

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

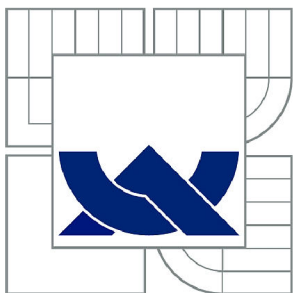
NÁVRH OPTIMALIZACE SPOTŘEBY ELEKTRICKÉ ENERGIE Z
FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

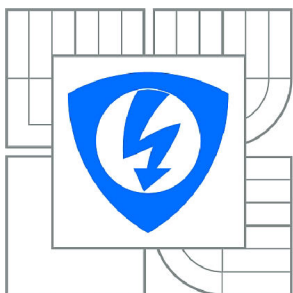
Bc. JAN MAREČEK

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

NÁVRH OPTIMALIZACE SPOTŘEBY ELEKTRICKÉ ENERGIE Z FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY

PROPOSAL FOR POWER CONSUMPTION OPTIMIZATION OF PHOTOVOLTAIC POWER PLANT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

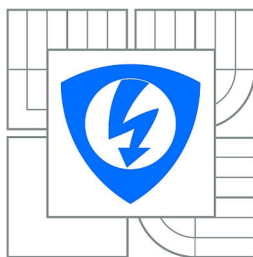
Bc. JAN MAREČEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. PETR BAXANT, Ph.D.

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Elektroenergetika

Student: Bc. Jan Mareček

ID: 136556

Ročník: 2

Akademický rok: 2014/2015

NÁZEV TÉMATU:

Návrh optimalizace spotřeby elektrické energie z fotovoltaické elektrárny

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Práce je zaměřena na vytvoření návrhu záložního napájení pomocí akumulátorů pro rodinný dům využívající zároveň elektřinu z fotovoltaické elektrárny a pracující paralelně se sítí.

- Typy záložních zdrojů, možnosti řízení spotřeby.
- Předpověď výroby a spotřeby elektrické energie.
- Porovnání současných technologií akumulátorů.
- Optimalizaci nabíjecího a vybíjecího procesu akumulátorů v systému s ohledem na životnost a investiční náklady.
- Ekonomické vyčíslení hodnoty akumulované elektřiny v závislosti na různých parametrech.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 9.2.2015

Termín odevzdání: 22.5.2015

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D.

Konzultanti diplomové práce:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá možnostmi optimalizace spotřeby elektrické energie z fotovoltaické elektrárny. V teoretické části jsou uvedeny základní principy a možnosti zapojení fotovoltaického systému. Následuje přehled záložních zdrojů a jednotlivých typů akumulátorů. Praktická část je zaměřena na předpověď výroby a spotřeby elektrické energie, možnosti řízení a optimalizace. Dále se zabývá životností akumulátorů a jejich vhodností pro fotovoltaické systémy. Poslední částí je ekonomické vyčíslení hodnoty akumulované elektřiny.

KLÍČOVÁ SLOVA

Fotovoltaický systém, fotovoltaická elektrárna, výroba a spotřeba elektrické energie, optimalizace, baterie, životnost baterie, ekonomické zhodnocení

ABSTRACT

This master's thesis is focused on opportunities of optimization of electric power consumption from photovoltaic power plant. In theoretical part are presented basic principles and possibilities of photovoltaic system connection. It continues with an overview of backup systems and types of batteries. Practical part is about prediction of production and consumption of electric power, possibilities of power management and optimization. Next chapter deals with battery life cycle and their suitability for photovoltaic system. The last part of this thesis is the quantification of the stored electric energy economic value.

KEYWORDS

Photovoltaic system, photovoltaic power plant, production and consumption of electric energy, optimization, battery, battery life, economic evaluation

MAREČEK, Jan *Návrh optimalizace spotřeby elektrické energie z fotovoltaické elektrárny*: diplomová práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky, 2015. 87 s. Vedoucí práce byl doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Návrh optimalizace spotřeby elektrické energie z fotovoltaické elektrárny“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Petru Baxantovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Brno

.....

podpis autora

OBSAH

Úvod	12
1 Seznámení	13
1.1 Historie	13
1.2 Množství energie dodávané sluncem	13
2 Fotovoltaika	14
2.1 Fotovoltaický jev	14
2.2 Solární článek	14
2.3 Účinnost a parametry panelů	15
2.4 Fotovoltaické systémy	16
2.4.1 On-grid (spotřebitelský systém)	16
2.4.2 On-grid (hybridní systém)	17
2.4.3 On-grid distribuce - spotřeba (distribuční systém)	17
2.4.4 OFF-grid akumulace (ostrovní systém)	19
2.5 Střídače	19
2.5.1 Hybridní střídač	20
2.6 Regulátor napětí	20
2.7 MPPT měnič	21
3 Záložní zdroje	22
3.1 Rozdělení	22
3.2 Rotační zdroje	22
3.3 Motorgenerátory	23
3.4 Statické UPS zdroje	23
3.4.1 Stejnoseměrné náhradní on-line zdroje (bez prodlevy)	23
3.4.2 Střídavé náhradní zdroje	24
4 Akumulátory	27
4.1 Základní rozdělení	27
4.2 Olověné akumulátory	28
4.2.1 Princip funkce	28
4.3 Nikl-kadmiová (Ni-Cd)	31
4.4 Baterie na bázi Lithia	32
4.5 Průtokové baterie	35
4.5.1 Vanadiová redoxová baterie (VRB)	35
4.6 Porovnání technologií akumulátorů	37

5	Předpověď výroby a spotřeby elektrické energie	39
5.1	Predikce výroby	39
5.1.1	Měření výroby FVE	39
5.2	Predikce slunečního záření	41
5.3	Analýza spotřeby	41
5.4	Predikce spotřeby	42
5.4.1	Odhad spotřeby bojleru	43
5.4.2	Spínání podle priorit spotřebičů	44
6	Optimalizace a možnosti řízení spotřeby	46
6.1	Optimalizace spotřeby	47
6.1.1	Osvětlovací soustava	47
6.2	Možnosti řízení spotřebičů	50
6.2.1	ENcontrol	51
6.2.2	Wattrouter	51
6.2.3	Elektroměry	54
6.2.4	Fotovoltaický ohřev vody	55
7	Optimalizace nabíjecího a vybíjecího procesu akumulátorů v systému s ohledem na životnost a investiční náklady	57
7.1	Využitelná kapacita akumulátorů	57
7.2	Výběr akumulátorů	58
7.2.1	Startovací akumulátory	58
7.2.2	Trakční akumulátory	59
7.2.3	VRLA akumulátory	59
7.2.4	Solární akumulátory	59
7.2.5	Stacionární akumulátory	59
7.2.6	Lithium železo fosfátové (LiFePo) akumulátory	60
7.3	Životnost vybraných akumulátorů s ohledem na hloubku vybíjení	60
7.3.1	Článek LiFeYPO ₄	60
7.3.2	OPzV	60
7.3.3	Li-ion včetně BMS	61
7.3.4	AGM	62
7.4	Řazení akumulátorů do větších celků	63
7.5	Dimenzování akumulátorů a volba měniče	63
8	Ekonomické vyčíslení hodnoty akumulované elektřiny v závislosti na různých parametrech	65
8.1	Výpočet celkově uložené energie za životnost článku	67

8.2	Ekonomická analýza	68
8.2.1	Zhodnocení úspory	69
8.2.2	Zhodnocení optimalizace	70
9	Závěr	71
	Literatura	73
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	78
	Seznam příloh	79
A	Tabulka predikce výroby elektrické energie z FVE	80
B	Tabulka predikce spotřeby	81
B.1	Letní období	81
B.2	Zimní období	82
C	Parametry akumulátorů	83
C.1	Článek LiFeYPO_4	83
C.2	Baterie Li - Ion včetně BMS	84
C.3	Baterie Hoppecky OPzV	85
C.4	Baterie Hoppecky AGM	86
D	Parametry měniče	87

SEZNAM OBRÁZKŮ

2.1	Princip FV článku, převzato z [36]	14
2.2	Účinnost FV článku, převzato z [39]	16
2.3	Vliv teploty FV článku na účinnost, převzato z [38]	17
2.4	On-Grid spotřebitelský systém, převzato z [35]	18
2.5	On-Grid hybridní systém, převzato z [35]	18
2.6	On-Grid distribuční systém, převzato z [35]	19
2.7	On-Grid distribuční systém, převzato z [35]	20
3.1	Stejnoseměrný náhradní zdroj, převzato z [9]	24
3.2	Střídavý náhradní zdroj v off-line zapojení, převzato z [9]	24
3.3	Střídavý náhradní zdroj v line-interactive zapojení, převzato z [9]	25
3.4	Střídavý náhradní zdroj v on-line zapojení s dvojitou konverzí, převzato z [9]	26
3.5	Střídavý náhradní zdroj v on-line zapojení s jednou konverzí, převzato z [9]	26
3.6	Střídavý náhradní zdroj v on-line zapojení s delta konverzí, převzato z [9]	26
4.1	Nabíjení a vybíjení olověného článku, převzato z [5]	29
4.2	Závislost kapacity olověné baterie na vybíjecím proudu, převzato z [5]	30
4.3	Závislost kapacity olověné baterie na teplotě, převzato z [5]	30
4.4	Závislost životnosti olověné baterie na hloubce vybíjení, převzato z [5]	31
4.5	Popis Nikl-kadmiové baterie, převzato z [37]	33
4.6	Chemické děje v Li-ion článku, převzato z [5]	33
4.7	Nabíjecí charakteristiky, převzato z [5]	34
4.8	Vybíjecí charakteristiky v závislosti na vybíjecím proudu spirálového článku, převzato z [5]	35
4.9	Princip průtokové baterie, převzato z [6]	36
4.10	Závislost účinnosti na životnosti, převzato z [40]	37
5.1	Grafické porovnání naměřených dat z FVE v průběhu dvou let	40
5.2	Porovnání naměřených dat vyrobené elektrické energie z FVE o výkonu 5 kWp s daty programu PVGIS	41
5.3	Časy spínání NT sazby D45d od distributora E.ON	44
6.1	Denní profil výroby solární elektrárny, převzato z [15]	46
6.2	Denní profil výroby solární elektrárny s akumulací energie, převzato z [15]	47

6.3	Jednofázové zapojení modelu WATTrouter CWx bez obvodu signálu nízkého tarifu (nelze použít program CombiWATT). Měřicí modul zapojen ihned za přívodem z elektroměrového rozvaděče, připojené spotřebiče využívají pouze skutečné přebytky z FVE. Je zapojen pouze 1 ohmický spotřebič, např. bojler. Toto je nejjednodušší zapojení. Zapojení ostatních modelů je analogické, převzato z [24]	53
6.4	Třífázové zapojení modelu WATTrouter CWx s obvodem signálu nízkého tarifu pro program CombiWATT. Měřicí modul zapojen ihned za přívodem z elektroměrového rozvaděče, připojené spotřebiče využívají pouze skutečné přebytky z FVE. Jsou zapojeny všechny 4 spotřebiče, převzato z [24]	53
6.5	Příklad nastavení programu WATTconfig při zapojení bojleru, převzato z [24]	54
6.6	Schéma možného zapojení fotovoltaického ohřevu, převzato z [41]	55
6.7	Maximální přírůstky teploty v jednotlivých měsících roku, převzato z [42]	56
7.1	Cyklická životnost při různých hloubkách vybíjení solární baterie Hoppecke OPzV 12 V bloc solar. power 180, převzato z [29]	61
7.2	Cyklická životnost při různých hloubkách vybíjení pro Li-ion baterie, převzato z [31]	62
7.3	Počet cyklů při různých hloubkách vybíjení pro olověný ventil řízený AGM akumulátor, převzato z [29]	63

SEZNAM TABULEK

4.1	Porovnání vybraných sekundárních článků, převzato z [5]	38
5.1	Tabulka naměřených hodnoty elektrické energie v průběhu dvou let	40
5.2	Naměřená a vypočtená celková průměrná denní spotřeba rodinného domu	43
5.3	Tabulka odhadu spotřeby teplé vody a k tomu spotřebované elektrické energie pro různá období	43
5.4	Tabulka odhadu spotřeby elektrické energie RD pro různá období	45
6.1	Složení světelných zdrojů v domě	48
6.2	Světelný tok odpovídající příkonu klasické žárovky, převzato z [19]	48
6.3	Optimalizace světelných zdrojů v domě	49
6.4	Parametry vybraných světelných zdrojů, převzaty z [20]	50
8.1	Mezní hranice energetické účinnosti nabíjecího, vybíjecího procesu různých akumulátorů, převzato z [28]	65
8.2	Porovnání ceny za 1 kWh u různých typů akumulátorů při 50% DoD, parametry převzaty z [30], [29]	65
8.3	Porovnání ceny za 1 kWh u různých typů akumulátorů při 80% DoD, parametry převzaty z [30], [29]	66
8.4	Porovnání ceny za 1 kWh u článku LiFePO_4 a akumulátoru LiFeYPO_4 při 80% DoD, parametry převzaty z [30]	67
8.5	Porovnání celkově uložené energie do akumulátorů při různých DoD, parametry převzaty z [30], [29]	68
8.6	Porovnání procentní spotřeby v domě před a po optimalizaci pomocí akumulátorů	70

ÚVOD

Poslední dobou je stále častěji řešeno téma zásob fosilních paliv a je známo několik možných scénářů, některé odhadují zásoby ropy a zemního plynu nejvýše do poloviny tohoto století a jiné naopak tvrdí, že bylo spotřebováno několik procent celkových světových zásob fosilních paliv. Nikdo nemůže říci, jak přesně se bude situace v průběhu let vyvíjet. Jedno je však jisté, a to že fosilní paliva jednou dojdou.

V posledních letech dochází k růstu spotřeby elektrické energie a to nejvíce v průmyslových a ekonomicky vyspělých zemích, především díky zvyšující se životní úrovni a počtu lidí. Tento fakt lze sledovat nejvíce v asijských zemích, kde roste spotřeba energií díky rychle se rozvíjející ekonomice.

Největší podíl vyrobené elektrické energie v České republice tvoří tepelné elektrárny a to především ty, které pro svůj provoz používají fosilní paliva (uhlí, zemní plyn). To ovšem přispívá ke zvyšování obsahu škodlivin v ovzduší. Jadernou energetiku můžeme pokládat téměř za čistý zdroj, jelikož do ovzduší nevypouští škodlivé plyny, které způsobují znečištění ovzduší. Problém stále zůstává s uložením radioaktivního vyhořelého paliva. Nejlepší řešení se jeví ukládat vyhořelé palivo do hlubinných uložišť, zde však projekty naráží na odpor občanů v okolí plánovaných uložišť.

Jako další zdroje budoucnosti se jeví obnovitelné zdroje, protože neprodukují škodlivé plyny, jejich výkony se však nedají porovnávat s výkony zdrojů na fosilní či jaderná paliva. Jsou značně malé, technologicky náročné a poměrně nákladné. Z tohoto důvodu by bylo dobré vyřešit problém s akumulací elektrické energie. Jako možný krok k menší soběstačnosti a odklon od fosilních paliv je větší dostupnost elektromobilů a vývoj bateriových zásobníků, jak menších výkonů pro domácnosti, tak větších výkonů pro využití v energetice.

Tato práce se zabývá návrhem optimalizace spotřeby elektrické energie z FVE. Je zde popsána historie vzniku, základní principy a možnosti připojení fotovoltaického systému do sítě. Dále popisuje základní rozdělení a druhy zapojení záložních zdrojů. Nosnou linii tvoří sekundární články, u kterých je uveden princip funkce, složení a struktura jednotlivých typů. Následující kapitola řeší predikci výroby a spotřeby elektrické energie z fotovoltaické elektrárny. Je zde uvedena analýza vycházející z měření spotřeby rodinného domu, její možnosti optimalizace a řízení. V sedmé kapitole je uvedeno porovnání akumulátorů podle jejich životností a vhodnosti použití pro fotovoltaické systémy. Následuje dimenzování akumulátorů a volba měniče pro analyzovaný dům. Poslední kapitola řeší ekonomickou stránku akumulované elektřiny v závislosti na různých parametrech.

1 SEZNÁMENÍ

1.1 Historie

Náhodným objevem roku 1839 tehdy 19-letého francouzského fyzika Alexandra Edmonda Becquerela to vše začalo. Při experimentech s kovovými elektrodami ponořenými v elektrolytu zjistil, že při jejich osvětlení začne procházet malý proud. První fotovoltaický článek jen v tuhé fázi, bez elektrolytu s použitím selenu vytvořili Adams a Day v roce 1877. Roku 1883 učinil významný krok Fritts, jehož články měly plochu 30 cm^2 s účinností kolem 1% a hlavně je bylo možné vyrábět hromadně. Ke komerční výrobě ale nakonec nedošlo z důvodu příliš nízké účinnosti. Významným krokem k dnešní podobě fotovoltaických článků byla příprava monokrystalů křemíku, kterou vyvinul Jan Czochralski. V roce 1946 v USA patentoval křemíkový fotovoltaický článek Russell Ohl. Větší uplatnění fotovoltaických článků dochází až v sedmdesátých letech, kdy jejich cena klesla, přesto se však nejčastěji používaly na napájení světel a bezpečnostních zařízení v místech bez elektrické sítě [1].

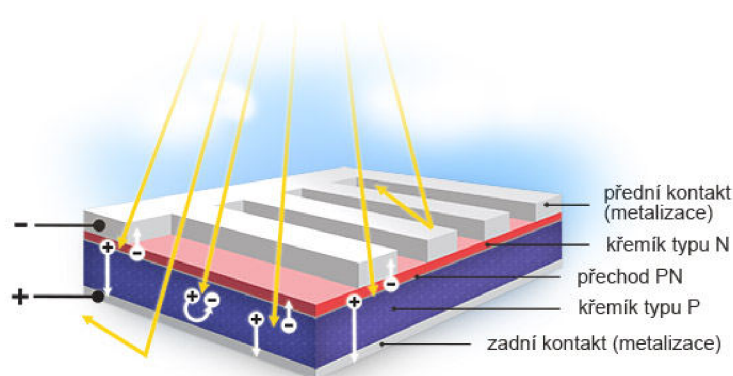
1.2 Množství energie dodávané sluncem

Roční energie ozáření se vztahují na osluněnou plochu a normují se na čtvereční metr. Výkon sluneční energie dopadající svisle na atmosferický obal Země činí průměrně 1367 W/m^2 . Tato střední hodnota se nazývá solární konstanta. Průchodem zemskou atmosférou se sluneční výkon zmenšuje pohlcením nebo rozptylem. Za jasné oblohy dosahuje intenzita záření na povrchu Země kolem poledne špičkové hodnoty 1000 W/m^2 . Tato hodnota se používá jako referenční hodnota k určení jmenovitého výkonu solárních modulů za standardních testovacích podmínek. Pro hrubou orientaci při návrhu na pokrytí požadované spotřeby z 1 kW instalovaného výkonu lze za rok získat 800 až 1100 kWh elektrické energie. Například v Česku dosahuje hodnot 950 až 1340 kWh/m². Sluneční záření se skládá z difuzního záření a přímého záření. Složení a intenzita slunečního záření jsou dány počasím, roční dobou, denní dobou a zeměpisnou šířkou [3].

2 FOTOVOLTAIKA

2.1 Fotovoltaický jev

Dopadem fotonu slunečního záření na solární článek se uvolňují elektrony z jejich vazeb v atomové mřížce a fotony se přitom absorbují. Uvolněné záporně nabité elektrony se stávají volně pohyblivými a na jejich původním místě ponechávají kladné náboje, nazývány také díry. Vnitřní elektrické pole článku způsobuje přitahování obou elektrických nábojů elektronů a děr do opačných směrů. Náboje putují odlišnými cestami, záporné k přední straně a kladné k zadní straně článku. Díky tomuto jevu vznikají opačné polarizace přední a zadní strany článku a vzniká mezi nimi rozdílný potenciál, který měříme jako elektrické napětí. Toto napětí naprázdno u krystalických článků dosahuje obvykle od 0,6 do 0,7 V. Uzavřením obvodu protéká přes spotřebič elektrický proud. Popsaný jev ilustruje obrázek 2.1.



Obr. 2.1: Princip FV článku, převzato z [36]

2.2 Solární článek

Solární článek se skládá ze dvou rozdílně dotovaných křemíkových vrstev. Vrchní strana, na kterou dopadá sluneční záření je záporně dotována fosforem, pod ní umístěná vrstva, která je kladně dotována bórem. Kovové elektrody umístěné na vrchní a spodní straně článku slouží jako kontakty pro odběr proudu. Spodní strana je většinou v celoplošném provedení, kdežto vrchní strana článku je tvořena tenkou mřížkou z důvodu co nejlepší propustnosti světla viz. obrázek 2.1. Elektrody se

většinou provádí síťotiskovou metodou. Vrchní strana článku je tvořena tak, aby odrážela co nejméně dopadajícího slunečního záření. Z tohoto důvodu je vrchní strana článku pokryta antireflexní vrstvou a tvoří typické barvy panelů, jako je modrá u polykrystalických a černá u monokrystalických panelů [3].

