8)

$$Q_{EL,m} = \frac{Q_{EL,r}}{12} = \frac{2688,8338}{12} = \mathbf{224,0694 \text{ kWh}} \quad (8)$$

Kde:  $Q_{EL,m}$  – spotřeba elektrické energie na spotřebiče za jeden měsíc

Zbylé měsíce jsou počítány stejným způsobem.

### Spotřeba energie za jeden měsíc (leden)

Celkovou spotřebu energie za jeden měsíc získáme součtem jednotlivých složek energií za měsíc (9)

$$Q_{m1} = Q_{TUV,m1} + Q_{VYT,m1} + Q_{EL,m1} = 470,9250 + 2618,4040 + 224,0694 = 3\,313,3985 \text{ kWh} \quad (9)$$

Kde:

$Q_{m1}$  – Spotřeba energie za jeden měsíc (leden)

$Q_{TUV,m1}$  – tepelné náklady na ohřev vody za jeden měsíc (leden)

$Q_{VYT,m1}$  – tepelné náklady na vytápění rodinného domu za jeden měsíc (leden)

$Q_{EL,m1}$  – spotřeba elektrické energie na spotřebičích za jeden měsíc (leden)

**Tabulka 14.** Přehled celkové spotřeby el. energie v jednotlivé měsíce v kWh [29][32]

Měsíc	$Q_m$	
1	3313,3986	kWh
2	3464,9904	kWh
3	2831,0610	kWh
4	2321,1612	kWh
5	1503,9177	kWh
6	952,6748	kWh
7	663,2735	kWh
8	773,5205	kWh
9	1421,2313	kWh
10	2279,8180	kWh
11	2624,3449	kWh
12	2913,7474	kWh

Spotřebu za rok pak spočítáme jako součet měsíčních celkových spotřeb energií (10)

$$Q_r = \sum_{i=1}^{12} Q_{mi} = \sum_{i=1}^{12} Q_{EL,mi} + Q_{VYT,mi} + Q_{TUV,mi} = 23\,202,6900 \text{ kWh} \quad (10)$$

Kde:  $Q_r$  – celková spotřeba za rok

### 5.3 Výroba energie z fotovoltaického systému

Výrobu fotovoltaického systému za jednotlivé měsíce vypočítáme podle rovnice (11)

$$P_M = \tau \times I_m \times \eta_{FV} \times \eta_o \times \eta_m \times S_{FV} \quad (11)$$

Kde:

$P_M$  – výkon za měsíc

$\tau$  – sluneční hodiny

$I_m$  – průměrná sluneční intenzita za měsíc

$\eta_{FV}$  – účinnost fotovoltaického panelu

$\eta_o$  – účinnost optimizéru

$\eta_m$  – účinnost měniče

$S_{FV}$  – plocha fotovoltaických panelů

Sluneční hodiny a sluneční intenzita pro dané měsíce je uvedena v tabulce 15

Pro první měsíc platí (12)

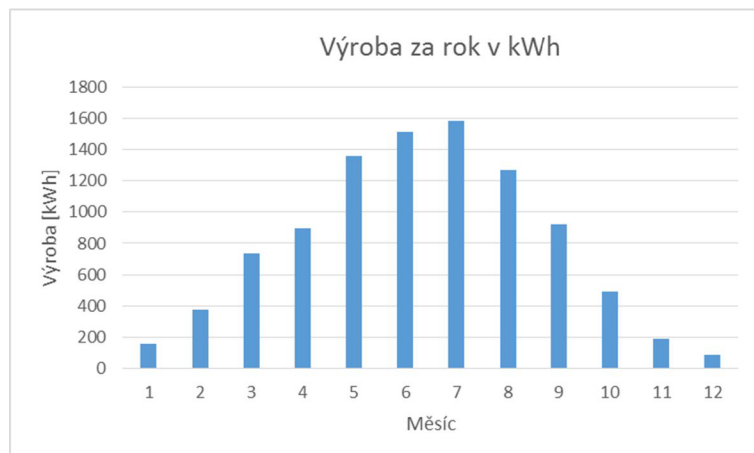
$$P_M = 46 \times 0,358 \times 0,12 \times 0,988 \times 0,973 \times 83,3333 = \mathbf{158,3108 kWh} \quad (12)$$

Další měsíce jsou počítány chronologicky

**Tabulka 15.** Průměrná sluneční intenzita a sluneční hodiny v jednotlivých měsících [30][31]

Měsíc	Intenzita slunečního ozáření	Sluneční hodiny
1	0,358 kW	46
2	0,443 kW	88
3	0,537 kW	142
4	0,574 kW	163
5	0,609 kW	232
6	0,611 kW	258
7	0,609 kW	270
8	0,574 kW	230
9	0,537 kW	179
10	0,443 kW	116
11	0,358 kW	56
12	0,299 kW	30

**Graf 2.** Celková výroba za rok



Za celý rok se vyrobí 9 586,0595 kWh energie

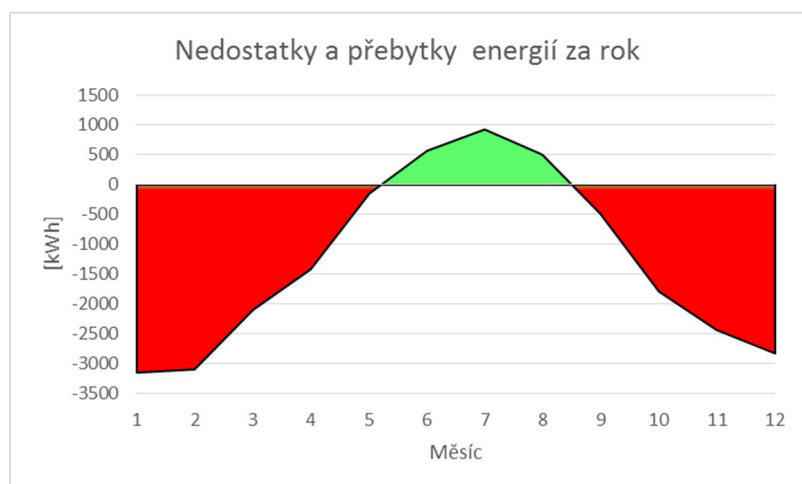
#### 5.4 Návrh denního ukládání přebytečné energie

V grafu 3 vidíme, že v pátém měsíci už jsme téměř schopni být soběstační a pouze v 6, 7 a 8 měsíci jsme úplně soběstační a navíc můžeme ukládat energii do baterií. Zbylé měsíce je třeba být připojeni k síti a odebírat energii ze sítě. Díky možnosti volby, kdy budeme ohřívat a akumulovat vodu na vytápění a jako TUV, není potřeba ukládat el. energii do baterií a můžeme tak energii ze solárních panelů využívat okamžitě.

V zimě jsme s baterií schopni pokrýt minimálně elektrické spotřebiče při použití alespoň jedné 10kWh baterie. V létě, abychom uchovali veškerou přebytečnou energii bychom každý den naplnili tři takové baterie. Záporné hodnoty poukazují na nedostatek energie.

V grafu 3 vidíme zápornou oblast, označenou červeně, která představuje nedostatek energie a oblast zelenou, která odpovídá přebytku energie.

**Graf 3** Nedostatky a přebytky energií v jednotlivých měsících v kWh



## 5.5 Finanční zhodnocení

V každém měsíci se ušetří na tom, co je vyrobeno a zároveň spotřebováno. V měsících otopné sezóny je možno díky baterii spotřebovat veškerou energii, v letních měsících vzniká přebytečná energie, kterou musíme prodávat do sítě. Vše co bylo vyrobeno v 1–5 a 9–12 měsíci bylo spotřebováno a v 6 – 8 měsíci máme přebytky, které musíme prodat (tabulka 16).

**Tabulka 16.** Ušetřené kWh díky fotovoltaickému systému

Měsíc	Využito	Prodáno
1	158,3108	0,0000
2	374,7624	0,0000
3	733,0477	0,0000
4	899,4336	0,0000
5	1358,2349	0,0000
6	952,6748	562,7365
7	663,2735	917,4309
8	773,5205	495,6189
9	924,0531	0,0000
10	494,0050	0,0000
11	192,7262	0,0000
12	86,2307	0,0000

Celkově tak ušetříme za rok

Abychom zjistili kolik ročně ušetříme musíme sečíst vyrobené energie za jednotlivé měsíce a vynásobit je běžným tarifem a navíc přičíst součin energií, které jsme vyrobily a prodali za odkupnou cenu, která je okolo 20 halíčů (14)

$$\text{Ušetřeno za rok} = \sum_{i=1}^{12} \text{Využit}_i = 7\,610,2731 \text{ kWh} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \text{Ušetřeno za rok} &= \text{Využito} \times D02d + \sum_{i=1}^{12} \text{Prodáno}_i \times \text{odkup} = 7610,2731 \times 4 + \\ &+ 1975,7864 \times 0,2 = \mathbf{30\,836,2498 \text{ Kč}} \end{aligned} \quad (14)$$

Kde: D02d – tarif elektřiny v průměru 4 Kč

Za rok v podmínkách okolí Brna je možné ušetřit 30 836 Kč

**Tabulka 15.** *Cena systému* (příloha H)

	Kusů	Cena za kus	Cena celkem
Solární panely	400	1 500,00 Kč	600 000,00 Kč
Kabely s diodou	440	228,00 Kč	100 320,00 Kč
Příslušenství			91 428,00 Kč
Optimizér	38	2 016,00 Kč	80 640,00 Kč
Měnič	1	61 833,60 Kč	61 833,60 Kč
Baterie	1	100000	100 000,00 Kč
			<b>1 034 221,60 Kč</b>

Podílem ceny systému a ušetřených peněz za rok získáme návratnost (15)

$$Návratnost = \frac{Cena\ systému}{Ušetřené\ náklady\ za\ rok} = \frac{1034221,6}{30836,25} = 33,5\ let \quad (15)$$

Tato návratnost vzroste pokud do výpočtu zahrneme i degradaci křemíkových buňek. Udávaný pokles výkonu je 1% za rok (příloha I,J) (16)

$$Ušetřeno\ za\ rok\ s\ degradací\ fotovoltaiky = \sum_{i=1}^{n=3} \frac{Využití_i \times D02d + Prodáno_i \times odkup}{n} =$$

$$\frac{30836,2498 + 28660,6230 + 26484,9961}{3} = \mathbf{28660,6230\ Kč} \quad (16)$$

To zvýší návratnost na 36,08 let.



Jednou z variant, jak snížit návratnost je ušetření na systému. Pokud bychom využily solární panely například od Panasonicu a hybridní měnič včetně baterie od firmy Fronius cena bude 726 tis. Kč [33]

**Tabulka 16.** *Cena náhradního systému*

	Kusů	Cena za kus	Cena celkem
Solární panely	40	6 990,00 Kč	279 960,00 Kč
Příslušenství			70 000,00 Kč
Měnič	2	51 000,00 Kč	102 000,00 Kč
Baterie	1	274 000,00 Kč	274 000,00 Kč
			<b>725 960,00 Kč</b>

Potom se návratnost pohybuje okolo 23,54 let a poklesem výkonu 1% za rok je to 25,32 let.

Další úspory na systému můžeme docílit požádáním o dotaci, která se pohybuje do 100 tis. Kč za předpokladu výroby minimálně 3000 kWh za rok. Tuto podmínku tento systém splňuje. [34]

Pro systém se solárními taškami to dělá návratnost 32,56 let a systém s variantou v tabulce 16 je tato návratnost 21,84 let.



## **6 Další možnosti do budoucna**

### **6.1 Využití pasivních domů**

Další možností je instalace systému na pasivní dům, čímž dojde ke snížení tepelných ztrát až na 2 kW. V takovém případě může být rodinný dům soběstačný až 5 měsíců. Navíc tím snížíme náklady na vytápění v zimních měsících.

### **6.2 Montáž tepelného čerpadla**

Tato možnost je uskutečnitelná u klasického rodinného domu nebo u starších domů a může ušetřit až 70% nákladů na vytápění a ohřev vody. Cena tepelných čerpadel i s instalací se pohybuje od 180 tis. Kč a výše, jsou zde možnosti dotací ve výši od 60 do 100 tis. Kč. [34] Další výhodou tepelných čerpadel je sazba za elektřinu, která se z klasického tarifu D02d (4 Kč/kWh) posune na tarif D56d u kterého se cena pohybuje okolo 2 Kč za kWh.