2.3 Účinnost a parametry panelů

Účinnost FV článku určuje maximální elektrický výkon, který můžeme vyrobit z určité plochy modulu. Protože dochází ke kolísání intenzity slunečního záření v závislosti na počasí, byla stanovena referenční hodnota ozáření pro určení účinnosti na $1000\text{W}/\text{m}^2$. Výkon článků závisí také na slunečním spektru a teplotě, proto jsou definované také standardní zkušební podmínky STC (Standard Test Conditions). Při těchto podmínkách se určují elektrické charakteristiky článku.

Podmínky:

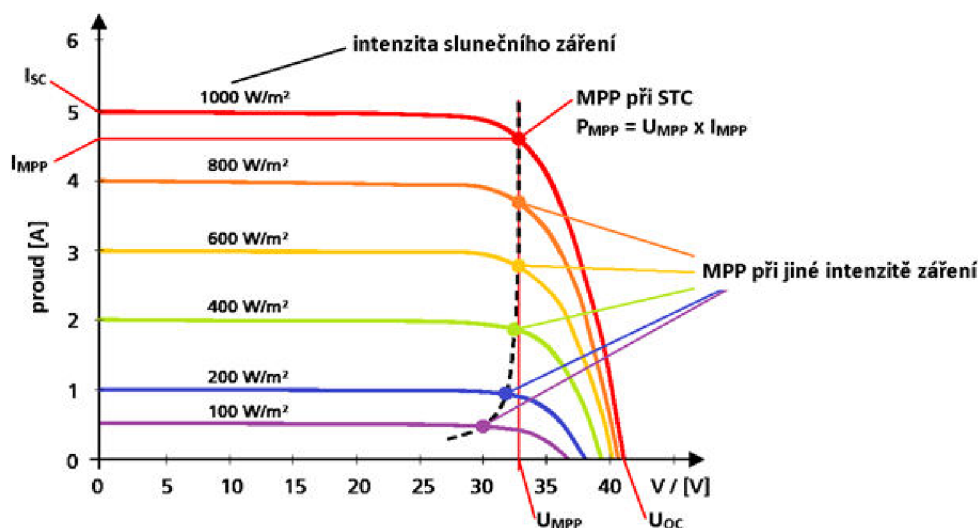
- intenzita ozáření $1000\text{W}/\text{m}^2$,
- teplota článku 25°C ,
- při slunečním spektru Air Mass ($AM = 1,5$).

Vzduchovou hmotou (AM) se myslí atmosférická hmota, kterou musí sluneční světlo projít než dopadne na fotovoltaický článek. Stojí-li Slunce kolmo k zemskému povrchu, je tato dráha s nejkratší možnou ztrátou a $AM = 1$. Je-li slunce nízko nad horizontem prodlužuje se dráha o faktor AM, intenzita záření je tedy menší a mění se spektrální (barevné) složení slunečního světla. Mimo atmosféru je $AM = 0$. Používaná hodnota $AM = 1,5$ je střední hodnota.

Účinnost modulu je vždy o něco menší z důvodu odrazů od předního skla chránícího článku od vnějších vlivů. Dále pak také z důvodu, že není možné osadit úplně celou plochu modulu články. Na štítku panelu jsou uvedeny jednotlivé parametry, jako je: Maximální výkon P_{MAX} nebo P_{MPP} tvořený napětím U_{MPP} a proudem I_{MPP} , napětím naprázdno U_{0C} a proudem nakrátko I_{SC} viz. obrázek 2.2. [3] Napětí naprázdno představuje maximální napětí v případě, že ke článku není připojena žádná zátěž (spotřebič). Proud nakrátko zase představuje maximální proud, který článek může článek dodávat při dané intenzitě slunečního záření.

Dalšími charakteristickými hodnotami FV článku je činitel plnění 2.1 a účinnost 2.2. Činitel plnění (Fill Factor) určuje maximální možnou plochu pro proudově napěťovou charakteristiku.

$$FF = \frac{U_{MPP} \cdot I_{MPP}}{U_{0C} \cdot I_{SC}} \quad (2.1)$$



Obr. 2.2: Účinnost FV článku, převzato z [39]

Účinnost FV článku můžeme napsat jako podíl maximálního výkonu článku v bodě MPP a výkonu dopadajícího slunečního záření P_{in} .

$$\eta = \frac{U_{MPP} \cdot I_{MPP}}{P_{in}} \quad (2.2)$$

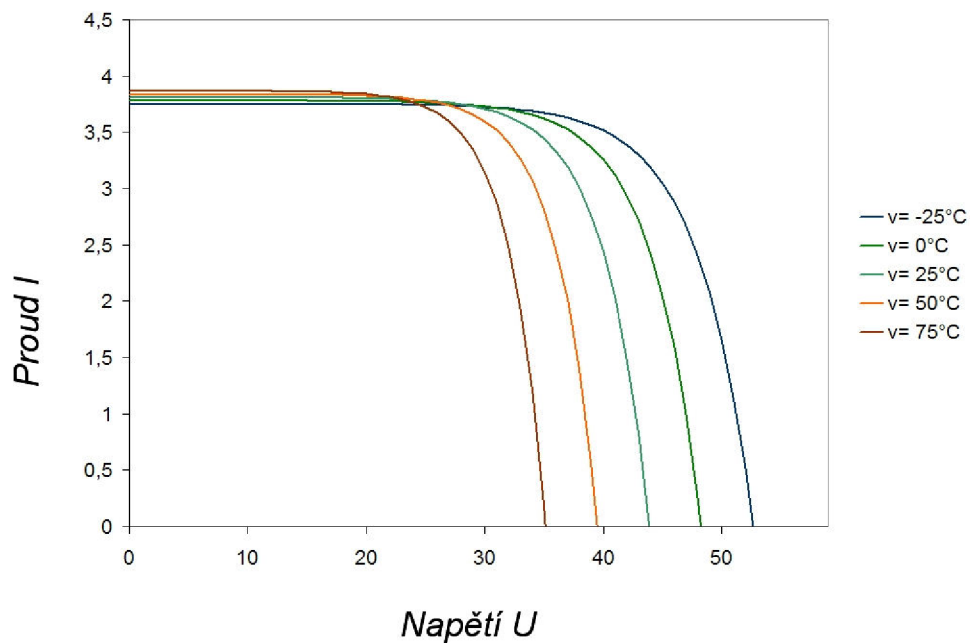
Velký vliv na účinnost FV článků má teplota. Vlivem zvýšené teploty se zvýší difúzní hodnota minoritních nosičů náboje, což vede ke zvýšení fotoproudu. Tento nárůst je však zanedbatelný. Větší význam má pokles napětí naprázdno. K tomu dochází při déle trvajícím osvětlení nebo zhoršených podmínkách chlazení (bezvětrí), kdy teplota vzduchu dosahuje 40°C a povrchová teplota dosahuje až 80°C. Při těchto vysokých teplotách dochází ke snížení zatěžovací charakteristiky k nižšímu napětí a to způsobí snížení dodávaného výkonu viz. obrázek 2.3 [6].

2.4 Fotovoltaické systémy

Fotovoltaické systémy se dělí na následující systémy. Jako základní je však rozdělení On-grid (připojeno k síti) a Off-grid (ostrovní režim).

2.4.1 On-grid (spotřebitelský systém)

Tento druh systému využívají vlastníci tak, že vyrobenou elektřinu spotřebovávají a vyprodukované přebytky, které už nejsou schopni spotřebovat v domácnosti dodávají do veřejné distribuční sítě. Čímž získávají podporu nastavenou energetickým



Obr. 2.3: Vliv teploty FV článku na účinnost , převzato z [38]

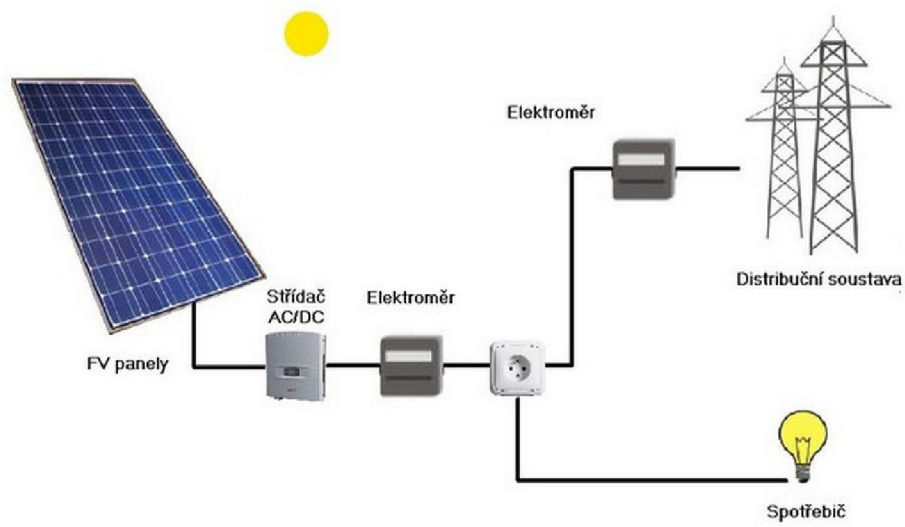
regulačním úřadem za každou dodanou kWh elektrické energie do elektrické distribuční sítě, která je vyplácena distributorem elektrické energie, se kterým je uzavřena smlouva na odkup těchto přebytků. Zapojení můžeme vidět na obrázku 2.4.

2.4.2 On-grid (hybridní systém)

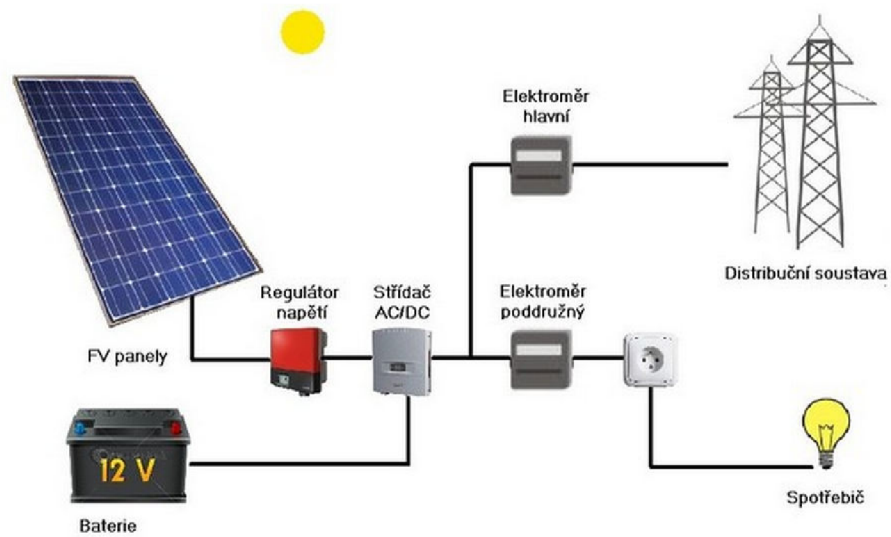
Hybridní fotovoltaický systém je složen tak, aby bylo možné spotřebovat co největší množství vyrobené elektrické energie z FVE v domácnosti. Viz. obrázek 2.5. Systém funguje následně. Primárně se nabíjejí baterie, které jsou základní součástí systému. Po nabití baterií, které jsou hlídány regulátorem je elektřina přeměrována do hlavních spotřebičů domácnosti (vytápění, ohřev vody). V případě, že je systém připojen do distribuční sítě, baterie máme nabité, v domácnosti nedochází ke spotřebě, ale k dodávání přebytků do sítě. Jestliže má provozovatel tarif zelený bonus, inkasuje peníze za veškerou vyrobenou elektřinu z FVE formou zelený bonus a rovněž za přebytky dodávané do sítě v podobě výkupní ceny.

2.4.3 On-grid distribuce - spotřeba (distribuční systém)

Většina vlastníků tohoto systému jsou distributoři elektrické energie, kteří do sítě dodávají obvykle vyšší výkony, jako jsou například elektrárny kolem 100 kWp. Systém je tedy zapojen na přímou dodávku elektrické energie do distribuční sítě viz.

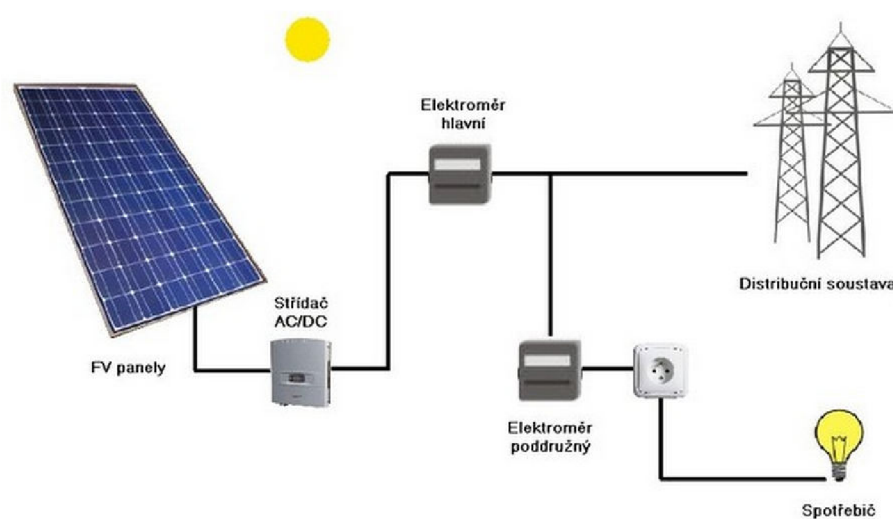


Obr. 2.4: On-Grid spotřebitelský systém, převzato z [35]



Obr. 2.5: On-Grid hybridní systém, převzato z [35]

obrázek 2.6. Distributoři tím dostávají bonus za každou dodanou kWh elektrické energie do DS.



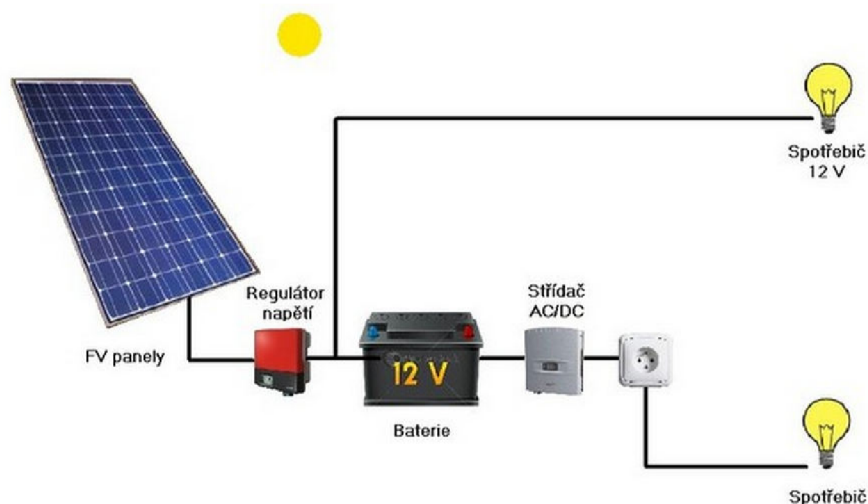
Obr. 2.6: On-Grid distribuční systém, převzato z [35]

2.4.4 OFF-grid akumulace (ostrovní systém)

Ostrovní systémy jsou nejstarší aplikací fotovoltaiky. Jedná se o systém, který není připojen k okolní distribuční síti, jak můžeme vidět na obrázku 2.7. Jako uložení vyrobené elektrické energie se využívá především akumulátorových baterií. Tyto systémy se začaly používat především jako energetické zdroje vesmírných satelitů a dalších zařízení, kde není možnost připojení k elektrické síti například výpravy do končin, či odlehlé obydli. Často se také využívají pro čerpání vody. Jedinou nevýhodou tohoto systému jsou především baterie, které jsou i v dnešní době poměrně drahé a jejich životnost dosahuje od dvou do deseti let podle četnosti využití a správnosti zacházení. Další nevýhodou u některých typů je vznik plynů vlivem odpařování a z tohoto důvodu je nutné baterie umístit do dobře větraných prostor s relativně stálou teplotou, protože i ta ovlivňuje životnost baterií [4].

2.5 Střídače

Slouží k přeměně stejnosměrného napětí vyrobeného FV panely na střídavé napětí s maximální možnou účinností. Moderní měniče dokáží vyhodnotit aktuální stav výkonu sledováním maximálního bodu MPP na výkonové křivce viz. obrázek 2.2 a změnou zátěže ho dokáží změnit pro dosažení co nejvyšší účinnosti. Účinnost měničů se pohybuje okolo 97 %. Vyrábějí se jako jednofázové, třífázové a hybridní.



Obr. 2.7: On-Grid distribuční systém, převzato z [35]

2.5.1 Hybridní střídač

Pokud vyrobenou elektrickou energii nelze spotřebovat okamžitě je vhodné použít hybridní střídač, který dokáže uskladnit tuto energii pomocí akumulátorů na požadovanou dobu. Hlavní výhodou je zvýšení vlastní spotřeby daného objektu. Kromě toho se stane objekt soběstačný v případě výpadku dodávky elektrické energie. Vzhledem k vybavení i komunikačnými kanály může mít provozovatel neustále přehled o činnosti FV systému. Moderní střídače dokáží zajišťovat přesné řízení vybraných spotřebičů, a tím zvyšují optimalizaci spotřeby elektrické energie v domě [10].

2.6 Regulátor napětí

Solární regulátor je jednoduše řečeno stabilizátor napětí a automatická nabíječka akumulátorů v jednom balení. Princip je takový, že snižuje napětí ze solárních panelů na takové napětí, které je optimální pro dobíjení akumulátorů. Jestliže jsou akumulátory plně nabité, postará se o odpojení solárních panelů, aby nedocházelo k jejich přebíjení a nesnižovala se jejich životnost. Dále kontroluje aktuální stav a udržuje akumulátory v optimálně nabitém stavu. A pokud napětí na panelech poklesne pod hodnotu, která je únosná pro nabíjení akumulátorů, tak opět odpojí akumulátory od solárních panelů.

Moderní regulátory jsou vybaveny mnoha dalšími funkcemi a mají možnost nastavení různých parametrů pro maximální optimalizaci nabíjení podle použitého

akumulátoru. Dovedou automaticky spustit v době přebytku elektrické energie připojený spotřebič s velkým příkonem, zobrazují hodnoty dodané elektrické energie.

2.7 MPPT měnič

Měnič bodu maximálního výkonu má vestavěný vysokofrekvenční DC - DC měnič, kterým dokáže změnit vstupní stejnosměrné napětí na střídavé vysokofrekvenční napětí, toto napětí transformuje a opět změní na stejnosměrné napětí, ale s jinou velikostí než vstupní, tím se změní i hodnota proudu. Zjednodušeně se dá říci, že se jedná o speciální měnič pro stejnosměrné napětí a proud [11].

3 ZÁLOŽNÍ ZDROJE

Záložní zdroje se při přerušení dodávky elektrické energie ze zdroje do zátěže zprvu používaly pro zabezpečení bezporuchového odstavení výrobního zařízení, zajištění nouzového osvětlení nebo jako ochrana chodu důležitých zařízení. S rozvojem technologií řídicích systémů, výpočetní techniky se rozšiřuje také okruh použití náhradních zdrojů a tím rostou také nároky na zabezpečení kvality napětí pro zařízení obsahující citlivou elektroniku, jako jsou počítače, telekomunikační zařízení, řídicí systémy, bezpečnostní systémy. Přerušení i pokles napájecího napětí může vést k ekonomickým ztrátám i ztrátám na lidských životech či jejich ohrožení. Jejich hlavní funkce tedy spočívá v zabezpečení napájení elektrickou energií v případě výpadku napájecí sítě [8].

3.1 Rozdělení

Podle druhu provozního napětí:

- stejnosměrné,
- střídavé,
- kombinované.

Podle druhu a způsobu přeměny elektrické energie:

- rotační zdroje (motorgenerátory),
- statické zdroje (UPS - Uninterruptible Power Supply).

3.2 Rotační zdroje

Přeměňují primární energii (palivo) na elektrickou energii pomocí rotačního soustrojí.

Toto soustrojí může obsahovat:

- Spalovací motor obsahující startér včetně bateriového napájení a dobíjení.
- Elektrický generátor (alternátor), nejčastěji čtyřpólový, bezkartáčový, samobudící a samoregulující.
- Řídicí obvody.
- Náhradní zdroje k napájení řídicích obvodů.