### **6.3 Bazén**

Jednou z dalších variant pro letní přebytky je například bazén, který musíme i v létě ohřívat a tak se zbavíme prodeje el. energie do sítě. Tato možnost je příznivá samosebou pro domy, které již bazén mají, jinak zde nastává další velká investice.

### **6.4 Snížení nákladů na elektrických spotřebičích**

Jednou z jednodušších úspor a hlavně bez počátečních investic je šetření elektrické energie v domě. To především zahrnuje náhradu klasických žárovek za LED osvětlení a používání spotřebičů třídy A++ a vyšší.

### **6.5 Celoroční ukládání přebytečné energie**

Jak již bylo zmíněno v kapitole č.4, jednou z variant je možnost ukládat energii, kterou bychom jinak museli prodávat do sítě, do vodíku a uchovávat ji na delší dobu (z léta do zimy), čímž získáme další dny soběstačnosti. Takový projekt simulace rodinného domu je sřízen ve výzkumném institutu ÚJV Řež u Prahy, kde tento systém testují.

## **6.6 Výběr lokality**

Neposlední možností je výběr lokality instalace systému. V Brně je průměrné sluneční ozáření  $1200 \text{ kWh/m}^2$  a jen 1000 km níže v Chorvatsku je toto ozáření okolo  $1500 \text{ kWh/m}^2$  za rok. [35]  
Tím můžeme zvýšit výrobu el. energie až o 20%.

## 7 Závěr

Obnovitelné zdroje se dnes začínají stávat trendem kvůli častějším a častějším přírodním změnám klimatu způsobené globálním oteplováním. Takový solární systém je schopen ročně snížit emise CO<sub>2</sub> až o 3 000 kg. Jak jsme zjistily, je možné za rok ušetřit na nákladech rodinného domu za spotřebované energie okolo 30 000 Kč. Celá investice je možná plného návratu za 21 let s použitím levnější varianty. Jsou i odpůrci, kteří fotovoltaiku odsuzují kvůli estetickému dojmu (příloha K). Pro takové je zde systém, který zahrnuje solární tašky s vyšší počáteční investicí a tak i prodloužené návratnosti na 36 let. Z důvodů vysokých návratností solárního systému dnes není systém určen za výdělkem, jak tomu bylo v roce 2007, ale spíše vytvořit systém pro rodinný dům, který by pokryl náklady domácnosti a vytvořil tak soběstačný dům, komunitu nebo i město.

## Seznam zdrojů

- [1] QUASCHNING, Volker: Obnovitelné zdroje energií. Grada Publishing a.s., 2010. ISBN 978-80-247-3250-3
- [2] CEZ – Solární energie. *Fotovoltaický jev*. [online]. [cit. 2016-03-17]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/f8.htm>
- [3] CEZ – Solární energie. *Solární články*. [online]. [cit. 2016-03-17]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k3>
- [4] Prvky. *Periodická tabulka – Křemík*. [online]. [cit. 2016-03-17]. Dostupné z: <http://www.prvky.com/14.html>
- [5] Solární tašky. *O produktu, technické data*. [online]. [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: <http://www.solarnitasky.cz/o-produktu>
- [6] Solaredge solution. . [online]. [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: <http://www.solaredge.com/groups/solutions/storedge-solution>
- [7] Gasser ceramic PANOTRON. *DATA sheet about PV – module*. [online]. [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: [http://www.gasserceramic.ch/media/files/download\\_en/datasheet\\_pv\\_module.pdf](http://www.gasserceramic.ch/media/files/download_en/datasheet_pv_module.pdf)
- [9] Technická zařízení budov. *Nejpoužívanější pojmy ve fotovoltaiice*. [online]. [cit. 2016-04-22]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaiika/11772-nejpouzivanejsi-pojmy-ve-fotovoltaiice>
- [10] Solární tašky. *Rozhovor s technikem jménem Karel Nedvěd*. [online]. [cit. 2016-04-22]. Dostupné z: [www.solarnitasky.cz/kontakty](http://www.solarnitasky.cz/kontakty)
- [11] Solaredge. *About product, Power Optimizer*. [online]. [cit. 2016-04-22]. Dostupné z: <http://www.solaredge.com/groups/powerbox-power-optimizer>
- [12] Solaredge. *Installation guide, inverter*. [online]. [cit. 2016-04-22]. Dostupné z: <http://www.solaredge.com/files/pdfs/products/inverters/guides/se-inverter-installation-guide.pdf>
- [13] Solaredge. *Power optimizer, types*. [online]. [cit. 2016-04-22]. Dostupné z: <http://www.solaredge.com/files/pdfs/products/power-optimizers/se-p-series-add-on-frame-mounted-power-optimizer-datasheet.pdf>
- [14] Solaredge. *Branch-cable for optimizers*. [online]. [cit. 2016-04-22]. Dostupné z: [http://www.solaredge.com/files/pdfs/products/power-optimizers/se\\_branch\\_cables\\_datasheet.pdf](http://www.solaredge.com/files/pdfs/products/power-optimizers/se_branch_cables_datasheet.pdf)
- [15] Solaredge. *Three phase solar inverters*. [online]. [cit. 2016-04-22]. Dostupné z: <http://www.solaredge.com/groups/inverter/three-phase-solar-inverter>
-

- [16] Mojelektrarna. *Řešení zapojení solárního systému*. [online]. [cit. 2016-04-30]. Dostupné z: <http://www.mojeelektrarna.cz/moje-elektrarna.php>
- [17] Solaredge. *Single phase inverters*. [online]. [cit. 2016-04-30]. Dostupné z: <http://www.solaredge.com/files/pdfs/products/inverters/se-single-phase-inverter-datasheet.pdf>
- [18] Solaredge. *Three phase inverters*. [online]. [cit. 2016-04-30]. Dostupné z: <http://www.solaredge.com/files/pdfs/products/inverters/se-three-phase-inverter-datasheet.pdf>
- [19] Solaredge. *Extended three phase inverters*. [online]. [cit. 2016-04-30]. Dostupné z: <http://www.solaredge.com/files/pdfs/products/inverters/se-three-phase-inverter-extended-power-datasheet-aus.pdf>
- [20] Solaredge. *Three phase inverters for medium voltage grid*. [online]. [cit. 2016-04-30]. Dostupné z: <http://www.solaredge.com/files/pdfs/products/inverters/se-three-phase-inverter-medium-voltage-datasheet.pdf>
- [21] Technická zařízení budov. *Připojení mikrozdroje do 10kW*. [online]. [cit. 2016-04-30]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/13798-od-unora-je-mozne-pripojovat-mikrozdroje-do-10-kw-ve-zjednodusenem-rezimu>
- [22] Technická zařízení budov. *Porovnání možností akumulace*. [online]. [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: [http://www.tzb-info.cz/download.py?file=docu/clanky/0080/008065\\_Radil\\_Baterie.pdf](http://www.tzb-info.cz/download.py?file=docu/clanky/0080/008065_Radil_Baterie.pdf)
- [23] Fronius – měniče. *Historie akumulátorů*. [online]. [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: [http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-0B974ABD-2CEA3E39/fronius\\_ceska\\_republika/hs.xsl/28\\_8177.htm#.VyMx8zB97Gg](http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-0B974ABD-2CEA3E39/fronius_ceska_republika/hs.xsl/28_8177.htm#.VyMx8zB97Gg)
- [24] Michael Canov – Chemie. *Olovené akumulátory*. [online]. [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <http://canov.jergym.cz/elektro/clanky2/olov.pdf>
- [25] Stránky o využití malých vodních toků k výrobě elektrické energie. *Akumulátory NiFe a NiCd*. [online]. [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: [http://www.malavoda.cz/akum\\_nife\\_nicd.pdf](http://www.malavoda.cz/akum_nife_nicd.pdf)
- [26] Battex. *NiMH baterie a jejich použití*. [online]. [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/nimh-akumulatory/rozdeleni-podle-pouziti-nimh-akumulatoru>
- [27] Technická zařízení budov. *Potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé vody*. [online]. [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-potreba-tepla-pro-vytapani-a-ohrev-teple-vody>
-

- [28] Tesla motor. *Tesla powerwall battery*. [online]. [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <https://www.teslamotors.com/powerwall>
- [29] Český hydrometeorologický ústav. *Měsíční data Brno – Tuřany 2015*. [online]. [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mesicni-data#>
- [30] CIHELKA J., *Solární tepelná technika*, 1. vydání, Praha 1994: Česká typografie, a.s., 208s., ISBN 80-900759-5-9
- [31] Teplárny Brno. *Úhrn venkovních teplot 2015*. [online]. [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://www.teplarny.cz/mapa-venkovnich-teplot/?rok=2015>
- [32] Meteo Jirkalina. *Úhrn venkovních teplot 2015*. [online]. [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://meteo-jirkalina.com/wx21.php>
- [33] Terms e-shop. *Cenová nabídka měničů*. [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://eshop.terms.eu/>
- [34] Nová zelená úsporám. *Podmínky oblasti podpory*. [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.novazelenausporam.cz/podminky-oblasti-podpory-c-3-vyzva/>
- [35] Solar gis. *Solar radiation maps*. [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://solargis.info/doc/free-solar-radiation-maps-GHI#C>
- [36] Solar controls. *Wattrouter regulátory pro solární systémy*. [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: [http://www.solarcontrols.cz/cz/wattrouter\\_cwx.html](http://www.solarcontrols.cz/cz/wattrouter_cwx.html)
- [37] Smartdraw. *Create your own schematics*. [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <https://cloud.smartdraw.com>
- [38] google. *graf akumulace energie*. [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: [https://www.google.cz/search?q=google+using+battery+for+solar+system&biw=679&bih=631&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiqsfmVm\\_PMAhUDOhQKHQoPCgUQ\\_AUIBigB#tbm=isch&q=using+battery+for+solar+system+graph](https://www.google.cz/search?q=google+using+battery+for+solar+system&biw=679&bih=631&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiqsfmVm_PMAhUDOhQKHQoPCgUQ_AUIBigB#tbm=isch&q=using+battery+for+solar+system+graph)
- [39] Eon. *Obnovitelné zdroje, výkup*. [online]. [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://www.eon.cz/spoluprace-s-vyrobci-elektřiny-vykup-elektřiny-z-obnovitelných-zdrojů/vykup-elektřiny/obnovitelne-zdroje>
- [40] cnews. *Li-ion baterie: principy, provoz, rady*. [online]. [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://www.cnews.cz/li-ion-baterie-principy-provoz-rady-1cast/strana/0/3>
- [41] Automatizace, rady a poslední novinky z oboru. *Superkondenzátory – princip, vlastnosti, použití*. [online]. [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/clanek/2006122601>
- [42] h2bus. *TriHyBus – vodíkový autobus*. [online]. [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://www.h2bus.cz/autobus>
-



- [43] oenergetice. *Přečerpávací vodní elektrárna – princip*. [online]. [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/typy-elektaren/precerpavaci-vodni-elektarna-princip-usporadani-2/>
- [44] Hybrid.cz. *Využití setrvačnicků KERS*. [online]. [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/volvo-chce-vyuzivat-system-kers-v-beznych-automobilech>
- [45] Energy storage association. *Compressed Air Energy Storage (CAES)*. [online]. [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://energystorage.org/compressed-air-energy-storage-caes>
- [46] ÚJV Řež. *Tiskové zprávy 2015/16*. [online]. [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://www.ujv.cz/en/component/content/article?id=444:tiskov%C3%A1-zpr%C3%A1va-2015-6>
- [47] *Power-to-gas: technology and business models*. New York: Springer, 2014. ISBN 9783319039947
- [48] Energie park mainz. *turning wind into gas*. [online]. [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://www.energiepark-mainz.de/en/>
- [49] elektronika eshop. *konektory MC4*. [online]. [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: [http://eshopelektronika.cz/detail/kabely\\_konektory\\_redukce/konektory-mc4-na-fotovoltaiicke-panely](http://eshopelektronika.cz/detail/kabely_konektory_redukce/konektory-mc4-na-fotovoltaiicke-panely)
- [50] elektronovinky. *Součástky, informace o superkondenzátorech*. [online]. [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://www.elektronovinky.cz/soucastky/superkondenzator>
- [51] Technická zařízení budov. *Fotovoltaiické panely na trhu*. [online]. [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaiika/6093-prehled-trhu-fotovoltaiicke-panely>
- [52] Transformační technologie. *Sluneční záření jako zdroj energie*. [online]. [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: <http://www.transformacni-technologie.cz/slunecni-zareni-jako-zdroj-energie.html>