Základní vlastnosti:

- hlučnost chodu,
- rychlost najetí,
- zásobníky paliva,
- možnost paralelního řazení.

3.3 Motorgenerátory

Motorgenerátor je soustrojí, což znamená že jsou mechanicky spojené dva stroje. Zde se jedná o spojení motoru a generátoru. Tyto rotační zdroje se využívají tam, kde není síťové napájení nebo pokud je potřeba po delší dobu nahradit výpadky elektrické energie. Princip činnosti spočívá v tom, že spalovací motor pohání alternátor a ten vyrábí elektrickou energii. Motorgenerátory mohou být vybaveny přídatnou nádrží s automatickým přečerpáváním paliva, kterým se prodlužuje doba (nad 10 hodin) po kterou může tvořit záložní zdroj. Jako palivo může být použita nafta, benzín, zemní plyn nebo bioplyn podle typu spalovacího motoru. Po startu motoru se pomocí zpětných vazeb stabilizuje úroveň a frekvence napětí vyráběného pomocí alternátoru. Jak je napětí alternátoru v daných mezích tolerance (přibližně 10 sekund) motorgenerátor začne dodávat energii do připojených rozvodů. Motor se převážně zapíná automaticky s možností regulace prodlevy startu, aby nastartoval motor i při velmi krátkodobých výpadcích. Generátorová soustrojí jsou dostupná v řadě jmenovitých výkonů, od několika desítek kW až po několik MW [8].

3.4 Statické UPS zdroje

Statické zdroje nepřerušitelného napájení UPS pracují na principu uchování elektrické energie v bateriích a uchování energie a její přeměny ve střídači na elektrickou energii s parametry napájecí sítě [8].

3.4.1 Stejnoseměrné náhradní on-line zdroje (bez prodlevy)

Slouží k zálohování stejnosměrných systémů. Při přerušení dodávky elektrické energie slouží k odstavení výrobního zařízení nebo zajištění nouzového osvětlení. Tyto zdroje fungují jako on-line tzn. umožňují okamžitý přechod z nominálního do záložního stavu a doba zálohování bývá obvykle desítky minut až několik hodin [9].

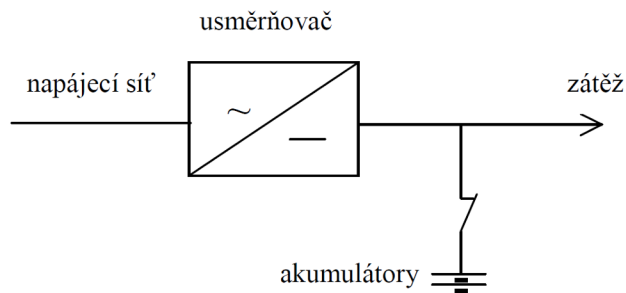
Stejnoseměrné zdroje můžou pracovat jako:

- 12 V (radiové sítě a zabezpečovací technika),
- 24 V (průmyslová automatizace nebo nouzové osvětlení),
- 48 V (telekomunikace),
- 110 V, 220V (energetika).

Nevýhody tohoto systému jsou:

- potřebuje spotřebiče a přístroje na ss. napětí,
- vyžaduje dvoje rozvody,
- pro zálohu je využíván stejnosměrný motor, který je méně spolehlivý a náročnější na údržbu,

- závislé na jednom napájení, komplikující situaci při poruše.

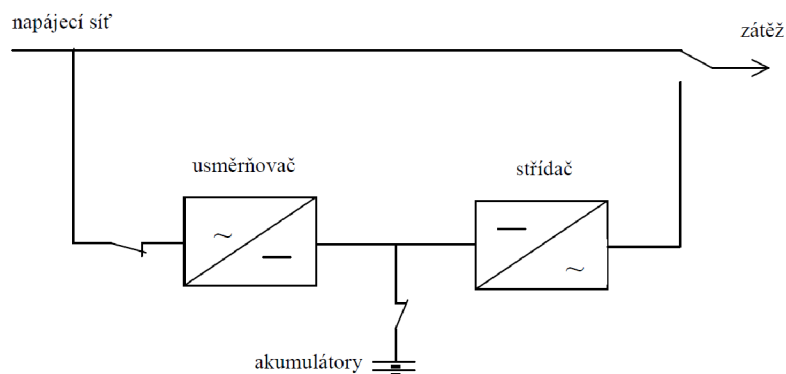


Obr. 3.1: Stejnoseměrný náhradní zdroj, převzato z [9]

3.4.2 Střídavé náhradní zdroje

Náhradní zdroje v zapojení off-line (s prodlevou)

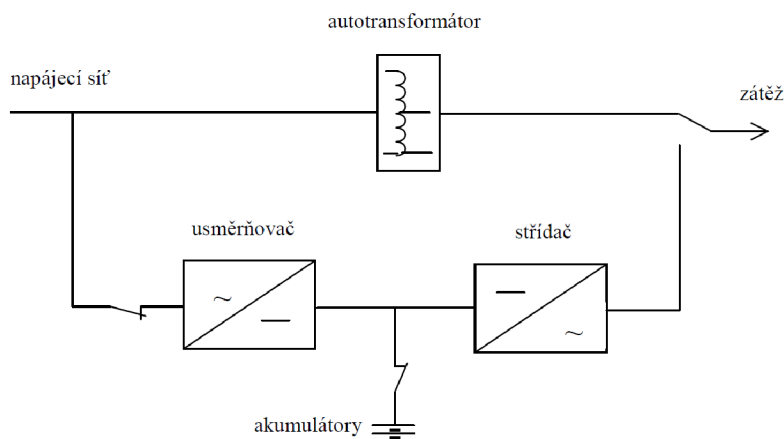
Náhradní zdroj tvoří usměrňovač, akumulátorové baterie a střídač a za normálních podmínek je napájen ze sítě viz. obrázek 3.2. Při výpadku nebo poklesu pod dovolenou mez (při 230 V +10 % a -15 %) dochází k přepnutí na záložní napájení z baterií přes střídač. Doba prodlevy je přibližně 4 - 8 ms. Používají se pro zařízení, kterým nevdí výpadky napětí v rozmezí jednotek ms (počítače, osvětlení). Nevýhodou je neregulovatelné výstupní napětí a v případě kolísání napětí se vyčerpává kapacita baterií, která následně může chybět. Doba zálohování je od 5 do několika desítek minut [9].



Obr. 3.2: Střídavý náhradní zdroj v off-line zapojení, převzato z [9]

Náhradní zdroje v zapojení line-interactive (s prodlevou)

Při bezporuchovém stavu je zařízení napájeno pomocí regulačního autotransformátoru přímo ze sítě a současně je dobíjena baterie. Výstupní napětí lze řídit pomocí autotransformátoru, to umožní napájení ze sítě i při větších poklesech napájecího napětí bez toho aniž by systém byl napájen z baterií. Tím se šetří jejich kapacita na stavy nouze. Doba zálohování je 10 min, záleží však na použité velikosti baterií (několik desítek minut) [9].



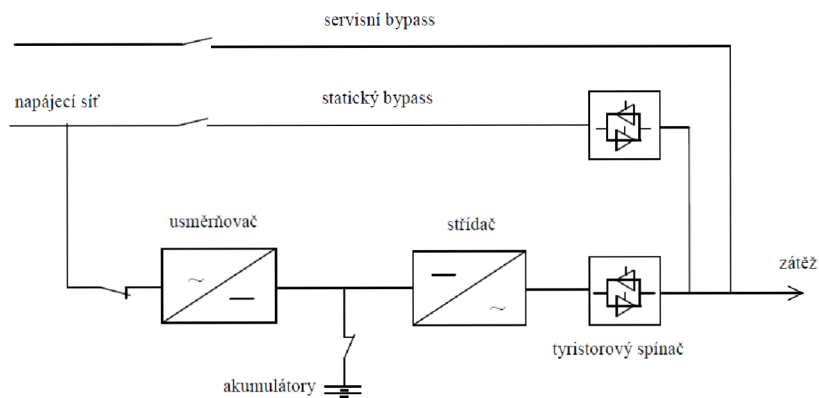
Obr. 3.3: Střídavý náhradní zdroj v line-interactive zapojení, převzato z [9]

Náhradní zdroje v zapojení on-line (bez prodlevy)

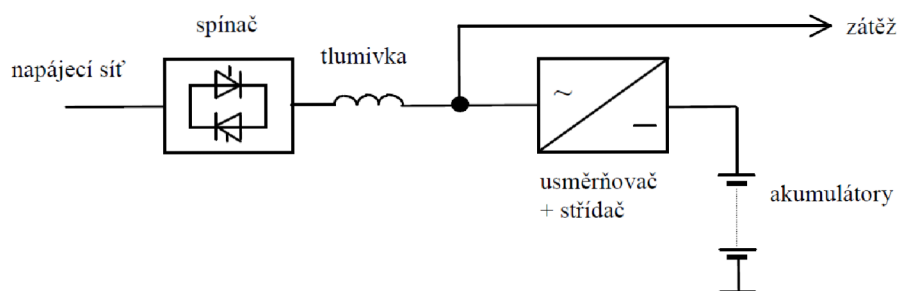
Za normálního stavu je zařízení napájeno přes usměrňovač a střídač přímo ze sítě a současně je dobíjena baterie. Při výpadku napětí je zátěž napájena z baterie okamžitě bez prodlevy. Statický bypass umožňuje pomocí tyristorového spínače napájení při opravě nebo údržbě zdroje. Výhodou je úplné oddělení zátěže od napájecí sítě a kompletní ochrana před poruchami napájecí sítě. Usměrňovač zde musí být dimenzovaný nejen pro nabíjení baterie, ale i na výkon zátěže.

Zapojení s dvojitou konverzí pracuje s dvojitou přeměnou elektrické energie. Usměrňovač nejprve přemění střídavé napětí na stejnosměrné a poté střídač zpět na střídavé.

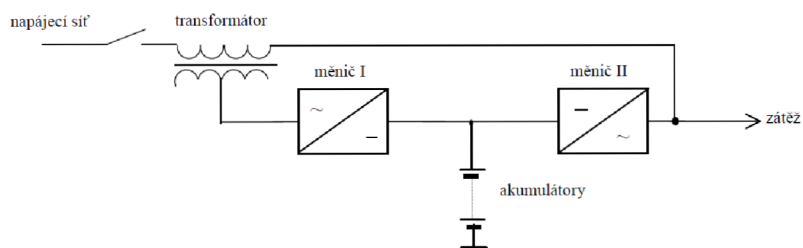
U zapojení s jednou konverzí (obrázek 3.5) a s delta konverzí (obrázek 3.6) jsou výhodami oproti zapojení s dvojitou konverzí (obrázek 3.4) menší ztráty. Mají větší celkovou účinnost a omezují zkreslení vstupního napájecího napětí [9].



Obr. 3.4: Střídavý náhradní zdroj v on-line zapojení s dvojí konverzí, převzato z [9]



Obr. 3.5: Střídavý náhradní zdroj v on-line zapojení s jednou konverzí, převzato z [9]



Obr. 3.6: Střídavý náhradní zdroj v on-line zapojení s delta konverzí, převzato z [9]

4 AKUMULÁTORY

Cílem této kapitoly je seznámit se se základními typy sekundárních článků, jejich designu, složení a důležitých vlastností.

Jedná se o sekundární články, které lze opakovaně dobíjet ve stovkách až tisících cyklů. Probíhající chemické reakce jsou u těchto článků tedy vratné s vysokou účinností přeměny. Z tohoto důvodu je lze používat dlouhou dobu s nutnými odstavkami pro dobíjení. V současnosti se akumulátory vyrábějí v mnoha velikostech pro široké možnosti použití. Výkony se pohybují od W (baterie notebooků) do kW (startovací akumulátory pro vozidla nebo ponorky). Jejich nevýhodou je ovšem cena, která bývá mnohem vyšší, než výkonově stejné primární zdroje.

Základními ukazateli každé technologie pro uchování energie jsou:

- hustota energie [Wh/kg],
- měrný výkon [W/kg],
- účinnost [%],
- samovybíjení (ztráty),
- životnost (počet cyklů).

4.1 Základní rozdělení

Běžně komerčně dostupné sekundární baterie lze rozdělit podle použitého elektrochemického procesu do následujících skupin [5].

Olověné akumulátory:

- Startovací,
- Trakční,
- Staniční,
- VRLA (ventilem řízené),
- Spirálové (AGM),
- Gelové.

Akumulátory založené na bázi:

- Ni-Cd, Ni-Fe nebo Ni-Zn,
- NiMH,
- Li-ion a Li-pol,
- MnO₂,
- Zn-vzduch,
- Ag-Zn,
- Br₂-Zn,
- Ni-H₂,

- Na-S,
- Na-metalchlorid, apod.

4.2 Olověné akumulátory

Tyto akumulátory používané ve fotovoltaických systémech se od startovacích akumulátorů liší tím, že jsou optimalizovány na hluboké vybíjení (deep cycle) a mají nízké samovybíjení. Olověné akumulátory se používají již velmi dlouho a tato technologie je dokonale zvládnutá a patrně tedy nelze očekávat nějaké převratné vylepšení. V současné době představují asi 60 % všech prodaných baterií na světě [2].

Proti ostatním elektrochemickým zdrojům má olověný akumulátor několik předností. Mezi ně patří nízká cena a dostupnost olova, dobrá spolehlivost, vysoké jmenovité napětí (2 V) a elektrochemická účinnost (několik set až tisíc cyklů nabití - vybití). Díky těmto vlastnostem a využití v automobilovém průmyslu je v současné době nejpoužívanější sekundární zdroj. Mezi nevýhody však patří velká hmotnost olova a nižší měrná energie.

4.2.1 Princip funkce

Ponořením dvou stejných olověných destiček do zředěné kyseliny sírové, začnou probíhat tyto děje:

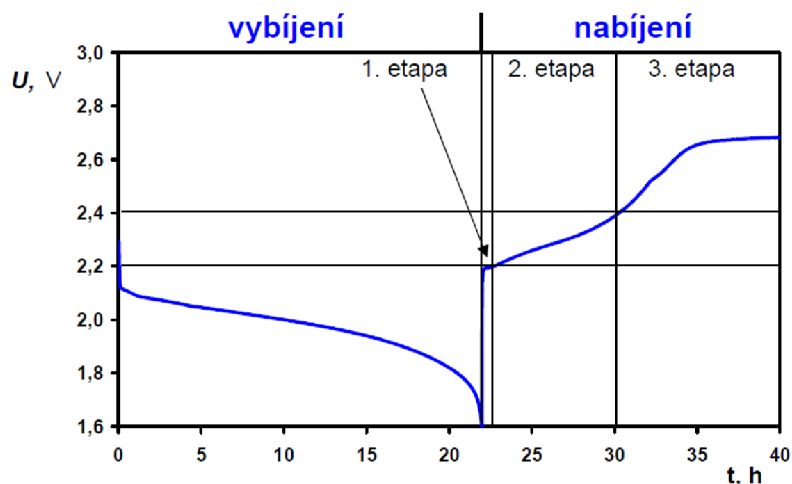
- ve vodném roztoku jsou rozkládány molekuly kyseliny sírové H_2SO_4 na anionty SO_4^{2-} , HSO_4^- a kationty H^+ ,
- z olověných destiček se uvolňují dvojmocné kationty olova Pb^{2+} a destičky tak získávají stejný záporný náboj,
- v blízkosti destiček se kationty olova a anionty SO_4^{2-} slučují na síran olovnatý PbSO_4 a jeho vrstva se vytvoří na obou destičkách.

Napětí mezi destičkami je ovšem nulové. Z předchozí části jsme získali jen nenabitý akumulátor a nyní ho nabijeme. K oběma destičkám připojíme zdroj ss. napětí a začne probíhat elektrolýza. Kationty H^+ se pohybují k destičce připojené k zápornému pólu zdroje, ale anionty SO_4^{2-} , HSO_4^{2-} ke kladnému pólu.

Celková reakce v akumulátoru (nabíjení šipka vpravo, vybíjení šipka vlevo):



Při nabíjení elektrolyt houstne, protože se zvyšuje obsah H_2SO_4 v elektrolytu (kyselina sírová má větší hustotu než voda). Po ukončení nabíjení je záporná elektroda potažená vrstvou houbovitého šedého olova, kdežto kladná elektroda vrstvou červenohnědého oxidu olovičitého. Napětí jednoho článku se pohybuje v rozmezí 2 až 2,1 V. Důležité je i nabíjení, které probíhá ve třech etapách viz. obrázek 4.1.



Obr. 4.1: Nabíjení a vybíjení olověného článku, převzato z [5]

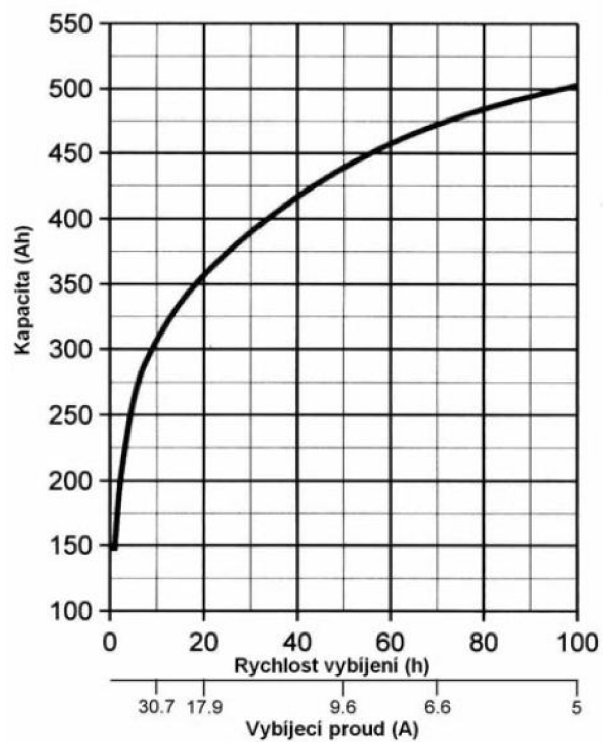
První etapa po připojení napájecího zdroje je charakterizovaná strmým nárůstem napětí v oblasti 1,75 až 2,2 V, vyvolaným rychlou tvorbou molekul H_2SO_4 v pórech obou olověných desek.

Druhá etapa je tvořena pozvolným nárůstem napětí v úseku od 2,2 do 2,4 V poté je článek téměř nabit.

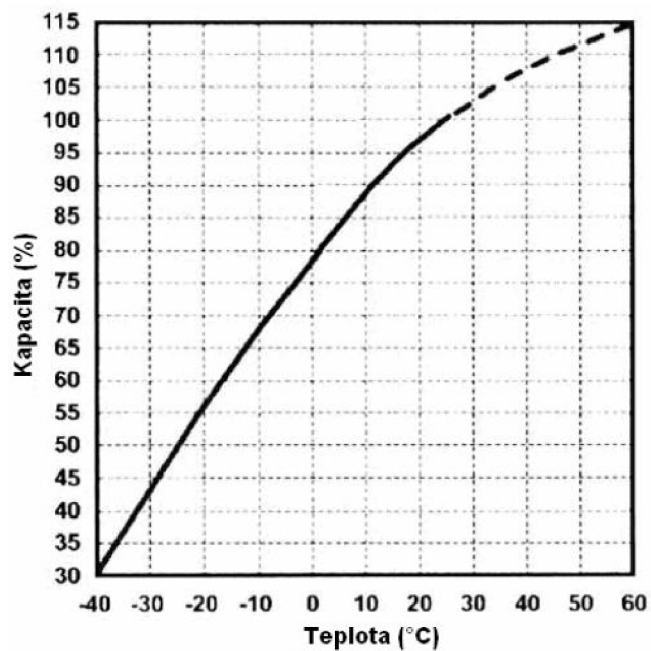
Odpojením zdroje se začne kromě PbSO_4 rozkládat i voda a článek začne plynovat a to už je třetí etapa, kdy po ukončení přeměny síranu dosáhne napětí článku 2,7 až 2,8 V a poté se veškerá dodávaná energie spotřebovává na elektrolýzu vody. Ta je tvořena plynováním, ale napětí se již výrazněji nezvětšuje.

Na konci nabíjení prudce vzroste napětí akumulátoru a na záporné elektrodě se začne vyvíjet vodík. Kladná elektroda uvolňuje po dobu nabíjení malé množství kyslíku, proto její výtěžnost činí pouze 85 až 90 % kapacity. Pro získání plné vybíjecí kapacity je nutno dodat pro vzrůst napětí ještě další náboj. Vzniká však přebíjení doprovázeno velkým vývinem kyslíku a vodíku. Toto plynování akumulátor ničí a snižuje jeho životnost. Před tímto stavem jsou baterie chráněny úpravou nabíjecího režimu a to tak, že se nabíjení neprovádí konstantním proudem, ale s napětovým omezením o velikosti blízké plynovacímu napětí (okolo 2,45 V). Tím výrazně vzrůstá elektrochemická účinnost na 95 až 99% a tím i životnost akumulátoru.