## Seznam symbolů a zkratk

$D$  – vytápěcí denostupně

$d$  – počet dní v otopné sezóně pro jeden měsíc (leden)

$D02d$  – tarif elektřiny v průměru 4 Kč

$d_1$  – počet dní v otopné sezóně pro jeden měsíc

$d_7$  – počet dní mimo otopnou sezónu pro jeden měsíc

$I_m$  – průměrná sluneční inenzita za měsíc

$I_{STC}$  – sluneční intenzita za podmínek STC

$P_{MPP}$  – výkon jednoho modulu

$P_M$  – výkon za měsíc

$P_S$  – instalovaný výkon

$P_S$  – instalovaný výkon

$Q_C$  – tepelné ztráty objektu

$Q_{EL,r}$  – spotřeba elektrické energie na spotřebiče za rok

$Q_{EL,m}$  – spotřeba elektrické energie na spotřebiče za jeden měsíc

$Q_{EL,m1}$  – spotřeba elektrické energie na spotřebičích za jeden měsíc (leden)

$Q_{LCD}$  – spotřeba elektrické energie na televizi za den

$Q_{lednice}$  – spotřeba elektrické energie na lednici za den

$Q_{light}$  – spotřeba elektrické energie na svícení za den

$Q_{m1}$  – Spotřeba energie za jeden měsíc (leden)

$Q_{ntb}$  – spotřeba elektrické energie na notebook za den

$Q_{pračka}$  – spotřeba elektrické energie na pračku za den

$Q_r$  – celková spotřeba za rok

$Q_{TUV,m1}$  – tepelné náklady na ohřev vody za jeden měsíc (leden)

$Q_{TUV,om}$  – tepelné náklady na ohřev vody v otopné sezóně za měsíc

$Q_{TUV,d}$  – tepelné náklady na ohřev vody za den

$Q_{TUV,mom}$  – tepelné náklady na ohřev vody mimo otopnou sezónu za měsíc

$Q_{TUV,d}$  – tepelné náklady na ohřev vody za den

$Q_{TUV,m1}$  – tepelné náklady na ohřev vody za jeden měsíc (leden)

$Q_{VYT,m}$  – tepelné náklady na vytápění rodinného domu za měsíc

$Q_{VYT,m1}$  – tepelné náklady na vytápění rodinného domu za jeden měsíc (leden)

$S_{FV}$  – plocha fotovoltaických panelů

$S_{FV}$  – plocha fotovoltaických panelů

$S_s$  – plocha střechy

$t_2$  – teplota vody na kterou ohříváme

$t_{svl}$  – teplota studené vody v létě

$t_{svz}$  – teplota studené vody v zimě

$t_{is}$  – průměrná vnitřní teplota

$t_{es}$  – průměrná venkovní teplota za měsíc

$\varepsilon$  – opravný součinitel

$\eta_{FV}$  – účinnost fotovoltaických panelů

$\eta_{FV}$  – účinnost fotovoltaického panelu

$\eta_o$  – účinnost optimizéru

$\eta_m$  – účinnost měniče

$\eta_0 \times \eta_r$  – účinnost systému pro vytápění

$\tau$  – sluneční hodiny

## Seznam příloh

Příloha A – grafické prostředí systému SolarEdge (obrázek)

Příloha B – reálné hodnoty z monitorovacího systému (graf)

Příloha C – reálné hodnoty z monitorovacího systému (graf)

Příloha D – reálné hodnoty z monitorovacího systému (graf)

Příloha E – reálné hodnoty z monitorovacího systému (graf)

Příloha F – typy měničů od SolarEdge a jejich technické parametry (tabulka)

Příloha G – grafické prostředí systému Wattrouter (obrázek)

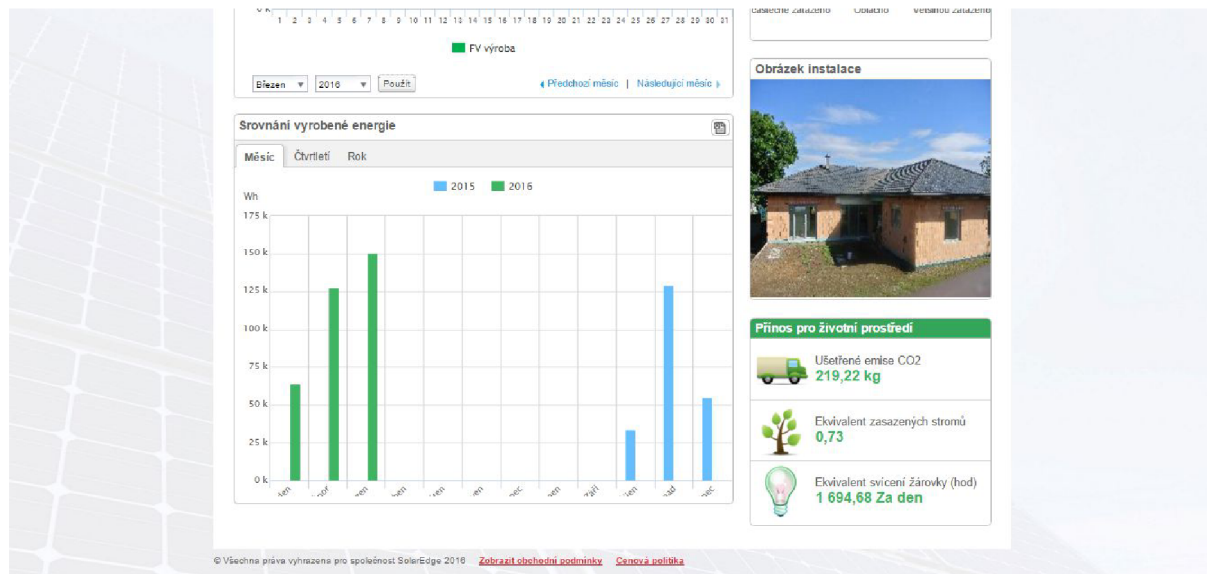
Příloha H – rezepsaný ceník (tabulka)

Příloha I – přebytky a nedostatky energie s poklesem životnosti (tabulka)

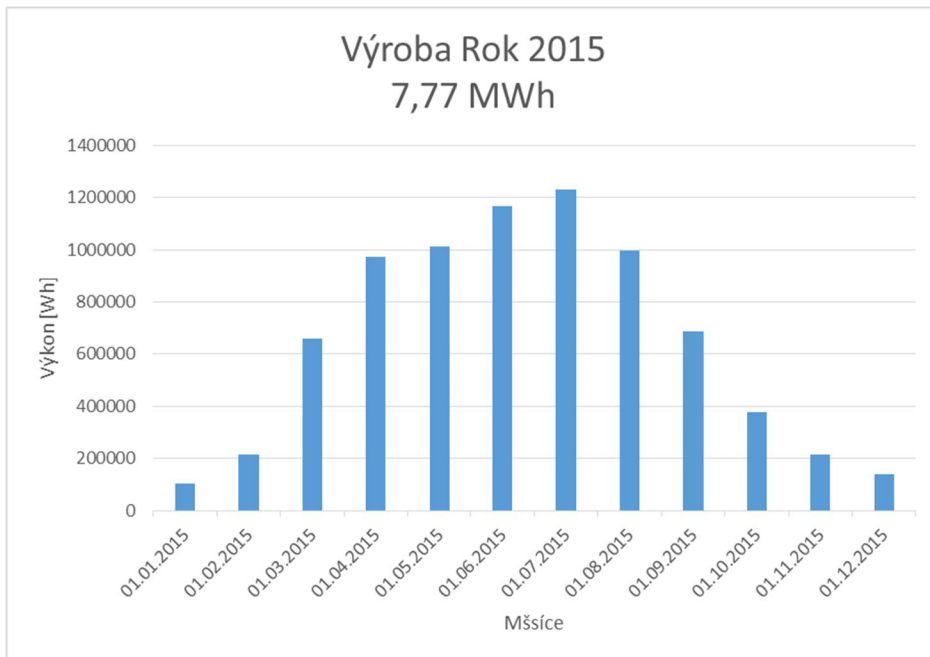
Příloha J – pokles výkonu po 0 – 30 letech (tabulka)

Příloha K – výsledný efekt solárních tašek (fotka)