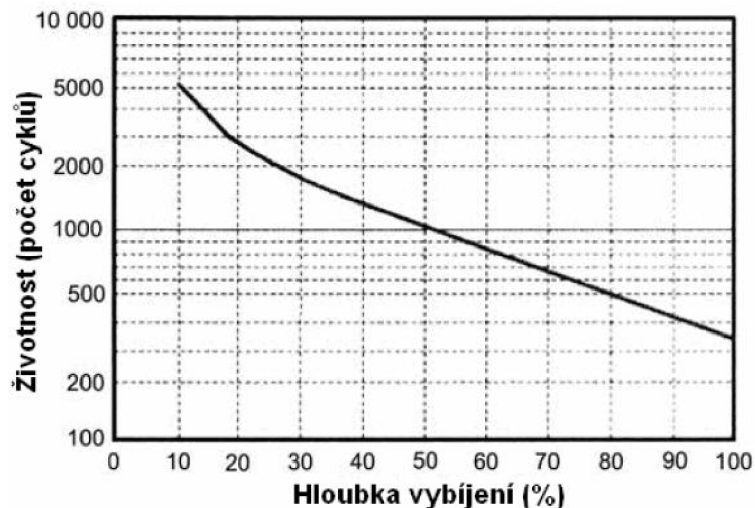
Kapacita baterie je silně závislá na rychlosti vybíjení (obrázek 4.2), tak i na teplotě (obrázek 4.3). Na obrázku 4.4 můžeme vidět, že při nižším vybíjecím proudu roste hloubka vybíjení a tím i klesá životnost baterie, protože vybíjecí reakce se účastní větší množství aktivní hmoty a urychlují se degradační mechanismy.



Obr. 4.2: Závislost kapacity olověné baterie na vybíjecím proudu, převzato z [5]



Obr. 4.3: Závislost kapacity olověné baterie na teplotě, převzato z [5]

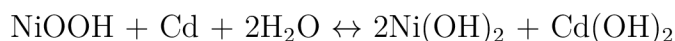


Obr. 4.4: Závislost životnosti olovené baterie na hloubce vybití, převzato z [5]

4.3 Nikl-kadmiová (Ni-Cd)

Tento typ baterií se začal používat ve 20. století a to především v železniční dopravě. Hlavní přednosti jsou dlouhá životnost a skladovatelnost, možnost přebíjení, rychlého nabíjení a vybití, schopnost pracovat za nízkých teplot, odolná konstrukce a téměř konstantní vybíjecí napětí. Nevýhodou je, že kadmium je toxické a drahé.

Celková reakce v akumulátoru (nabíjení šipka vpravo, vybití šipka vlevo):



Existuje velké množství modifikací Ni-Cd článků, každý však obsahuje kladnou a zápornou elektrodu, separátor, elektrolyt a je umístěn v nádobě viz. obrázek 4.5. Elektrody tvoří mřížka, na které je nanesen aktivní materiál. Je vyrobena z niklu nebo poniklované oceli a na jejím povrchu je nanesena pórovitá vrstva niklu, vláken nebo spékaného kovu. Celek je obalen aktivním materiálem, jehož poréznost může dosahovat až 80 %. Mřížka také zajišťuje odvod proudu a dostatečnou pevnost elektrody. Elektrody se vyrábějí ploché nebo se svinují společně se separátorem. Kapacita článku je stanovena množstvím aktivního materiálu. Elektrolytem bývá 30% až 35% roztok KOH (hydroxid draselný).

Použité materiály elektrod jsou nerozpustné, tudíž mají elektrody dlouhou životnost (neubývají). Článek se vyrábí ve třech typech: knoflíkový, válcový (spirálový), prizmatický (obrázek 4.5). První dva uvedené články jsou uzavřené a třetí může být uzavřené nebo otevřené typu. Otevřený typ obsahuje nízkotlakový ventil pro odvětrávání plynného kyslíku a vodíku vznikajícího při nabíjení. Zde je

nutno pravidelně doplňovat elektrolyt. Uzavřené články obsahují naopak malé množství elektrolytu a elektrody obsahují katalyzátor a jsou vyrobeny tak, aby se v jejich blízkosti plynný kyslík a vodík opět slučoval na vodu. Některé typy mohou být rovněž vybaveny tlakovým ventilem pro případ vnitřního nepovoleného přetlaku.

Niklkadmiové články se využívají v pomocných systémech jako startovací akumulátory, v přenosných zařízeních, satelitech, systémech řízení střel a v dalších aplikacích.

Dosahované kapacity jsou různé podle typu článků:

- knoflíkové (0,5 - 2 Ah),
- válcové (2 - 5 Ah),
- prizmatické uzavřené (5 - 50 Ah),
- prizmatické otevřené (5 - 5000 Ah).

Jsou stavěné na teploty 0 až 30°C, při kterých dosahují nejlepších parametrů. Na teplotě závisí i množství samovybití, které představuje 1 až 2% kapacity denně. Doba života dosahuje až tisíců nabíjecích a vybíjecích cyklů při úbytku kapacity asi 25 %. Napětí plně nabitého článku je přibližně 1,35 V a článek je vybitý pokud napětí klesne pod 1,1 až 1,0 V (kapacita klesne pod 50 %), pokud bychom v tomto případě baterii nenabíli mohl by dojít k poškození, proto některé baterie obsahují zabudovanou ochranu proti nadměrnému vybíjení.

Články lze nabíjet několika způsoby:

- Konstantním proudem, který se volí takový, aby se baterie dobila za určitý čas např. 14 - 16 hodin (uzavřené články).
- Při konstantním napětí, využívá se lze-li nastavit napětí zdroje na hodnotu odpovídající napětí nabité baterie (větrané články).
- Pomocí závislosti nabíjecího napětí na teplotě, rychlosti nabíjení a okamžitého stavu nabíjení. Tento způsob je drahý, ale zajišťuje maximální životnost (v letectví u hermetizovaných baterií).

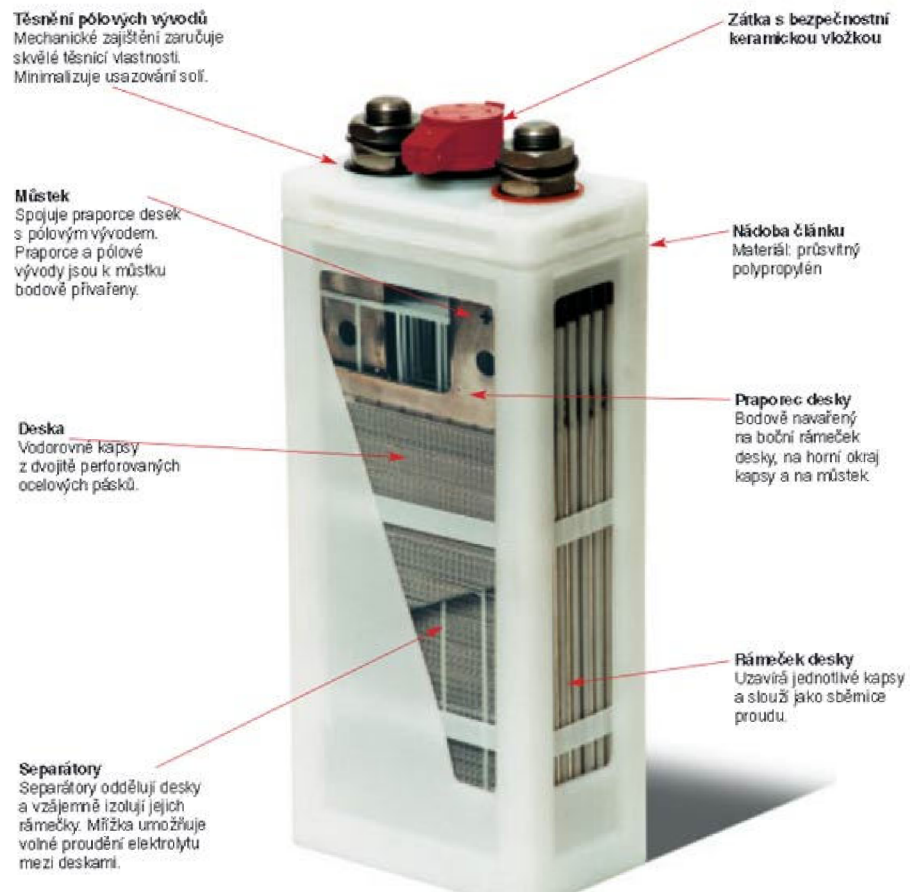
4.4 Baterie na bázi Lithia

Lithiové baterie jsou tvořeny světlým a velmi reaktivním kovem, tím jsou atraktivní pro využití k akumulaci. Probíhající chemické děje můžeme vidět na obrázku 4.6.

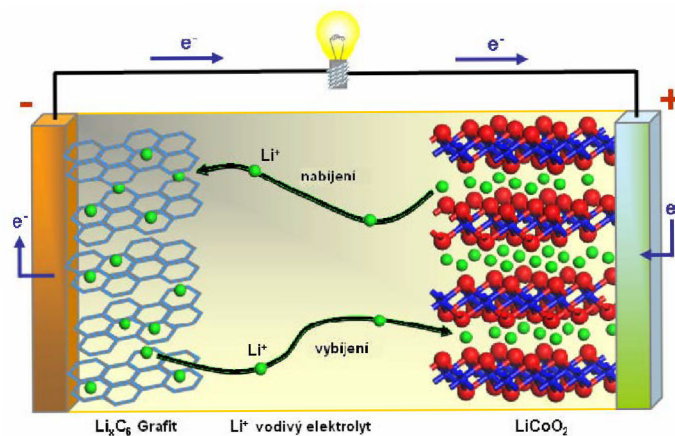
Elektrochemická reakce:



Lithiové baterie se používají v bez výpadkových záložních zařízeních Uninterruptible



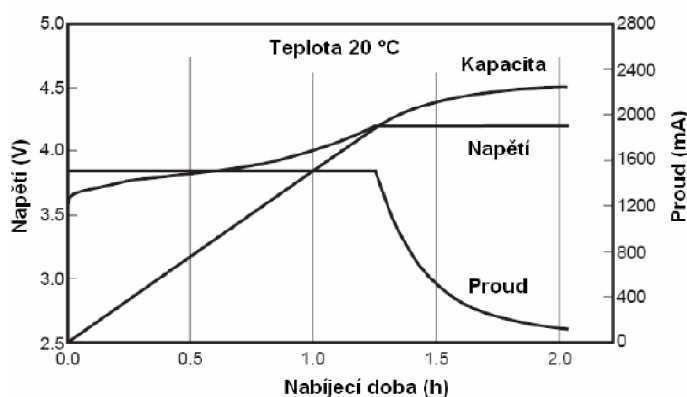
Obr. 4.5: Popis Nikl-kadmiové baterie, převzato z [37]



Obr. 4.6: Chemické děje v Li-ion článku, převzato z [5]

Power Supply (UPS), notebooky, mobilní telefony, atd.. Komerčně dostupné jsou od roku 1993. Pokud se jedná o sestavené akumulční systémy na bázi lithia, dnes přichází v úvahu dvě běžně používané varianty Li-ion (Lithium - iontová) a Li-pol (Lithium - polymerová). Vnitřní struktura u Li-ion článku je podobná NiCd článkům. Rozdíl je v elektrodách, katoda je tvořena oxidem lithia a jiného kovu (LiNiO_2 , LiCoO_2 nebo LiMoO_2). Anoda je tvořena porézním uhlíkem a elektrolyt je z lithiových solí (LiPF_6). Hlavní výhodou je jejich malá hmotnost na instalovanou kWh díky lehkému lithiu. Jsou také bezúdržbové a je možné u nich uložit větší množství energie na jednotku obsahu.

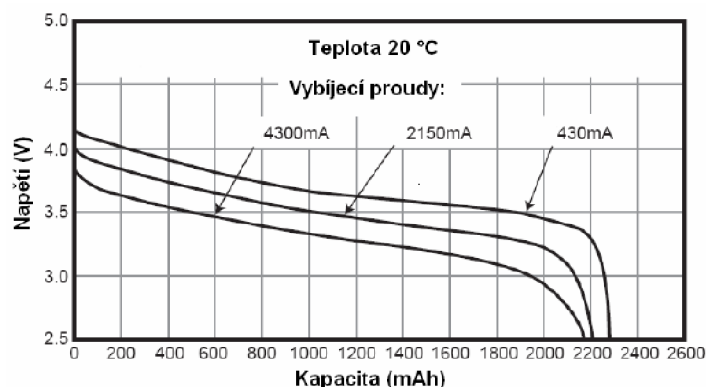
Další výhodou je, že jejich samovybití je téměř nulové. Tyto baterie jsou vhodné i pro dynamické akumulční systémy, protože je u nich umožněno rychlé vybití i nabíjení. Jejich životnost až 3000 nabíjecích cyklů je srovnatelná s ostatními používanými bateriemi. Nevýhodou tohoto systému je však stále poměrně vysoká cena.



Obr. 4.7: Nabíjecí charakteristiky, převzato z [5]

U Li-ion a Li-pol článků je výstupní napětí a výkon zvyšován pomocí spojování stejně jako u jiných baterií s tím rozdílem, že jednotlivé články u Li-ion akumulátoru mají okolo 3 V a u Li-pol se pohybuje od 1,8 do 3,3 V podle použití elektrolytu a katody.[6].

Polymerové baterie využívají gelový elektrolyt na bázi látek vzniklých polymerizací. Vodivost tohoto roztoku je většinou nižší v porovnání s kapalnými elektrolyty. Polymerový elektrolyt není hořlavý a je tudíž bezpečnější než kapalné elektrolyty. Na obrázku 4.7 můžeme vidět klasické nabíjecí křivky pro Lithiové články. Článek lze nabít například konstantním proudem odpovídající 1 náboji Q s omezením napětí na 4,2 V na článek. Na obrázku 4.8 jsou typické vybíjecí křivky v závislosti na vybíjecím proudu, při vyšších proudech se snižuje svorkové napětí, ale charakteristika zůstává z 80% doby vybíjení plochá [5].



Obr. 4.8: Vybíjecí charakteristiky v závislosti na vybíjecím proudu spirálového článku, převzato z [5]

Další výzkum je zaměřen na LiFePo₄, Li-air a další technologie, u kterých je snaha dosáhnout lepších ekonomických parametrů i za cenu menší kapacity. Nadějná je také technologie akumulátorů založených na Li₄Ti₅O₂. Vývojem této technologie se zabývá firma Toshiba, která tyto akumulátory uvedla na trh v roce 2010 pod názvem SCiB (Super Charge Ion Battery). Jejich hlavní předností je velmi rychlé nabíjení, které záleží na materiálu elektrod [7].

4.5 Průtokové baterie

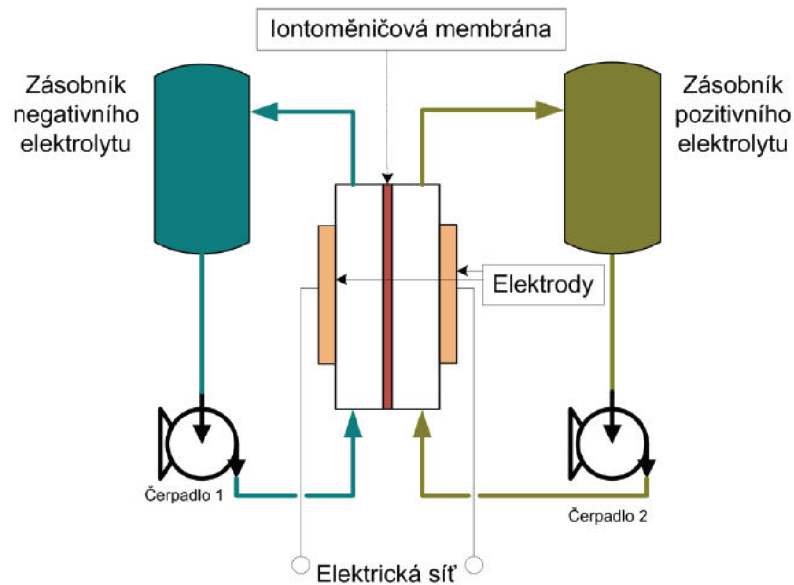
Jedná se o poměrně novou technologii, princip nabíjení ovšem mají stejný jako konvenční baterie. Průtokové baterie obsahují tekutý elektrolyt, který je pomocí čerpadel vháněn do zásobníků a z nich je zpět přiváděn do chemického článku. Princip funkce názorně naznačuje obrázek 4.9.

V současnosti existují tyto druhy průtokových redoxových akumulátorů:

- polysulfidová brómová,
- železo-chromité,
- železo-chlorité,
- zinko-cériové,
- halogenové Br - ZnBr,
- vanadiové.

4.5.1 Vanadiová redoxová baterie (VRB)

Vanadiová redoxová baterie je jedna z nejvhodnějších průtokových baterií pro použití v OZE a to především z důvodu neomezených počtů nabíjecích a vybíjecích



Obr. 4.9: Princip průtokové baterie, převzato z [6]

cyklů. Svoji extrémně rychlou reakční dobou jsou vhodné také pro UPS zdroje, kde mohou nahradit olovené baterie nebo dieselgenerátory. U těchto baterií nedochází ke znehodnocování elektrolytu.

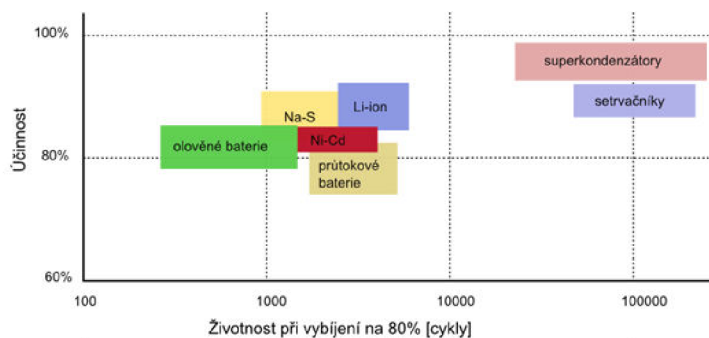
Baterie se skládá z článku s iontovou membránou PEM (proton exchange membrane), která odděluje elektrolyty obsahující vanad. Oba poločlánky jsou připojeny k rezervoárům a pomocí čerpadel cirkuluje elektrolyt přes elektrody.

Jedná se o systém, který dokáže hospodárně skladovat a opět uvolňovat i velké množství elektrické energie. Je založen na patentovaném redukčně - oxidačním reverzibilním článku, kde dochází k přeměně elektrické energie na energii chemickou vázanou v elektrolytu. Jedna část elektrolytu elektronicky oxiduje a druhá redukuje působením elektrického proudu přiváděného nebo odváděného elektrodami do vnějšího elektrického obvodu. Hlavní výhodou je, že může nabízet téměř neomezenou kapacitu použitím větších zásobníků elektrolytu. Baterie mohou být ponechány ve vybitém stavu dlouhou dobu a v případě potřeby elektrické energie nabity náhradním elektrolytem v zásobnících. Další výhodou je, že při náhlém smíchání elektrolytu v obou zásobnících se baterie nepoškodí. Nevýhodou je poměrně malá hmotnostní i objemová hustota energie a problémy s uskladněním korozivního kapalného elektrolytu.

Napětí z 50 % nabitého článku naprázdno při 25 °C je 1,4 V, při plném nabití je to přes 1,6 V a hustota energie okolo 25 - 35 Wh/kg. U úplně vybitého elektrolytu klesá napětí článku na 1,0 V. Hmotnost elektrolytu tvoří 90 % celé hmotnosti [5].

4.6 Porovnání technologií akumulátorů

Každý článek má rozdílnou konstrukci a žádný z popsanych článků není ideální. Jednotlivé články však mají svoje přednosti i zápory k nimž se musí nahlédnout pro dané použití. Na obrázku 4.1 můžeme vidět porovnání základních parametrů popsanych článků [5].



Obr. 4.10: Závislost účinnosti na životnosti, převzato z [40]

Jako další parametr pro zvolení vhodné technologie je závislost účinnosti na životnosti viz. obrázek 4.10. Dalšími parametry může být dostupnost materiálů, cena, vliv na životní prostředí a bezpečnost. Lidé si žádají technologie se stále větším výkonem, životností a hlavně s co nejnižší cenou. Z těchto důvodů se pozornost výzkumu zaměřuje na nové i stávající materiály a na jejich co nejlepší využití. Vědci věří, že nové materiály a technologie přinesou postupem času nové možnosti akumulace energie.

Tab. 4.1: Porovnání vybraných sekundárních článků, převzato z [5]

system	<i>Ni - Cd</i>	<i>Pb</i>	<i>Li - ion</i>	<i>Li - pol</i>
Hustota energie (Wh/kg)	45-80	30-50	110-160	130-180
Vnitřní odpor (mΩ)	100-200 (6 V sada)	<100 (12 V sada)	150-250 (7.2 V sada)	200-300 (7.2 V sada)
Životnost – do 80 % kapacity (cyklů)	1,500	200-300	500-1,000	300-500
Doba rychlého nabíjení (h)	1	8-16	2-4	2-4
Tolerance k přebíjení	střední	vysoká	velmi nízká	nízká
Samovybíjení (%/měsíc, 20°C)	20	5	10	~10
Napětí na článek (V)	1.25	2	3.6	3.6
Provozní teplota (°C)	-40 – +60	-20 – +60	-20 – +60	0 – +60
Doba do údržby	30-60 dní	3-6 měs.	není nutná	není nutná
Typická cena baterie (\$)	50 (7.2 V)	25 (6 V)	100 (7.2 V)	100 (7.2 V)
Komerčně užíváno od roku	1950	1970	1991	1999

5 PŘEDPOVĚD VÝROBY A SPOTŘEBY ELEKTRICKÉ ENERGIE

Na rodinném domě je umístěna FVE o výkonu 5 kWp. Elektrárna je v zapojení on-grid, kdy přebytek vyrobené elektrické energie může vracet zpět do sítě. Byla vystavěna v roce 2012 a uplatňuje ještě formu podpory zelený bonus 5,08 Kč/kWh. Ceny jsou dostupné na stránkách ERÚ (Energetického Regulačního Úřadu) [12].

5.1 Predikce výroby

Výnosnost FVE závisí především na aktuálním počasí a to na hodnotách solárního záření, teplotě okolí a na typu článku. Zvyšující se teplotou dochází ke snižování výkonu FVE. Okamžitý výkon elektrárny je také ovlivněn oblačností, která mění poměr přímého a difúzního záření. Hodnoty dopadajícího slunečního záření lze získat pomocí předpovědi oblačnosti (obrázkové mapy) a předpokládaných hodnot slunečního ozáření.

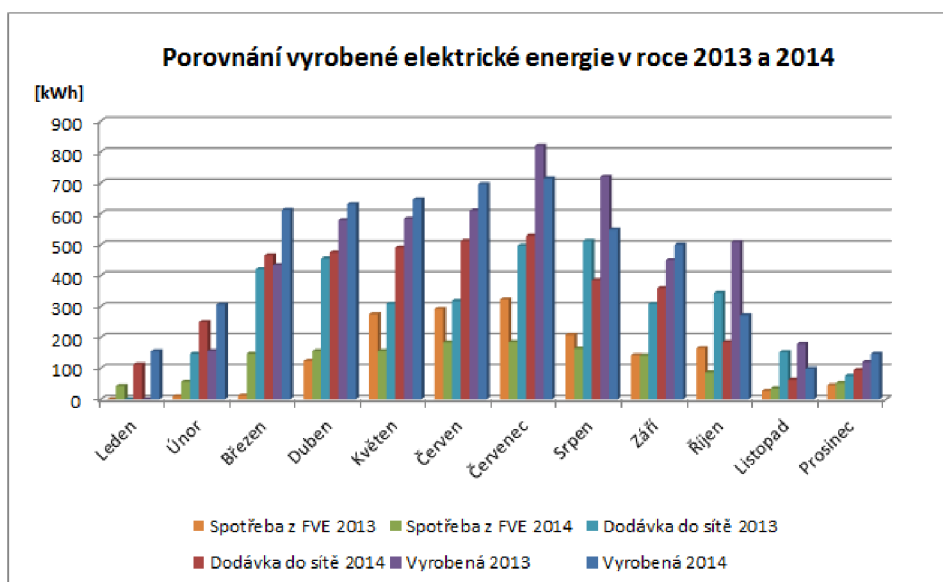
Předpověď výroby elektrické energie z FV panelů rozdělujeme na krátkodobou a dlouhodobou. K dlouhodobé predikci slouží několik výpočetních modelů (Metonorm, pvPlanner, PVGIS). Pro krátkodobou předpověď slouží především aktuální počasí. Obecně platí, že přesnost předpovědi klesá s narůstajícím počtem dnů a je závislá na přesnosti předpovědních modelů počasí.

5.1.1 Měření výroby FVE

V posledních dvou letech bylo prováděno měření měsíční výroby nainstalované FVE o parametrech uvedených na začátku této kapitoly a spotřeby RD (rodinného domu) viz. příloha A. Z těchto dat byla stanovena průměrná denní výroba FVE na 14 kWh. Celková denní spotřeba RD byla vypočtena na 16 kWh. Z těchto dat vyplývá, že FVE není schopná pokrýt spotřebu RD, ale také to, že je teoreticky možné, aby se veškerá vyrobená elektrická energie spotřebovala v domě. K tomu je však nutné v době přebytku elektrickou energii naakumulovat a využít později v době nedostatku. Souhrn průměrných naměřených hodnot můžeme je uveden v tabulce 5.1. Na obrázku 5.1 je zobrazeno porovnání naměřených dat z FVE za rok 2013 a 2014, kdy bylo prováděno měsíční měření v rámci odečtu, pro následné vyúčtování.

Tab. 5.1: Tabulka naměřených hodnoty elektrické energie v průběhu dvou let

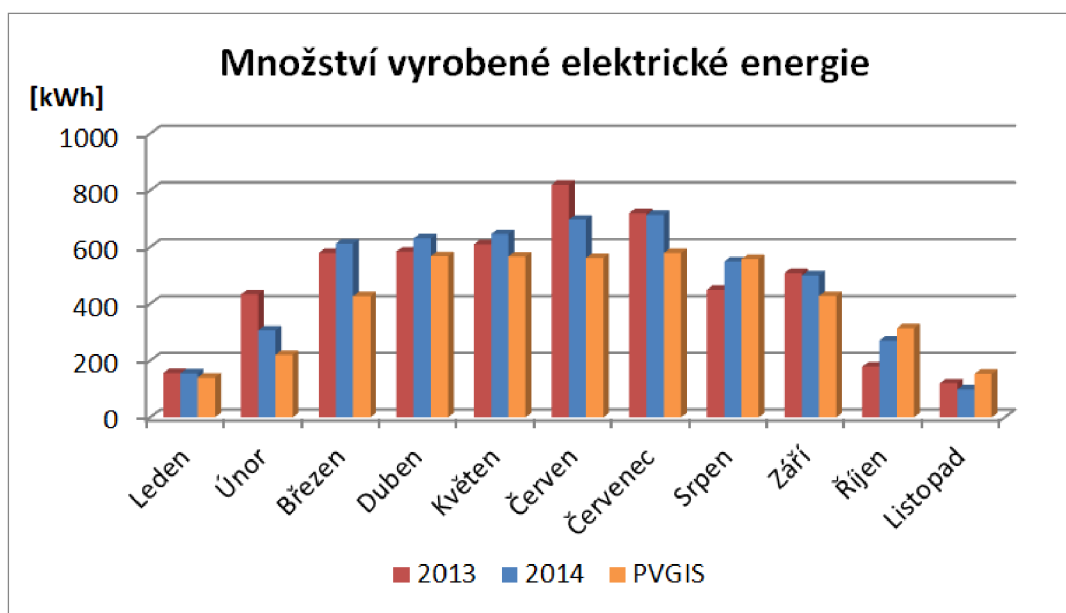
Rok	Popis		Celkem	Průměr	Průměr
			[kWh/rok]	[kWh/měsíc]	[kWh/den]
2013	Spotřeba	VT	640	53	1,75
		NT	5309	442	14,55
		VT+NT	5949	496	16,30
	Výroba	Bonus	5160	430	14,14
	Dodávka	Do sítě	3538	295	9,69
	Spotřeba z FVE	(výr-dod)	1622	135	4,44
2014	Spotřeba	VT	933	78	2,56
		NT	4620	385	12,66
		VT+NT	5553	463	15,21
	Výroba	Bonus	5325	444	14,59
	Dodávka	Do sítě	3918	327	10,73
	Spotřeba z FVE	(výr-dod)	1407	117	3,85



Obr. 5.1: Grafické porovnání naměřených dat z FVE v průběhu dvou let

5.2 Predikce slunečního záření

Předpověď hodnot je možné získat z již zmíněného on-line programu PVGIS (Photovoltaic geographical Information system) volně dostupného na internetu. Je to databáze vytvořená výzkumným centrem Evropské komise a nabízí výpočet výroby elektrické energie ve vybraných místech Evropy a Afriky. Odtud je možné získat průměrné roční a měsíční data slunečního záření pro zadané souřadnice [21]. Na obrázku 5.2 můžeme vidět porovnání naměřených dat v roce 2013 a 2014 z FVE 5 kWp stojící v Olešnici (okres Blansko) s daty z programu PVGIS. Tímto porovnáním jsme zjistili, že reálná produkce z těchto dvou let je ze začátku roku větší než odhaduje výpočtový program PVGIS. Naopak ke konci roku je reálná výroba nižší. Můžeme tedy říct, že celkové množství vyrobené elektrické energie je téměř stejné a predikce dle programu dosahuje poměrně dobré přesnosti.



Obr. 5.2: Porovnání naměřených dat vyrobené elektrické energie z FVE o výkonu 5 kWp s daty programu PVGIS

5.3 Analýza spotřeby

Prvotní a důležitou částí při návrhu akumulátorového systému pro ukládání přebytečné elektrické energie z FVE pro následné využívání při jejím nedostatku je analýza spotřeby elektrické energie. Důležité je také určení, jaké spotřebiče má energetický systém napájet. Možných variant je více, ale základní je určení, zda budou napájeny

pouze běžné spotřebiče, či je počítáno i s napájením elektrického vytápění. Pokud by se počítalo i s elektrickým vytápěním, mělo by to velký dopad na kapacitu akumulčního zařízení. V této práci se s elektrickým vytápěním nepočítá.

Pro analýzu a následný návrh byl zvolen klasický rodinný dům, který obývá čtyřčlenná rodina. Spotřeba bude určena, podle odběru jednotlivých spotřebičů v domě, které jsou uvedeny v tabulce 5.2.

5.4 Predikce spotřeby

Pro dimenzování kapacity baterií a optimalizaci spotřeby je nutné určit odběr jednotlivých spotřebičů a následně celkovou spotřebu elektrické energie rodinného domu. Dále je třeba zjistit dobu a délku používání jednotlivých spotřebičů během dne. Průměrná denní spotřeba domu je uvedena v tabulce 5.2.

Spotřebu jednotlivých spotřebičů lze určit poměrně jednoduše, vynásobením příkonu spotřebiče a doby jeho provozu. Jmenovitý příkon spotřebiče je obvykle uváděn na štítku spotřebiče. U cyklicky pracujících spotřebičů, jako jsou ledničky a mrazáky jsou údaje o příkonu nedostačující, protože vyjadřují pouze příkon kompresoru v době jeho chodu. Proto je na nich uváděna denní či roční spotřeba elektrické energie v kWh [17].

Stanovení spotřeby elektrické energie, vynásobením jmenovitého příkonu a doby zapnutí spotřebiče není příliš přesné, protože spotřebiče většinou nepracují s daným štítkovým příkonem. Z tohoto důvodu bylo pro určení spotřeby některých spotřebičů použito digitálního zásuvkového elektroměru Hütermann PM2 (190-250V /50HZ, max.15A). Jelikož je přístroj dostatečně citlivý je možné změřit i spotřebu úsporných žárovek a také často opomíjený Stand-By režim některých spotřebičů. Měření bylo provedeno pouze u přístrojů s vidlicovým připojením do sítě. U necyklických přístrojů, jako je televize či varná konvice bylo měření provedeno po zvolenou dobu a průměrný příkon spotřebiče byl vypočten podělením průměrné spotřeby časem provozu.

U cyklických spotřebičů je nutné změřit celý jejich pracovní cyklus. Spotřebu lednice s mrazákem je potřeba měřit celý den pro co nejpřesnější hodnoty. Dosaženou spotřebu vydělíme dobou provozu a dostaneme průměrný příkon.

Domácí spotřebiče, jako je mikrovlnná trouba, fén, žehlička, vysavač nebo pračka se dají nastavit podle různých programů a režimů provozu, dle potřeby a tím je ovlivněna i spotřeba. Měření proto bylo prováděno při jejich obvyklém nastavení výkonu nebo typu programu.

Mezi další domácí spotřebiče patří i světelné zdroje. Jejich soupis byl proveden a přehledně zaznamenan v tabulce 6.1, kde byl vypočten i jejich celkový příkon.

Tab. 5.2: Naměřená a vypočtená celková průměrná denní spotřeba rodinného domu

Spotřebič	Typ	Příkon	Naměřený příkon		Doba provozu [hodiny]	Spotřeba kWh/den	Stand-By [W]
		štitkový	max	průměrný za hod			
		[W]	[W]	[W]			
Kombinovaná chladnička	Whirlpool BSF 8353 OX	150	580	20	24	0,48	-
Mikrovlnná trouba	Profesor	1200	1238	1300	0,1	0,13	0,2
Varná konvice	Gallet	2000	1933	1950	0,5	0,975	-
LCD televize	Panasonic	138	97	24	2	0,048	0
Notebook	ASUS K50AB	90	85	100	4	0,4	0,2
Pračka	Whirlpool AWE	2300	2377	610	2	1,22	0,3
Žehlička	Tefal AVANTIS 95	1650-1960	1703	200	1	0,2	-
Horkovzdušný fén	SENCOR	2000	1821	600	0,1	0,06	-
Myčka A++	BOSCH SD6P1B	2000-2400	2400	930	2	1,86	-
Vestavná trouba	MORA EVP 241	3300	3300	870	2	1,74	-
Varná deska	ELECTROLUX	3000	3000	-	1	3	-
Vysavač	Zelmer	1200-1500	942	850	1	0,85	-
Bojler	Dražice OKC 160	2000	2000	-	3,5	4	-
Osvětlení	-	1400	1400	1400	1	1,4	-
Celkem		-	22876	8854	-	16,363	

5.4.1 Odhad spotřeby bojleru

U bojleru bylo nutné dobu chodu odhadnout, pomocí spotřeby teplé vody u čtyřčlenné rodiny pro různé období a dopočítat spotřebu elektrické energie, viz tabulka 5.3. Při odhadu bylo zohledněno, že v pracovní den je spotřeba vody menší, protože rodina tráví většinu času mimo domov (zaměstnání, škola). Průměrná denní spotřeba vody v České republice na osobu je přibližně 110 litrů viz. odkaz [13].

Tab. 5.3: Tabulka odhadu spotřeby teplé vody a k tomu spotřebované elektrické energie pro různá období

Den	Spotřeba léto				Spotřeba zima			
	Teplé vody [l/den]	Doba ohřevu [h:min]	Elektrické energie [Wh]	Započteny ztráty [kWh]	Teplé vody [l/den]	Doba ohřevu [h:min]	Elektrické energie [Wh]	Započteny ztráty [kWh]
pracovní	100	2:15	4502	6,0	120	2:41	5403	6,9
víkendový	140	3:08	6303	7,8	160	3:35	7204	8,7

U bojleru je počítáno s ohřevem napájecí vody o teplotě 12°C na teplotu 50°C. Příkon topné spirály je 2000W a účinnost ohřevu vody elektrickou energií je 98%. Průměrné denní ztráty bojlerů s těmito parametry jsou přibližně 1,5 kWh. Příklad výpočtu potřebné energie pro letní pracovní den je uveden v rovnici (5.1).

$$E = \frac{c \cdot m \cdot \Delta T}{3600 \cdot \eta} = \frac{4180 \cdot 100 \cdot 38}{3600 \cdot 0,98} = 4502Wh \quad (5.1)$$

Kde:

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

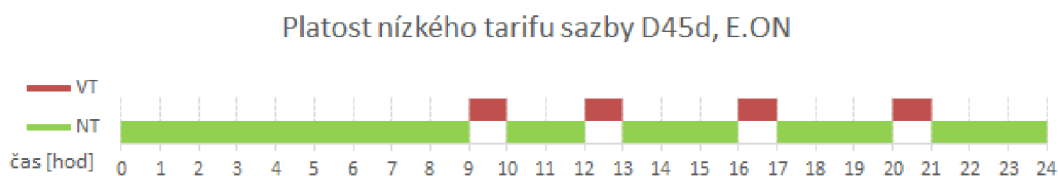
ΔT ... rozdíl teplot [K],

m ... množství vody [l] (1l=1kg),

η ... účinnost ohřevu vody elektrickou energií [-].

Pomocí jednoduchého internetového programu [14], byla stanovena doba ohřevu teplé vody podle předchozích parametrů v zásobníkovém ohříváči (bojleru o objemu 147 l) na 3 hodiny a 17 minut. Výpočtem byla stanovena energie potřebná k ohřevu vody celého bojleru na 6,6 kWh.

Rodina využívá dvou tarifní sazbu přímotopné vytápění D45d od distributora E.ON v současnosti se ovšem přímotop nevyužívá, proto není započítán do celkového příkonu spotřebičů. Nyní je bojler nahříván v průběhu noci, kdy je nižší cena elektrické energie. Časy NT (nízkého tarifu) jsou uvedeny na obrázku 5.3.



Obr. 5.3: Časy spínání NT sazby D45d od distributora E.ON

5.4.2 Spínání podle priorit spotřebičů

Při zjišťování doby chodu jednotlivých spotřebičů jsem vycházel z návyků posuzované domácnosti. Návyky posuzované domácnosti a tím i používání různých spotřebičů v určitou dobu byly vyznačeny do tabulky pro náhodný letní a zimní víkendový a pracovní den. Tyto tabulky nalezneme v příloze B.1 a B.2. Zeleně jsou vyznačeny hodiny provozu spotřebičů v době, kdy je předpokládána výroba FVE. Červeně potom hodiny provozu, kdy FVE již nevyrábí (po západu slunce). Pro letní období bylo předpokládáno, že FVE bude vyrábět od 6 do 20 hodin. Naopak v zimním období od 8 do 17 hodin. Výsledné zpracované hodnoty z tabulek jsou přehledně uvedeny v tabulce 5.4. V této tabulce již byl proveden jeden z možných procesů optimalizace, kterým se zabývá další kapitola a to tak, že spínání bojleru bylo posunuto z nočních

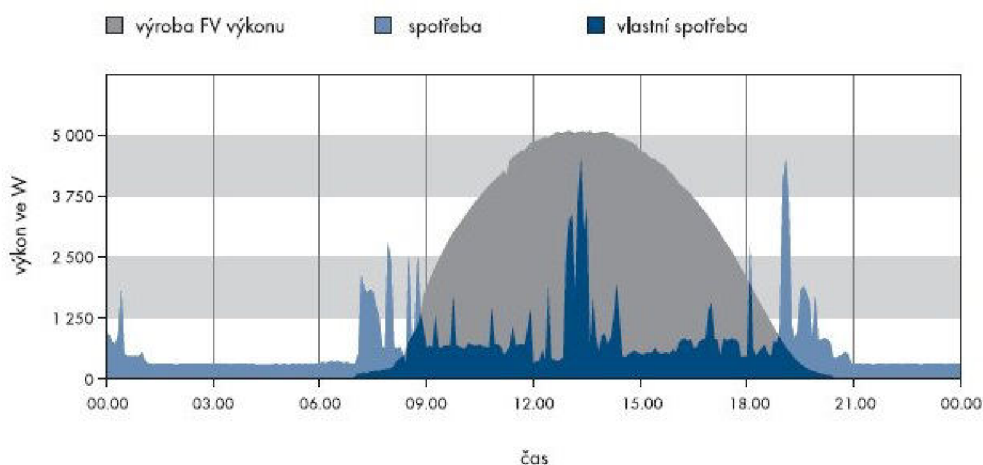
hodin do odpoledních časů (doby platnosti NT), kdy FVE vyrábí za jasného počasí nejvíce elektrické energie.