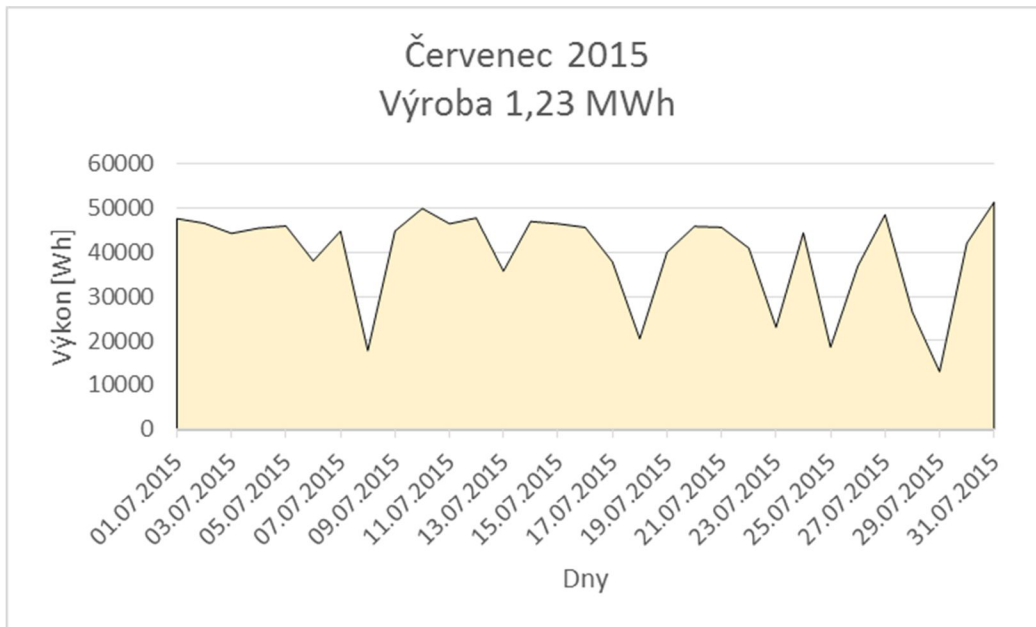
Příloha A



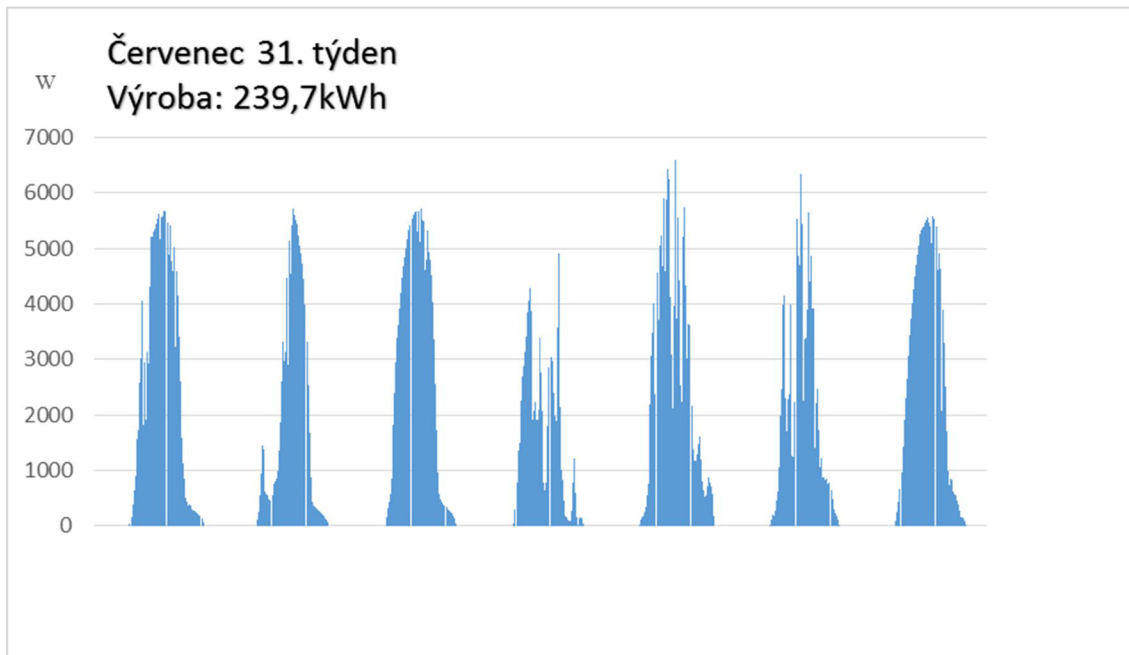
Příloha B



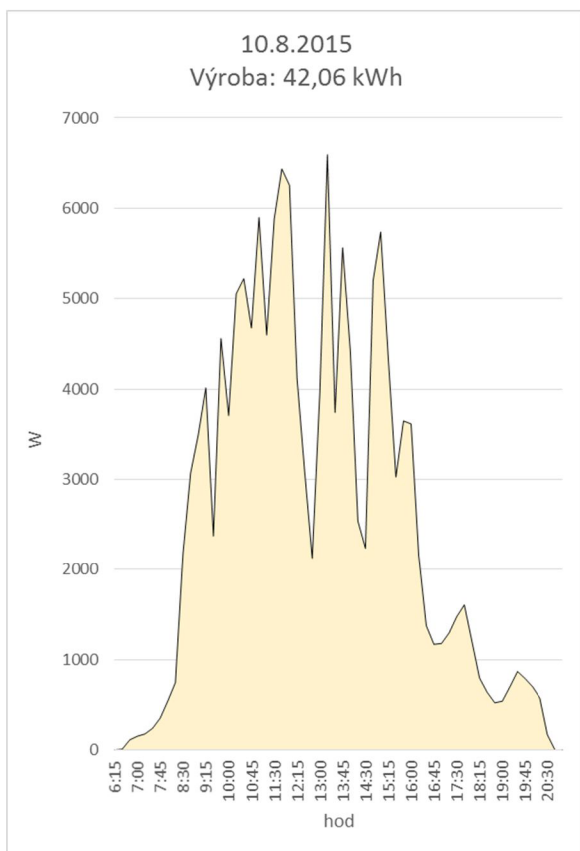
Příloha C



Příloha D



Příloha E

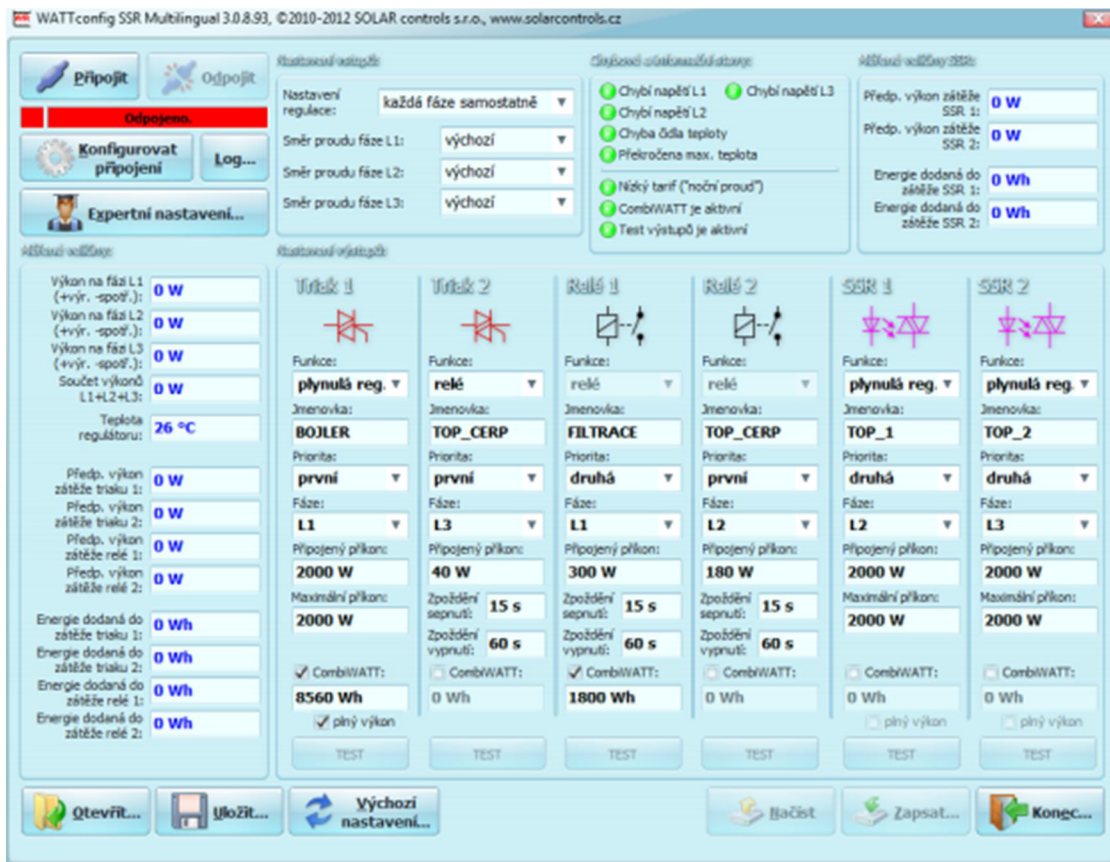


Příloha F

Typ (jednofázové)	SE2200	SE3000	SE3500	SE4000	SE5000	SE6000		Jednotky
Vstupní výkon (DC)	2950	4050	4700	5400	6750	8100		W
Maximální vstupní napětí	500	500	500	500	500	500		V
Maximální vstupní proud	8,5	11,5	13,5	15,5	19,5	23		I
Účinnost	97,6	97,6	97,5	97,5	97,4	97,4		%
Frekvence	50/60	50/60	50/60	50/60	50/60	50/60		Hz
Výstupní napětí	220/230	220/230	220/230	220/230	220/230	220/230		V
Maximální výstupní proud	12	16,5	19,5	22	27	27		I
Výstupní výkon (AC)	2200	3000	3500	4000	5000	6000		W
Typ (třífázové)	SE4K	SE5K	SE7K	SE8K	SE9K	SE10K	SE12,5	Jednotky
Vstupní výkon (DC)	5400	6750	9450	10800	12150	13500	16850	W
Maximální vstupní napětí	900	900	900	900	900	900	900	V
Maximální vstupní proud	7	8,5	12	13,5	15	16,5	21	I
Účinnost	97,3	97,3	97,3	97,5	97,5	97,6	97,7	%
Frekvence	50/60	50/60	50/60	50/60	50/60	50/60	50/60	Hz
Výstupní napětí	380/220	380/220	380/220	380/220	380/220	380/220	380/220	V
Maximální výstupní proud	6,5	8	11,5	13	14,5	16	20	I
Výstupní výkon (AC)	4000	5000	7000	8000	9000	10000	12500	W
Typ (třífázové)	SE15K	SE16K	SE17K	SE25K	SE27,6K	SE33,3K		Jednotky
Vstupní výkon (DC)	18750	20000	21250	33750	37250	45000		W
Maximální vstupní napětí	830	830	830	830	830	840		V
Maximální vstupní proud	22	23	23	37	40	40		I
Účinnost	97,6	97,7	97,7	98	98	97,8		%
Frekvence	50/60	50/60	50/60	50/60	50/60	50/60		Hz
Výstupní napětí	400/230	400/230	400/230	400/230	400/230	400/230		V
Maximální výstupní proud	23	25,5	26	38	40	40		I
Výstupní výkon (AC)	15000	16000	17000	25000	27500	33300		W



Příloha G



Příloha H

Photovoltaika	Kus	CZK	Projekt	Objednat	Total
10001 PV Modul 2.x, 4 Panels, 25 Wp	1 kus	1 500,00	400	400	600 000,00
10006 Arraykabel s integrovanou diodou, 0,9 m na kus	1 kus	228,00	492	440	100 320,00
10007 spinací clip na PV Panel	1 kus	13,20	1 804	1 760	23 232,00
10001 Koncovka na Arraylitze	1 kus	106,80	82	100	10 680,00
10042 Verlängerung 300 mm MC4	1 kus	300,00	40	40	12 000,00
10010 Spojovací konektor MC4	1 kus	132,00	123	90	11 880,00
10009 spojka MC4	1 kus	132,00	123	90	11 880,00
10013 spojovací konekt na spojce MC4	1 kus	46,80	52	55	2 574,00
10014 koncovka na konektor MC4	1 kus	46,80	52	55	2 574,00
10008 Blindpanel	1 kus	310,80	40	40	12 432,00
10012 Kabelový spoj černa 1x6mm2	1 kus	69,60	27	30	2 088,00
10033 Kabelový spoj červená 1x6mm2	1 kus	69,60	27	30	2 088,00
Mezisoučet Photovoltaika				<b>CZK</b>	<b>791 748,00</b>

Menice a Optimalizatory	Kus	CZK	Projekt	Objednat	Total
10043 PB 350W	1 Stk	2 016,00	38	40	80 640,00
10018 SE2200 1ph	1 Stk	26 179,20		0	0,00
10019 SE3000 1ph	1 Stk	29 836,80		0	0,00
10021 SE5000 3ph	1 Stk	47 059,20		0	0,00
10022 SE7000 3ph	1 Stk	51 638,40		0	0,00
10023 SE8000 3ph	1 Stk	57 369,60		0	0,00
10024 SE9000 3ph	1 Stk	59 932,80		0	0,00
10025 SE10000 3ph	1 Stk	61 833,60		1	61 833,60
10038 SE12500 3ph	1 Stk	64 137,60		0	0,00
10026 SE15000 3ph	1 Stk	65 145,60		0	0,00
10036 SE16000 3ph	1 Stk	65 779,20		0	0,00
10037 SE17000 3ph	1 Stk	66 672,00		0	0,00
Mezisoučet Menice a Optimalizatorů				<b>CZK</b>	<b>142 473,60</b>



Příloha I

0LET			10LET			20LET		
Měsíc	Využito	Prodáno	Měsíc	Využito	Prodáno	Měsíc	Využito	Prodáno
1	158,3108	0,0000	1	142,4797	0,0000	1	126,6486	0,0000
2	374,7624	0,0000	2	337,2862	0,0000	2	299,8099	0,0000
3	733,0477	0,0000	3	659,7429	0,0000	3	586,4382	0,0000
4	899,4336	0,0000	4	809,4902	0,0000	4	719,5469	0,0000
5	1358,2349	0,0000	5	1222,4114	0,0000	5	1086,5879	0,0000
6	952,6748	562,7365	6	952,6748	411,1954	6	952,6748	259,6543
7	663,2735	917,4309	7	663,2735	759,3605	7	663,2735	601,2900
8	773,5205	495,6189	8	773,5205	368,7050	8	773,5205	241,7910
9	924,0531	0,0000	9	831,6478	0,0000	9	739,2425	0,0000
10	494,0050	0,0000	10	444,6045	0,0000	10	395,2040	0,0000
11	192,7262	0,0000	11	173,4535	0,0000	11	154,1809	0,0000
12	86,2307	0,0000	12	77,6077	0,0000	12	68,9846	0,0000
Ušetřeno ce	7610,2731	kWh	Ušetřeno ce	7088,1927	kWh	Ušetřeno c	6566,1123	kWh
Ušetřeno ce	30836,2498		Ušetřeno ce	28660,6230		Ušetřeno c	26484,9961	

Příloha J

Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Sluneční hodiny	46	88	142	163	232	258	270	230	179	116	56	30
Intenzita slunečního ozáření	0,358	0,443	0,537	0,574	0,609	0,611	0,609	0,574	0,537	0,443	0,358	0,299
Výkon FV systému	158,3108	374,7624	733,0477	899,4336	1358,2349	1515,4113	1580,7044	1269,1394	924,0531	494,0050	192,7262	86,2307
Výkon FV systému po 10 letech	142,479696	337,286158	659,74294	809,49024	1222,41142	1363,870189	1422,634	1142,225493	831,647789	444,60448	173,453543	77,607655
Výkon FV systému po 20 letech	126,648618	299,809919	586,43817	719,54688	1086,58793	1212,329057	1264,5635	1015,31155	739,2424791	395,20398	154,180927	68,984583
Výkon FV systému po 30 letech	110,817541	262,333679	513,1334	629,60352	950,764437	1060,787925	1106,4931	888,397606	646,8371692	345,80349	134,908311	60,36151

Příloha K