Tab. 5.4: Tabulka odhadu spotřeby elektrické energie RD pro různá období

Období	Den	Denní spotřeba		
		Celkem	Mimo osvit	V osvitu
		[kWh]	[kWh]	[kWh]
Léto	víkendový	34,42	3,16	31,26
	pracovní	15,85	1,92	13,93
	průměr týden	25,13	2,54	22,60
Zima	víkendový	36,32	9,21	27,11
	pracovní	18,90	11,82	7,8
	průměr týden	27,61	10,52	17,46

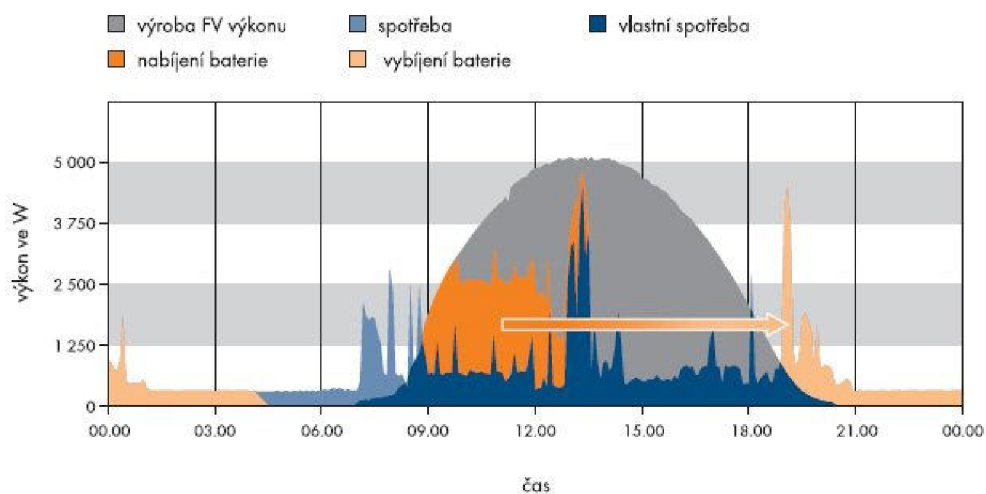
6 OPTIMALIZACE A MOŽNOSTI ŘÍZENÍ SPOTŘEBY

Návratnost investovaných finančních prostředků na výstavbu FVE lze zlepšit při zvýšení spotřeby vyrobené energie. Dosáhneme-li větší spotřeby vyrobené elektrické energie v domě, tím méně jí budeme muset nakupovat od distributora a tak ušetříme. Větší podíl vyrobené elektrické energie z FVE je obvykle dodáván do distribuční soustavy. Elektrické spotřebiče v domácnosti dokáží k napájení využít pouze část vyrobené elektrické energie z FVE. Tento přímo využívaný podíl FV energie představuje vlastní spotřebu, která je spotřebována v domě. Velikost této vlastní spotřeby v domě vyplývá z velikosti FVE a zátěžového profilu domácnosti, nebo-li množství spotřebované elektrické energie v domácnosti během dne. Na obrázku 6.1 můžeme vidět příklad profilu domácnosti, jeho možné rozložení a velikost spotřeby elektrické energie během dne. Tento profil spotřeby však velikostně neodpovídá našemu posuzovanému domu.



Obr. 6.1: Denní profil výroby solární elektrárny, převzato z [15]

Příklad typické čtyřčlenné domácnosti s FVE o velikosti 5 kWp umístěnou na střeše rodinného domu dosáhne podílu vlastní spotřeby ve výši mezi 30 až 50%. Optimalizací, například použitím akumulátorových baterií (obrázek 6.2) nebo inteligentním spínáním spotřebičů lze dosáhnout navýšení tohoto podílu vlastní spotřeby o 20 až 30% [15].



Obr. 6.2: Denní profil výroby solární elektrárny s akumulací energie, převzato z [15]

6.1 Optimalizace spotřeby

Výsledné příkony některých spotřebičů ukazují, že je v domě možnost optimalizovat spotřebu v době, kdy zrovna nemáme k dispozici energii z FVE a to například výměnou starších typů světelných zdrojů či spotřebičů za nové a úspornější. Snížením můžeme dosáhnout značné úspory při následném dimenzování baterií na dobu po setmění. Úspory však nedosáhneme bez investice na koupi nových úspornějších spotřebičů.

6.1.1 Osvětlovací soustava

Poměrně vysoká spotřeba světelných zdrojů je způsobena především jejich nevhodnou skladnou. V domě jsou použity stále klasické žárovky nebo jejich novější obdoba halogenové žárovky a kompaktní zářivky, jak můžeme vidět v tabulce 6.1.

Instalovaný příkon světelných zdrojů v objektu je tedy 1400W. Uvažujeme-li, že denně budeme svítit hodinu všemi světly, spotřebujeme 1,4 kWh, potom měsíční spotřeba elektrické energie je 42 kWh a roční 511 kWh.

Úspory lze dosáhnout, jak již bylo dříve zmiňováno výměnou světelných zdrojů za úspornější a to použitím halogenových žárovek, kompaktních zářivek či LED zdrojů.

Klasické žárovky jsou dnes již prakticky k nedostání, protože jejich dovoz byl od srpna roku 2012 zakázán. Jsou nahrazovány halogenovými žárovkami, jejichž prodej by měl být do roku 2016 také omezen. Časem tedy nezůstane jiná možnost, než přejít na používání kompaktních zářivek nebo LED zdrojů.

Tab. 6.1: Složení světelných zdrojů v domě

Umístění	Světelné zdroje	Počet	Příkon [W]	Celkový příkon [W]
Obývací pokoj	Žárovka	3	60	220
	Žárovka	1	40	
Jídelna	Reflektorová žárovka	4	40	200
	Kompaktní zářivka	1	40	
Pracovna	Žárovka	5	40	240
	Halogenová žárovka	2	20	
Chodba	Kompaktní zářivka	5	60	300
Koupelna	Žárovka	2	60	120
WC	Kompaktní zářivka	1	40	40
Ložnice	Žárovka	1	40	90
	Halogenová žárovka	2	25	
Pokoj 1	Kompaktní zářivka	1	20	60
	Halogenová žárovka	2	20	
Pokoj 2	Kompaktní zářivka	1	25	130
	Halogenová žárovka	3	35	
Celkový příkon všech světelných zdrojů [W]				1400

Při výběru úsporného světelného zdroje se orientujeme podle přiložených parametrů udávaných výrobcem. Účinností se rozumí podíl světelného toku ku příkonu a je dáno, že čím vyšší hodnota tím vyšší účinnost. Nazývá se také měrný výkon s jednotkou lumen na watt [lm/W]. Při výběru klasických žárovek se posuzoval jejich příkon, to již dnes tak úplně neplatí a s přechodem na kompaktní zářivky a LED zdroje se lidé musí orientovat spíše podle světelného toku. Pro lepší orientaci začali výrobci vydávat převodní tabulku, kde jsou uvedeny příkony klasických žárovek a k nim odpovídající světelné toky jednotlivých světelných zdrojů, které jsou uvedeny v tabulce 6.2.

Tab. 6.2: Světelný tok odpovídající příkonu klasické žárovky, převzato z [19]

Klasická žárovka	LED zdroj	Halogenová žárovka	Kompaktní zářivka
[w]	[lm]	[lm]	[lm]
15	136	119	125
25	249	217	229
40	470	410	432
60	806	702	741
75	1055	920	970
100	1521	1326	1398

Budeme-li chtít vyměnit například klasickou 60W žárovku víme, že ji můžeme

nahradit kompaktní zářivkou o světelném toku 741 lm. Avšak z hlediska zrakové pohody může být odpovídající kompaktní zářivka nedostačující. Musíme tedy zohlednit i teplotu chromatičnosti a index barevného podání R_a , který je blízky žárovce (2700K, $R_a=100$), kde index barevného podání by měl dosahovat minimálně $R_a=80$, jinak dochází k odlišnému vnímání barev. Dalším důležitým údajem je startovací a zahřívací doba světelného zdroje. Wolframové, halogenové a LED zdroje nabíhají téměř okamžitě na plný výkon. Kompaktní zářivky však mají startovací dobu kolem 2 vteřin a dosahují 60% světelného výkonu do 30 vteřin. Jsou proto nevhodné do prostor, kde se svítí jen na pár minut denně a také do venkovních prostor, protože jejich výkon klesá se snižující se teplotou okolí [18].

Výběr úspornějších světelných zdrojů byl proveden s ohledem na dobu jejich používání. Některé zdroje s nižší spotřebou byly ponechány původní, aby se snížil poměr mezi investicí a snížením spotřeby. V tabulce 6.3 můžeme vidět umístění těchto světelných zdrojů, jejich typy, počet a celkový příkon, který činí 384 W. Celková cena výměny některých světelných zdrojů v rámci optimalizace činí 3112,12 Kč.

Tab. 6.3: Optimalizace světelných zdrojů v domě

Umístění	Světelné zdroje	Počet	Příkon [W]	Celkový příkon [W]
Obývací pokoj	LED zdroj	3	10	38
	Kompaktní zářivka	1	8	
Jídelna	Reflektorový LED zdroj	4	6	39
	Kompaktní zářivka	1	15	
Pracovna	Kompaktní zářivka	5	15	115
	Halogenová žárovka	2	20	
Chodba	Reflektorový LED zdroj	5	6	30
Koupelna	Reflektorový LED zdroj	2	6	12
WC	Reflektorový LED zdroj	1	6	6
Ložnice	Kompaktní zářivka	1	15	65
	Halogenová žárovka	2	25	
Pokoj 1	Kompaktní zářivka	1	15	55
	Halogenová žárovka	2	20	
Pokoj 2	Kompaktní zářivka	1	15	24
	LED zdroj, GU10	3	3	
Celkový příkon všech světelných zdrojů [W]				384

Porovnáním s původní variantou osvětlení viz. obrázek 6.1 jsme dosáhli poklesu příkonu ze 1400W na 384W, což přinese úsporu 1016 W. Uvažujeme-li, že denně budeme svítit hodinu všemi světlí, dostáváme 1,016kWh. Měsíční spotřeba elektrické energie je tedy 30,480 kWh a roční 370,840 kWh. Odečtením dostáváme teoretickou

roční úsporu 140,16 kWh. Například při sazbě 4,5 Kč/kWh to za rok činí 630,72 Kč. Investice by se nám tak měla do 5 let vrátit.

Parametry vybraných světelných zdrojů byly zpracovány do tabulky, viz. tabulka 6.4. Výběr jednotlivých typů a cen byl prováděn na webu Žárovky.cz [20].

Tab. 6.4: Parametry vybraných světelných zdrojů, převzaty z [20]

Výrobce		Schmachtl	OSRAM	PROPUS	EMOS	Philips
Typ		LED zdroj	Kompaktní zářivka	LED zdroj	Reflektorový LED zdroj	Kompaktní zářivka
Patice		E27	E27	GU10	E14	E27
Teplota chromatičnosti	[K]	2700	4000	3500	3000	6500
Světelný tok	[lm]	806	400	225	400	840
Ra	[-]	>80	>80	>80	>80	>80
Příkon	[W]	10	8	3	6	15
Životnost	[h]	30000	10000	50000	30000	10000
Počet sepnutí	[-]	30000	20000	50000	55000	5000
Úhel svícení	[°]	150	-	120	120	-
Cena bez	[Kč]	183	115	95	106,5	79
Počet zdrojů	[ks]	1	1	3	12	9
Celková cena bez DPH	[Kč]	183	115	285	1278	711
Celková cena s DPH 21%	[Kč]	221,43	139,15	344,85	1546,38	860,31
Cena všech zdrojů s DPH	[Kč]	3112,12				

6.2 Možnosti řízení spotřebičů

Regulátory se využívají především u systémů pro zlepšení vlastní spotřeby domů. Jedná se o zařízení, které měří velikost a směr toku elektřiny v předávacím místě (za elektroměrovým rozvaděčem) a pomocí toho řídí příkon vlastní spotřeby tak, aby nedocházelo k toku činného výkonu mezi sítí a připojeným objektem. A to postupným připojováním a především plynulou tyristorovou regulací v plném rozsahu příkonu. V případě zaznamenané dodávky do sítě je ovládán pulzně napájený spotřebič a nejvyšší prioritou. Při nadbytku výkonu připojuje řídicí signál další spotřebiče na plné napětí podle přiřazených priorit a velikostí. Pro řízení příkonu v celém rozsahu výkonu elektrárny je nutné umožnit tyristorovému regulátoru po celou dobu výroby řídit trvale alespoň jeden spotřebič. Připojovanými spotřebiči jsou typicky spotřebiče akumulárního charakteru napájené v nízkém tarifu (bojlery, topná tělesa). V případě pulzně ovládaných spotřebičů se musí jednat o odporové zátěže. Z hlediska především kolísání napětí při pulzním spínání velké zátěže musíme respektovat vhodnou velikost ovládaného příkonu. Mezi známé produkty v Česku patří zejména Wattroutery od společnosti SOLAR controls a Greenobono od společnosti Yorix [16].

6.2.1 ENcontrol

Jedná se o měřicí sadu, která umožňuje měření spotřeby a ovládání spotřebičů pomocí počítače. Její hlavní výhodou je jednoduchá obsluha. Po zapojení začne pracovat bez nutnosti dodatečné instalace nebo nastavování. Měření a ukládání hodnot elektrických veličin z modulů lze měnit z webové aplikace. Sada ENcontrol umožňuje měřit teplotu v místě použití, spínat dle předdefinovaných scénářů až 3 spotřebiče najednou a naprogramovat měření spotřeby v časových úsecích a veškeré hodnoty bezdrátově přenášet do centrální jednotky. Data jdou dále exportovat do vlastního počítače pro další zpracování [22].

Přínos:

- optimalizace spotřeby a odhalení neúsporných spotřebičů,
- měření spotřeby v pohotovostním režimu (stand-by),
- zobrazení odběrových špiček,
- optimalizace vytápění díky teplotnímu čidlu,
- sledování výpadků dodávky elektřiny.

6.2.2 Wattrouter

Wattrouter je programovatelný regulátor vlastní spotřeby FVE pracující v režimu zelený bonus. Správnou instalací a nastavením je schopen optimalizovat vlastní spotřebu elektřiny vyrobené z FVE.

Měřicí modul měří proud v reálném čase ve všech fázích. Regulátor vyhodnocuje naměřené proudy a napětí, pokud je zjištěna výroba FVE, sepne připojené spotřebiče dle předem nastavených priorit a zároveň se neustále snaží držet nulový tok energie - virtuální nulu, tzn. součet činných výkonů ve všech třech fázích roven nule nebo volitelně na každé fázi odděleně.

Wattrouter je schopen spínat až 4 výstupy pro model CWx (2 triakové a 2 releové) a modely CWx SSR a CWx MAX až 6 výstupů (2 triakové, 2 releové a 2 externí polovodičové relé). Pomocí volitelného programu CombiWATT je schopen spínání zátěží v kombinovaném režimu přebytek FVE + nízký tarif, který je vhodný především pro ohřev TUV i pro bazénové filtrace.

Na triakové/SSR výstupy lze připojit čistě ohmické spotřebiče, tím se rozumí tepelné spotřebiče, které nesmí mít vlastní elektronickou regulaci ani vestavěné točivé stroje. Tepelné spotřebiče smí mít pouze klasické mechanické termostaty a indikační doutnavky nebo LED diody. Těmito přístroji jsou: většina sériově vyráběných bojlerů, infrazářič, rohož podlahového topení, infra vysoušeč (bezmotorový), olejový radiátor, elektropatrona v solární akumulární nádobě, aj.

Pomocí softwaru WATTconfig je možné Wattrouter nastavit a sledovat činnost regulátoru přes USB rozhraní viz. obrázek 6.5.

Spínání dle priorit probíhá z výchozího stavu (v noci), kdy jsou všechny spotřebiče vypnuté. Vyrábí-li ráno FVE, tak součet činných výkonů je větší než nula a dochází k sepnutí výstupu s první nejvyšší prioritou. Okamžik sepnutí se liší podle druhu výstupů (triakové, releové). Triakové/SSR (Solid State Relay - polovodičový spínací prvek - bezkontaktní relé) výstupy se sepnou téměř ihned po zjištění výroby FVE a regulátor jimi plynule (synchronním řízením) udržuje "virtuální nulu". Releové výstupy se sepnou až tehdy, překročí-li výkon FVE nastavenou hodnotu příkonu spotřebiče uživatelem. Po sepnutí spotřebiče s první prioritou (u triakového výstupu sepnutí na nastavený max. výkon) se čeká, až výkon FVE opět stoupne při svítání. Dochází-li při tomto sepnutém spotřebiči ke zjištění výroby, sepne se ve stejném režimu spotřebič s druhou prioritou. Při následném zvýšení výkonu FVE se ve stejném režimu připojí další spotřebiče. Dojde-li ke snížení výkonu FVE nebo k zapnutí jiného spotřebiče nepřipojeného na Wattrouter, dochází k odpojení sepnutých výstupů dle nastavených priorit (nejdříve se odpojí spotřebič s nejnižší prioritou).

U releových výstupů lze nastavit minimální dobu sepnutí a je-li s releovým výstupem sepnut triakový/SSR výstup s vyšší prioritou a dojde ke snížení výkonu FVE, triakový/SSR výstup sníží výkon spotřebiče i na nulový, aby byla dodržena virtuální nula na měřícím modulu. Za jiných podmínek než v tomto odstavci regulátor stanovené podmínky nikdy neporuší, ale mohl by kdyby uměl předpovídat počasí a spotřebu v domě.

Tyto uvedené funkce platí v případě zapojení měřícího modulu ihned za elektroměrovým rozvaděčem tak, aby Wattrouter využíval pouze skutečné přebytky FVE viz. obrázek 6.4 - 1f schéma zapojení a obrázek 6.3 - 3f schéma zapojení. Toto zapojení je i doporučeno výrobcem. Regulátor lze však zapojit mnoha různými způsoby a i tak, aby využil celou výrobu FVE a na spotřebiče v objektu nebral ohled. Regulátor ani měřící modul nelze dle stávající legislativy instalovat do elektroměrového rozvaděče!

Příklad nastavení jednoho spotřebiče pomocí Wattroutru CWx: Regulovaným spotřebičem bude bojler o příkonu 2 kW. Průměrná teplota napájecí vody je 12°C, ta bude nahřívána na 50°C. Průměrná spotřeba teplé vody je 160 l denně. Výpočet denního množství elektrické energie potřebného k ohřevu celého bojleru bez tepelných ztrát je naznačeno v rovnici 6.1.

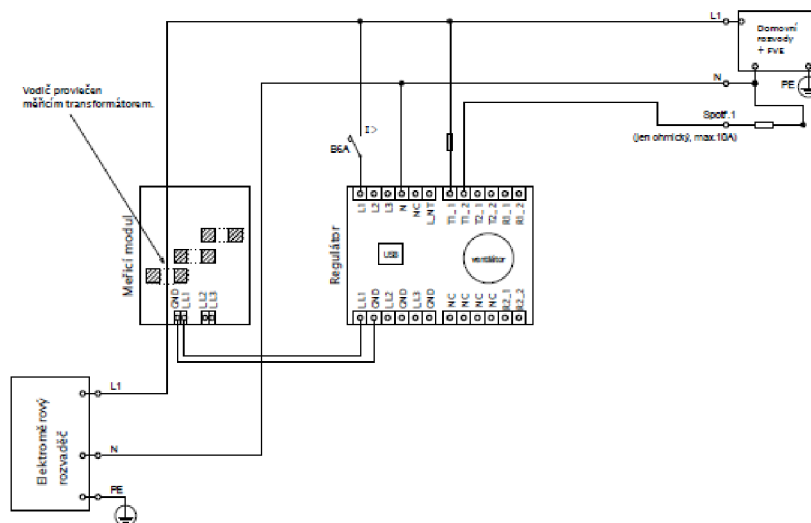
$$E = \frac{c \cdot m \cdot \Delta T}{3600} = \frac{4180 \cdot 160 \cdot 38}{3600} = 7060Wh \quad (6.1)$$

Kde:

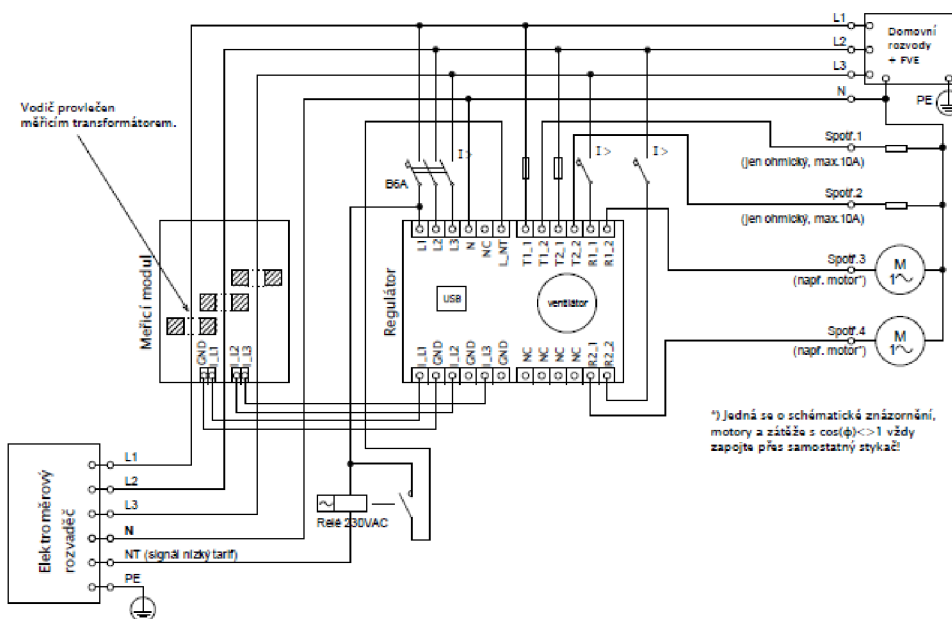
c ... měrná tepelná kapacita vody [$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$],

ΔT ... rozdíl teplot [K],

m ... množství vody [l] (1l=1kg).



Obr. 6.3: Jednofázové zapojení modelu WATTrouter CWx bez obvodu signálu nízkého tarifu (nelze použít program CombiWATT). Měřicí modul zapojen ihned za přívodem z elektroměrového rozvaděče, připojené spotřebiče využívají pouze skutečné přebytky z FVE. Je zapojen pouze 1 ohmický spotřebič, např. bojler. Toto je nejjednodušší zapojení. Zapojení ostatních modelů je analogické, převzato z [24]



Obr. 6.4: Třífázové zapojení modelu WATTrouter CWx s obvodem signálu nízkého tarifu pro program CombiWATT. Měřicí modul zapojen ihned za přívodem z elektroměrového rozvaděče, připojené spotřebiče využívají pouze skutečné přebytky z FVE. Jsou zapojeny všechny 4 spotřebiče, převzato z [24]

Průměrné denní ztráty bojlerů s těmito parametry jsou asi 1,5 kWh, odběrem 160l teplé vody a připočtením tepelných ztrát vychází denní přísun elektrické energie cca na 8,56 kWh. Tyto hodnoty dále nastavíme do programu WATTconfig, jak je znázorněno na obrázku 6.5 Bojler bude připojen na triakový výstup 1 a Wattrouter pracuje se signálem nízkého tarifu [24].



Obr. 6.5: Příklad nastavení programu WATTconfig při zapojení bojleru, převzato z [24]

6.2.3 Elektroměry

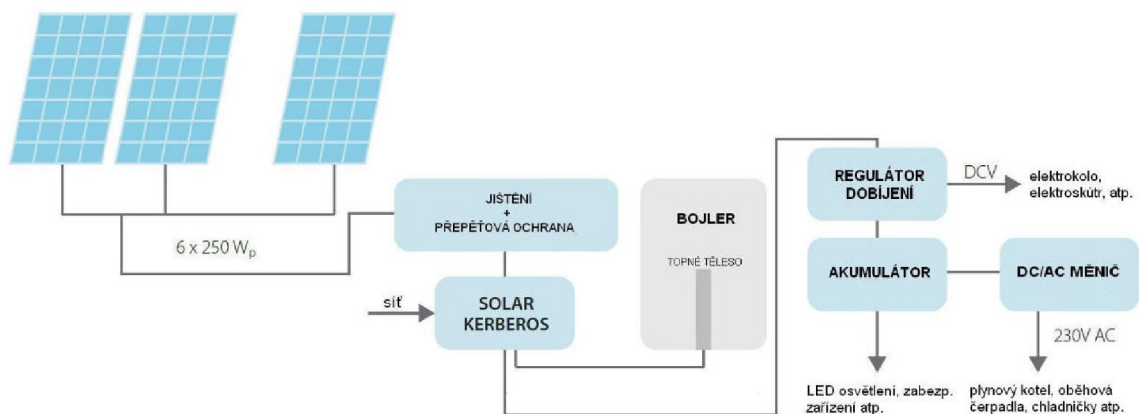
U nových FVE jsou od roku 2012 bez výjimek zaváděny všemi distributory nové elektroměry, které účtují každou fázi samostatně. Zatímco u FVE bez regulace výrazně snižují množství využití vlastní elektřiny v domě, u regulovaných elektráren zase komplikují a prodražují tuto regulaci. Pro optimální regulaci byla dříve postačující jediná poměrně jednoduchá verze regulace, nyní je nutné posoudit celou řadu

kritérií jako je velikost FVE, typy spotřebičů a jejich vliv na symetrii toku elektřiny v jednotlivých fázích, požadovanou velikost využití přebytků v domě a navrhnout vhodné zapojení [25].

6.2.4 Fotovoltaický ohřev vody

Tento způsob slouží k efektivnímu hospodaření s elektrickou energií. Systém využívá kombinaci elektrické energie dodané FV panely s energií ze sítě, aby byl minimalizován odběr ze sítě k zajištění dodávky TUV.

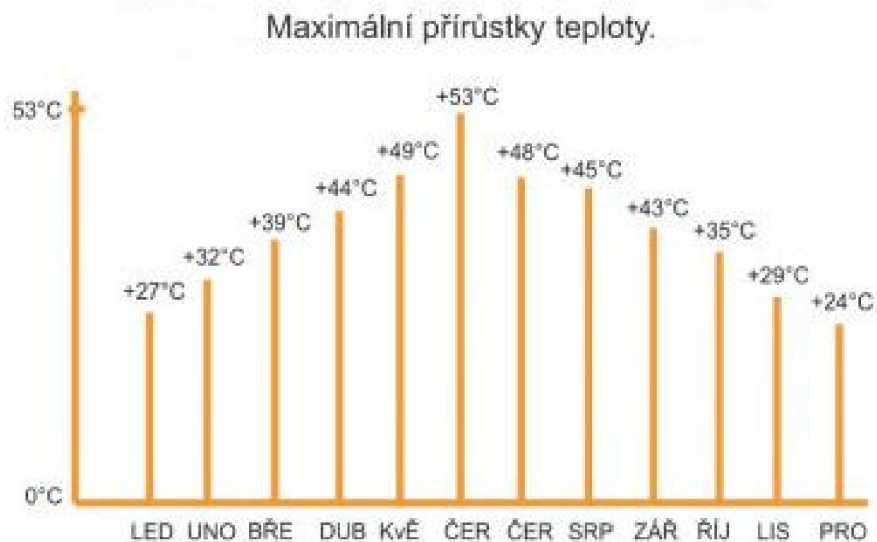
Například systém SOLAR KERBEROS se stará o maximální využití energie dodané FV panely. Hlavní funkcí je zajištění ohřevu TUV s maximální účinností díky DC/DC měniče se sledováním MPP (maximum power point tracking). Tento systém je možné použít téměř s každým bojlerem, není nutné přidávat speciální topné těleso. Od FV panelů vede k bojleru tenký ohebný kabel a systém nepotřebuje oběhová čerpadla, přetlakové ventily což značně zjednodušuje montáž a také celkovou cenu. Přebytky energie je možné pomocí regulátorů využívat také na dobíjení akumulátorů elektrokol, elektroskútrů či akumulátorů záložních zdrojů důležitých spotřebičů viz. schéma zapojení 6.6. Tento systém může být propojen s inteligentními domy či fungovat v ostrovním systému bez síťového napájení [23].



Obr. 6.6: Schéma možného zapojení fotovoltaického ohřevu, převzato z [41]

Lze také použít akumulční ohřevače vody s kombinovaným ohřevem pomocí AC a DC proudu nebo samostatně. Je možné použít jen modifikované přídatné topné spirály, které obsahují tři pro (1-6 kW_p) nebo dvě pro (1-4 kW_p) nezávislé DC spirály. Na obrázku 6.7 můžeme vidět přírůstky teplot v roce. Jde o ohřev 100 litrů vody s připojenými čtyřmi fotovoltaickými panely o výkonu 1 kW_p. Z uvedeného grafu

jde vidět, že za příznivého počasí, lze přehřát vodu o více než 20 °C i během zimního období. Ve většině domácností teplota vody v bojleru neklesá pod 25 °C, takže i v zimě je možné mít vodu nahřátou na více než 45 °C [42].



Obr. 6.7: Maximální přírůstky teploty v jednotlivých měsících roku, převzato z [42]

7 OPTIMALIZACE NABÍJECÍHO A VYBÍJECÍHO PROCESU AKUMULÁTORŮ V SYSTÉMU S OHLEDEM NA ŽIVOTNOST A INVESTIČNÍ NÁKLADY

Obvykle se kapacita akumulátorů volí tak, aby pokryla celkovou vypočítanou spotřebu bez další dodávky včetně ztrát po dobu 3-6 dnů. Pokud se jedná o systém, který je využíváný celoročně dimenzuje se tak, aby do akumulátorů za slunných dní bylo naakumulováno co nejvíce energie. Velikost kapacity akumulátorů má velký vliv na nejvyšší možný proud, který akumulátory mohou dodat spotřebičům. Pokud je nabíjení zajištěno regulátory či MPPT měniči, tak čím menší kapacitu akumulátorů zvolíme, tím více bude pravděpodobně docházet k vybíjení akumulátorů na nižší napětí a tím i ke snižování jejich životnosti [26]. Dále je důležité použít stejný typ baterií, stejné kapacity od stejného výrobce nejlépe ze stejné výrobní série pro celý systém. Rozdílné kapacity nebo rozdílné nabití akumulátorů způsobuje vzájemné vybíjení a nabíjení akumulátorů. Nejčastěji používané typy akumulátorů jsou olověné, nikl-kadmiové, nikl-metalhydridové a lithium-iontové. Ve FV systémech se velmi často používají právě olověné akumulátory mezi které patří startovací, stacionární a bezúdržbové (AGM) akumulátory [17].

7.1 Využitelná kapacita akumulátorů

Kapacita je schopnost akumulátoru dodávat určitou elektrickou energii po určitý časový úsek až do doby než poklesne napětí na minimální přípustnou hodnotu. Využitelná kapacita je tedy vždy menší hodnota než její teoretická hodnota. To je dáno velikostí vybíjecího proudu, teplotou i skutečností, že akumulátory nelze vybíjet na 100%, protože by se tak výrazně zkrátila jejich životnost [18].

S ohledem na další výpočty je dobré zmínit důležitou vlastnost, jako je právě využitelná kapacita akumulátorů. Na posuzování míry dobití se u akumulátorů používá několik ukazatelů.

Množství právě dostupné kapacity akumulátoru udává parametr SOC (State Of Charge), jeho výpočet je znázorněn v rovnici (7.1).

$$SOC = \frac{\text{zbývající kapacita}}{\text{jmenovitá kapacita}} \cdot 100 [\%] \quad (7.1)$$

Hloubku vybití akumulátoru udává parametr DOD (Depth Of Discharge) viz. rovnice (7.2).

$$DOD = (1 - SOC) \cdot 100 [\%] \quad (7.2)$$

Životnost nebo-li technický stav akumulátoru udává parametr SOH (State Of Health) viz. rovnice (7.3).

$$SOH = \frac{\text{maximální kapacita používaného akumulátoru}}{\text{maximální kapacita nového akumulátoru}} \cdot 100 [\%] \quad (7.3)$$

Baterie jsou poměrně citlivé na hluboká vybití, často však rapidně zkracuje životnost i časté přebíjení do maxima kapacity a tím se opět snižuje počet nabíjecí a vybíjecích cyklů, proto je vhodné používat regulátory dobíjení, které chrání horní hranici dobíjení, tak i dolní hranici při vybíjení. Tím se celková využitelná kapacita akumulátorů zmenší o tyto meze. Dále můžeme použít BMS (Battery Management System - systém řízení baterií) tzv. balancéry, které jsou určeny pro vyrovnávání napětí mezi jednotlivými články [27].

7.2 Výběr akumulátorů

Akumulátory pro FV systémy by měli splňovat tyto požadavky:

- minimální samovybíjení,
- vhodnost pro cyklický provoz,
- odolnost proti hlubokému vybití,
- minimální údržba,
- dlouhá životnost,
- vysoká energetická účinnost.

Těmto požadavkům vyhovují nejvíce bezúdržbové VRLA (ventilem řízené), stacionární a lithium - železo - fosfátové akumulátory.

7.2.1 Startovací akumulátory

Jedná se o klasické automobilové baterie. Při vývoji byl kladen důraz na malé rozměry, malou hmotnost a cenu. Jedná se o údržbový akumulátor, který uvolňuje vodík a hrozí únik elektrolytu při převrácení. Dokáže dodávat velký proud, ale jen po krátkou dobu, to je způsobeno velkým počtem tenkých destiček tvořící velkou plochu. V automobilech nedochází k hlubokému vybíjení, nastartováním je odebráno méně než 10% jmenovité kapacity. Jejich nevýhodou je, že snesou malý počet nabíjecích a vybíjecích cyklů a poškodí se při hlubokém vybití, pokud nedojde k rychlému nabití. Mají značné samovybíjení (až 20%/měsíc) a malou využitelnou kapacitu. Proto jsou tyto akumulátory nevhodné pro celoroční provoz u FV systémů.

7.2.2 Trakční akumulátory

Jsou určeny k napájení přenosných zařízení, elektrických vozíků, atd. Při tomto použití se očekává úplné vybití, které se bude často opakovat. Jejich maximální proud a výkon v porovnání se startovacími akumulátory je mnohem nižší. Zde se maximální proud již neudává. Klasicky jsou vybíjeny proudy o velikosti desetin jmenovité kapacity.

7.2.3 VRLA akumulátory

VRLA (Valve Regulated Lead Acid) jsou bezúdržbové, uzavřené, olovené akumulátory obsahující přetlakový ventil pro regulaci vnitřního tlaku. Mají k dispozici větší využitelnou kapacitu při stejné hmotnosti, pomalejší samovybíjení, vydrží bez poškození i delší hluboké vybití. Jsou vyrobeny pro dlouhodobý odběr menšího proudu, proto jsou vhodné pro FV systémy.

VRLA akumulátory se dělí na gelové, které jsou téměř shodné s údržbovým typem, ale elektrolyt tvoří hustý gel a AGM (absorber glass material), u kterých je elektrolyt nasáklý do skelné tkaniny mezi deskami akumulátoru. Porovnáním zjistíme, že AMG podávají vysoký výkon při nízkých teplotách a až o 30% vyšší okamžitý výkon. Při stejné kapacitě jsou o 10% lehčí než gelové. Gelové však dosahují o 10% delší životnosti a odolávají hlubokému vybití, při odstávce také pomaleji ztrácejí svoji kapacitu.

7.2.4 Solární akumulátory

Jsou vylepšené verze startovacích akumulátorů. Mají zesílené elektrodové desky, proto je jejich počet cyklů dvakrát až třikrát větší než u startovacích akumulátorů a tím i o to delší životnost. Dále mají menší samovybíjení a to o 2 až 10 % za měsíc, jejich cena je také přiměřená. Používají se tam, kde je malá spotřeba jako jsou chaty, karavany, atd.

7.2.5 Stacionární akumulátory

Mají mohutnou konstrukci, jejich elektrody tvoří tlusté pancéřované desky a díky nim dobře snášejí hluboké vybití. Vydrží velký počet vybíjecích a nabíjecích cyklů. Jejich životnost dosahuje až 20let. Nevýhodami jsou: nutnost větrání v prostoru umístění, vyšší cena a velká hmotnost.

7.2.6 Lithium železo fosfátové (LiFePo) akumulátory

Pro akumulaci využívají lithium. Katoda je tvořena fosforečnanem železnato - litným a anoda uhlíkem. Obsahují jednosměrný ventil umožňující unik plynů. Oproti olověným akumulátorům disponují těmito výhodami: vyšší hustotou energie (Wh/g), vyšší cykličností, proudovou zatížitelností a rychlejším nabíjením. Můžeme je nechat zcela vybit a ponechat je několik dní částečně vybité bez snížení jejich životnosti. Tím lze využít celou kapacitu akumulátoru.

Kdežto olověné akumulátory můžeme vybit pouze částečně, protože maximální hranice vybíjení je okolo 60%. Optimálně by měli být při každodenním provozu vybíjeny pouze z jedné třetiny, jinak se snižuje jejich životnost. Pokud tedy chceme z olověného akumulátoru spotřebovat každý den 1 kWh elektrické energie (83 Ah z 12 V baterie), pak musíme mít baterii s nominální kapacitou 250 Ah [17].

7.3 Životnost vybraných akumulátorů s ohledem na hloubku vybíjení

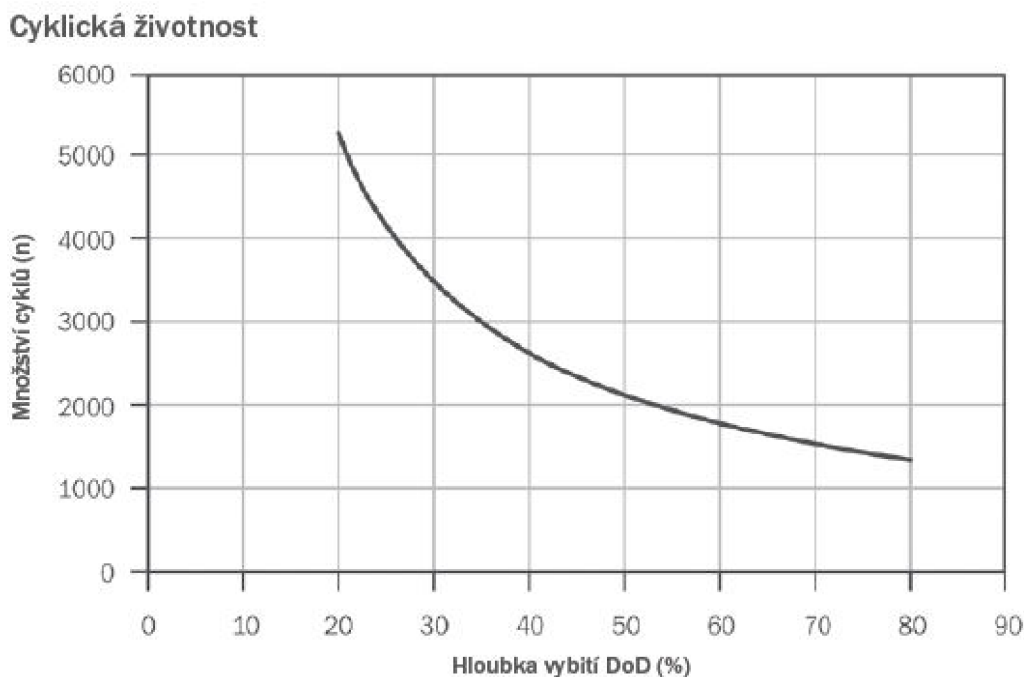
7.3.1 Článek LiFeYPO₄

Jde o lithiový článek se jmenovitým napětím 3,2 V. Katoda je s příměsí yttria, tedy LiFeYPO₄. K sestavení akumulátoru o napětí 24 V je nutné nakoupit 4 tyto články. Samotný článek má jmenovitou kapacitu $C_n = 90$ Ah, která s rostoucím vybíjecím proudem neklesá a to je značná výhoda oproti olověným akumulátorům. Využitelná kapacita klesá pod 100% až s vybíjecím proudem vyšším než $I = 1C_n = 90$ A. Článek by se měl vybit optimálním proudem $I_v = 0,5C_n = 45$ A, proto lze pokles kapacity v tomto případě zanedbat. Jak již bylo dříve napsáno na kapacitu článku má také vliv okolní teplota, při které se provozuje. Optimální teplota tohoto článku je 25 °C. S poklesem teploty klesá i kapacita, např. při - 45 °C je stále nad 80% jmenovité kapacity. Tyto lithiové články dosahují dobré životnosti a to až 5000 cyklů při hloubce vybíjení 80%. Což odpovídá životnosti okolo 14 let při uvažování jednoho cyklu na den. V příloze C.1 nalezneme parametry uvedené výrobcem, ten udává optimální vybíjecí a nabíjecí proud 45 A. Maximální nabíjecí proud je 90 A [30].

7.3.2 OPzV

Jedná se o solární olověné akumulátory německého výrobce Hoppecky. Tyto OPzV ventilem řízené akumulátory jsou plněny gelovým elektrolytem, jde tedy o bezúdržbové akumulátory vyvinuté pro použití v ostrovních či hybridních systémech a jsou

dobře odolné cyklickému provozu, vhodné i pro náročné aplikace s denním vybíjením. Elektrody a aktivní hmota jsou navrženy tak, aby se baterie mohla začít vybíjet i ve stavu částečného nabití. Jejich životnost při 80% vybíjení se pohybuje okolo 1400 cyklů, jak můžeme vidět na obrázku 7.1. To odpovídá přibližně čtyřem rokům životnosti při jednom cyklu denně. Další parametry lze nalézt v technickém listu od výrobce uvedené v příloze C.3.

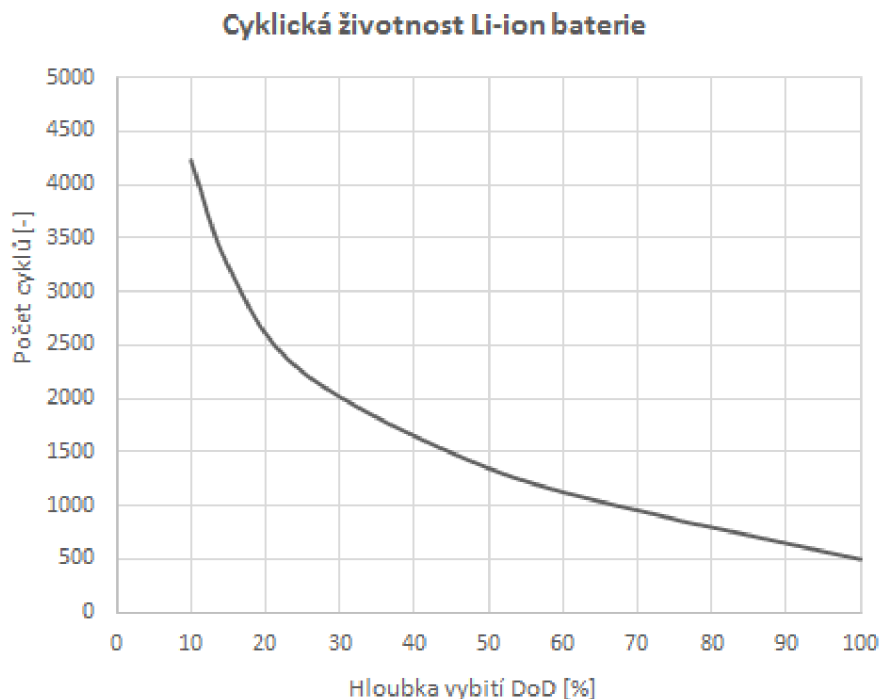


Obr. 7.1: Cyklická životnost při různých hloubkách vybíjení solární baterie Hoppecke OPzV 12 V bloc solar. power 180, převzato z [29]

7.3.3 Li-ion včetně BMS

Lithium iontové akumulátory s vestavěnými balancéry a monitoringem iON Storage, fungují na bázi cylindrických článků SONY. Stejný způsob sestavení a princip používá i elektromobil Tesla. Díky integrovanému BMS (Battery Management System – systém řízení baterie) výrobce garantuje bezproblémovou funkčnost při dodržení provozních parametrů (viz. příloha C.2) až na 5 let. Cyklickou životnost udává 4000 cyklů při 90% DoD. Pomocí BMS v baterii dochází k automatickému odpojování výstupních kontaktů při dosažení plného nabití či vybití. Baterii tak není možné poškodit. Baterie je možné spojovat do větších celků s napětím 24 V nebo 48 V a kapacitou až do výkonu 32 kWh. Velkou výhodou je stupeň krytí IP67 celé baterie včetně BMS

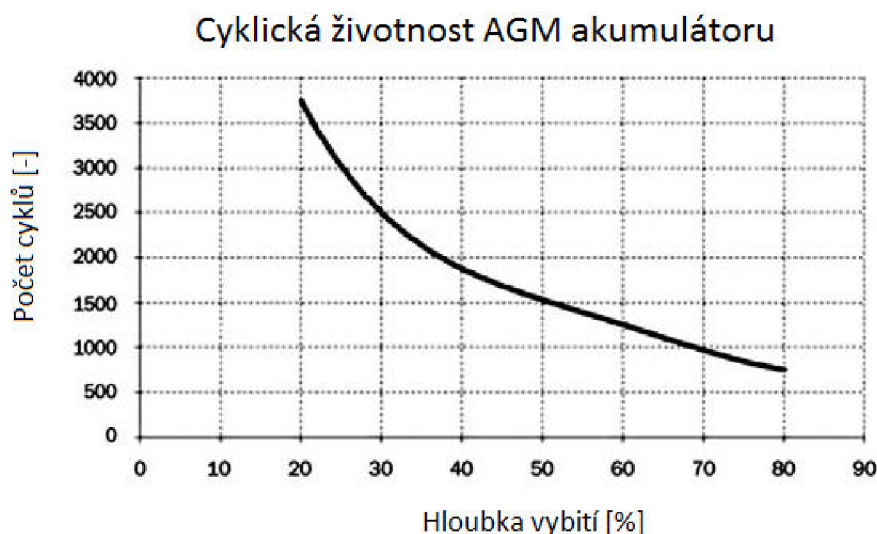
[30]. Velký vliv na životnost těchto akumulátorů má právě systém BMS, protože jak můžeme vidět na obrázku 7.2, baterie bez tohoto systému dosahují životnosti pouze kolem 700 cyklů při 90% DoD.



Obr. 7.2: Cyklická životnost při různých hloubkách vybíjení pro Li-ion baterie, převzato z [31]

7.3.4 AGM

Jedná se opět o ventilem řízené bezúdržbové solární olověné AGM akumulátory německého výrobce Hoppecky určené pro použití v solárních systémech. Od běžných autobaterií se liší vyšší cenou, větší cyklickou odolností v solárním systému. U typu s označením Hoppecke 150 Ah Solar.bloc 12 V je výrobcem udávána cyklická životnost 1700 cyklů při 40% vybíjení, jak můžeme také vidět na obrázku 7.3. To odpovídá životnosti kolem 5 let při jednom cyklu denně. Další technické parametry jsou uvedeny v příloze C.4 [29].



Obr. 7.3: Počet cyklů při různých hloubkách vybití pro olověný ventilem řízený AGM akumulátor, převzato z [29]

7.4 Řazení akumulátorů do větších celků

Akumulátory můžeme spojovat sériově, paralelně či sérioparalelně. Sériové zapojení poskytuje vyšší napětí a paralelní zase větší proud a kapacitu. V solárních ostrovních systémech se akumulátory spojují obvykle sérioparalelně, kdy dosáhneme možnost zvýšení napětí systému s možností odběru vyššího proudu. Vždy je snaha celkový počet akumulátorů omezit na co nejmenší. Pro zvýšení kapacity se tedy akumulátory řadí paralelně a zásadní je používat vždy stejné kapacity, typu, výrobní série a stejného výrobce [26].

7.5 Dimenzování akumulátorů a volba měniče

Jelikož se jedná o On-grid systém, kdy je dům stále připojen k distribuční síti a v případě nedostatku odebírá elektrickou energii ze sítě nemusíme systém dimenzovat, aby byl schopen pokrýt spotřebu RD například na 6 dní, jako je tomu zvykem u ostrovních systémů. V našem případě potřebujeme uchovat elektrickou energii, kterou je schopna FVE vyrobit přes den a večer nejlépe v době vysokého tarifu ji následně spotřebovat a tím pokrýt spotřebu. S ohledem na toto použití je uvažován jeden cyklus nabití, vybití denně. Pro naše potřeby bude tedy ideální akumulátor s velkým počtem cyklů a schopností dobře snášet hluboké vybití a mít co nejmenší samovybití, aby vydržel co nejdéle plný stav nabití s minimálními ztrátami.

Z předešlé kapitoly o predikci výroby a spotřeby elektrické energie RD viz. přílohy B.1 a B.2 víme, že FVE vyrobí denně přibližně 15 kWh z toho v letních měsících (květen - srpen) okolo 20 kWh a v zimních měsících (září - duben) okolo 10 kWh elektrické energie. Dále vím, že letní spotřeba o víkendu v době po západu slunce je přibližně 3 kWh a ve všední den 2 kWh. Zimní spotřeba o víkendu je přibližně 10 kWh a ve všední den 12 kWh. Dále musíme brát v úvahu hloubku vybíjení, která určuje dobu životnosti a dostupnou kapacitu. Například pokud budeme akumulátory vybíjet na 50%, dostupná kapacita se nám sníží na polovinu.

Akumulátory tedy budeme dimenzovat na celkovou elektrickou energii 8 kWh s přihlédnutím na celkovou pořizovací cenu, jak akumulátorů, tak potřebného AC/DC hybridního měniče. Průměrná dostupná elektrická energie při 80% vybíjení bude 6,4 kWh.

Se stoupajícím systémovým napětím baterií klesají ztráty v rozvodech a při dimenzování potom volíme více článků s menší kapacitou. Pro menší systémy se používá napětí 12 V, pro větší potom napětí 24 V nebo 48 V.

Jestliže tedy zvolíme 48 V systém bude potřebná kapacita akumulátorů 167 Ah ($8 \text{ kWh} / 48 \text{ V} = 167 \text{ Ah}$) a v případě, že jeden akumulátor bude mít napětí 12 V a jmenovitou kapacitu 90 Ah, tak pro sérioparalelní zapojení bude nutné použít 8 kusů (2 paralelní větve a v každé 4 sériově zapojené akumulátory). Potom celková kapacita akumulátorů bude 180 Ah (2 paralelní větve a každá má kapacitu 90 Ah).

Jako vhodný pro naše účely a podle nadimenzovaného výkonu baterií byl vybrán měnič Victron Quattro 48 V 8000VA sinus. Jedná se o sofistikovanou AC - DC nabíječku akumulátorů a DC - AC střídač (měnič, invertor) s dvěma AC vstupy, čistě sinusovým napětím a rychlým přepínačem mezi sítí (generátorem) a akumulátory. Garantovaná záruka od výrobce je 5 let. Dva AC vstupy jsou navzájem nezávislé, jako síť a generátor. Zařízení je schopno se připojit ke zdroji, který je zrovna k dispozici. Dva AC výstupy, kdy hlavní výstup je vybaven funkcí zajišťující dodávku bez přerušování, tak že převezme napájení spotřebičů v případě výpadku sítě nebo generátoru. Druhý výstup je pod napětím pouze tehdy, když je AC k dispozici na jednom ze vstupů.

Tento měnič také plní funkci silné nabíječky akumulátorů, která je schopna odebírat ze sítě až 16 A při 230 V na straně střídavého proudu. Maximální nabíjecí DC proud je 140 A. Obsahuje dva výstupy pro nabíjení akumulátorů, které jsou řízeny třístupňovým automatickým procesem dobíjení, tak aby vyhovoval různým stavům a typům akumulátorů. Jeho maximální účinnost je 95%. Další technické parametry jsou uvedeny v příloze D. Cena včetně DPH je 95 825 Kč [30]. Tento měnič patří mezi cenově dražší, vyhovuje však našim požadavkům a zamýšlenému způsobu použití a zakomponování do již fungujícího systému.

8 EKONOMICKÉ VYČÍSLENÍ HODNOTY AKUMULOVANÉ ELEKTŘINY V ZÁVISLOSTI NA RŮZNÝCH PARAMETRECH

Akumulátory lze porovnávat nejen podle celé řady parametrů, ale také je lze srovnávat z pohledu nákladů na kilowatthodinu [kWh] odebrané elektrické energie. Zde uvedené porovnání nejčastěji používaných typů akumulátorů (tabulka 8.2 a 8.3) zahrnuje účinnost akumulace elektrické energie pouze samotného akumulčního cyklu pro cyklickou životnost akumulátorů při 50% a 80% DoD (hloubce vybíjení). Aby byl výpočet co nejpresnější měl by však zahrnovat celou řadu různých faktorů, jako je provozní teplota, samovybíjení a také způsob používání.

Energetická účinnost nabíjecího, vybíjecího procesu je důležitý parametr při určování celkové účinnosti systému, kterého je akumulátor součástí. Je závislá na elektrochemické účinnosti daného typu akumulátoru. Její hodnoty jsou pro jednotlivé druhy akumulátorů uvedeny v tabulce 8.1. Hodnoty jsou dány základními principy akumulátorů. Vyšší či nižší hodnoty lze dosáhnout nabíjením bez či s napětovým omezením, proto jsou v této tabulce uvedeny minima a maxima v závislosti na DoD. Účinnost nabíjení lze také zvýšit úpravou aktivní hmoty kladné nebo záporné elektrody, tak aby došlo ke zvětšení aktivního povrchu elektrod [28].

Tab. 8.1: Mezní hranice energetické účinnosti nabíjecího, vybíjecího procesu různých akumulátorů, převzato z [28]

Typ akumulátoru	LiFePo ₄	Pb	NiCd	NiMH	NaS	VRB
η [%]	85 - 95	60 - 91	65 - 85	65 - 85	75 - 83	60 - 80

Tab. 8.2: Porovnání ceny za 1 kWh u různých typů akumulátorů při 50% DoD, parametry převzaty z [30], [29]

Typ akumulátoru	LiFePo ₄	LiFeYPO ₄	Pb OPzV	Pb AGM	Li-ion vč. BMS
Kapacita [Ah]	90	90	180	150	108
Napětí [V]	3,2	12	12	12	24
Počet cyklů při 50 % DOD	7000	7000	2200	1500	7000
Cena včetně DPH [Kč]	3990	16950	21191	10766	44780
Cena za 1 kWh při η_{SH} [Kč]	2,33	2,64	6,86	6,13	3,80
Cena za 1 kWh při η_{HH} [Kč]	2,08	2,36	5,25	4,69	2,90
Cena za 1 kWh [Kč]	2,21	2,50	6,05	5,41	3,35

Tab. 8.3: Porovnání ceny za 1 kWh u různých typů akumulátorů při 80% DoD, parametry převzaty z [30], [29]

Typ akumulátoru	LiFePo ₄	LiFeYPO ₄	Pb OPzV	Pb AGM	Li-ion vč. BMS
Kapacita [Ah]	90	90	180	150	108
Napětí [V]	3,2	12	12	12	24
Počet cyklů při 80 % DOD	5000	5000	1400	700	5000
Cena včetně DPH [Kč]	3990	16950	21191	10766	44780
Cena za 1 kWh při η_{SH} [Kč]	3,26	3,69	10,78	13,15	5,32
Cena za 1 kWh při η_{HH} [Kč]	2,92	3,30	8,24	10,05	4,06
Cena za 1 kWh [Kč]	3,09	3,50	9,51	11,60	4,69

Cena za 1 kWh odebrané elektrické energie z akumulátorů byla vypočtena z ceny akumulátoru, jeho jmenovité kapacity, jmenovitého napětí a počtu cyklů. Do výpočtu byla zahrnuta energetická účinnost nabíjecího, vybíjecího cyklu v krajních mezích (η_{SH} - účinnost spodní hranice, η_{HH} - účinnost horní hranice). Vzorec pro výpočet ceny za 1 kWh je uveden v rovnici (8.1).

$$Cena\ za\ 1\ kWh = \frac{Cena[Kč]}{C_n[Ah] \cdot U_n[V] \cdot \left(\frac{počet\ cyklů}{1000} \right) \cdot \left(\frac{\eta_{SH}}{100} \right)} \quad (8.1)$$

Kde:

U_n ... napětí akumulátoru,

C_n ... kapacita akumulátoru,

η_{SH} ... spodní hranice energetické účinnosti.

Z výše uvedeného porovnání ceny za 1 kWh vyplývá, že i přes vyšší počáteční investici je pro náš náročný cyklický provoz nejvhodnější některý z lithiových akumulátorů s katodou LiFePo₄ či LiFeYPO₄. To je dáno především jejich vysokou cyklickou odolností. Z tabulek dále vyplývá, že je výhodnější akumulátory provozovat s nižší hloubkou vybíjení. Naopak u olověných akumulátorů, které mají nižší pořizovací náklady vyšla cena za 1 kWh elektrické energie nejvyšší, konkrétně u OPzV akumulátoru.

Dále bylo v tabulce 8.4 provedeno porovnání ceny za 1 kWh lithiových akumulátorů při jejich různých kapacitách. Z tabulky vyplývá, že levnější cen za 1 kWh dosahují 3,2 V články s vyšší kapacitou, u 12 V baterií je tomu naopak. Jako optimální se jeví použití právě námi již dříve vybraný článek se jmenovitou kapacitou 90 Ah o napětí 3,2 V nebo baterie o napětí 12 V.

Většina uživatelů lithiových akumulátorů LiFePo₄ používá z důvodu ochrany článků před jejich přebíjením různých balančních obvodů. A to především protože v situaci, kdy jeden z článků při nabíjení konstantním proudem dosáhne svého nastaveného maxima napětí (většinou 3,6 V na článek), ostatní články se stále ještě

Tab. 8.4: Porovnání ceny za 1 kWh u článku LiFePo₄ a akumulátoru LiFeYPO₄ při 80% DoD, parametry převzaty z [30]

Typ článku/akumulátoru	LiFePo ₄	LiFeYPO ₄	LiFePo ₄	LiFeYPO ₄	LiFePo ₄	LiFeYPO ₄	LiFePo ₄	LiFePo ₄	LiFePo ₄	LiFePo ₄
Kapacita [Ah]	40	40	60	60	90	90	100	200	300	400
Napětí [V]	3,2	12	3,2	12	3,2	12	3,2	3,2	3,2	3,2
Počet cyklů při 80 % DOD	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000
Cena včetně DPH [Kč]	1790	7290	2690	10990	3990	16950	4490	8990	12900	16990
Cena za 1 kWh při η_{SH} [Kč]	3,29	3,57	3,30	3,59	3,26	3,69	3,30	3,31	3,16	3,12
Cena za 1 kWh při η_{HH} [Kč]	2,94	3,20	2,95	3,21	2,92	3,30	2,95	2,96	2,83	2,79
Cena za 1 kWh [Kč]	3,12	3,39	3,12	3,40	3,09	3,50	3,13	3,13	3,00	2,96

nabíjí, tak dochází k jeho přebíjení a zkracování životnosti. Použitím různých balancérů dochází k nasměrování proudu do odporové zátěže, která je paralelně připojena ke každému článku. Použití balancérů však není nutné, protože články lze udržet vybalancované nastavením nižší hodnoty maximálního nabíjecího napětí.

8.1 Výpočet celkově uložené energie za životnost článku

Jako další možnost srovnání některých vybraných typů akumulátorů je pomocí celkové energie, kterou lze do akumulátorů uložit za dobu jejich životnosti. viz tabulka 8.5. Toto množství celkové energie je spíše orientační, protože výpočet je zjednodušen tak, že se neuvažuje změna napětí ani kapacity v průběhu stárnutí akumulátoru. Počty cyklické životnosti pro různé hodnoty DoD byly odečteny z obrázků grafů pro olověné akumulátory OPzV (obrázek 7.1), AGM (obrázek 7.3) a ostatní parametry jsou použity stejné, jako výše uvedené pro daný typ akumulátoru. Vzorec pro výpočet celkově uložené energie za životnost článku najdeme v rovnici (8.2). Pro přiblížení se reálnějším, tedy nižším celkovým hodnotám uložené energie je do výpočtu zahrnuta průměrná účinnost nabíjecího a vybíjecího cyklu z tabulky 8.1.

$$Uložená\ energie[kWh] = U_n[V] \cdot C_n[Ah] \cdot \left(\frac{\text{počet cyklů}}{1000} \right) \cdot \left(\frac{DoD[\%]}{100} \right) \cdot \left(\frac{\eta[\%]}{100} \right) \quad (8.2)$$

Kde:

- U_n ... jmenovité napětí akumulátoru,
- C_n ... jmenovitá kapacita akumulátoru,
- DoD ... hloubka vybíjení,
- η ... energetická účinnosti.

Tab. 8.5: Porovnání celkově uložené energie do akumulátorů při různých DoD, parametry převzaty z [30], [29]

Typ	Kapacita [Ah]	Napětí [V]	Účinnost [%]	DoD [%]	20	30	40	50	60	70	80
Pb OPzV	180	12	75	Počet cyklů	5000	3500	2600	2100	1800	1600	1400
				Energie [kWh]	1620	1701	1685	1701	1750	1814	1814
Pb AGM	150	12	75	Počet cyklů	3700	2500	1700	1500	1200	1000	700
				Energie [kWh]	999	1013	918	1013	972	945	756
LiFeYPO ₄	90	12	90	Počet cyklů	-	-	-	8000	-	-	5000
				Energie [kWh]	-	-	-	3888	-	-	3888

Z porovnání dosažených výsledků v tabulce 8.5 vyplývá, že nejvíce energie lze uložit do lithiového akumulátoru, i když má nejmenší kapacitu. To je způsobeno opět především jejich dlouhou cyklickou životností. U tohoto typu byl výpočet proveden pouze pro dané 50% a 80% DoD a to z důvodu toho, že výrobci přímo neudávají graf cyklické životnosti, jako je tomu u dalších porovnávaných akumulátorů. A určení z ostatních udávaných charakteristik je značně komplikované.

8.2 Ekonomická analýza

Z výše uvedených porovnání vyplývá, že nejvhodnější je použít některý z LiFePo akumulátorů. Vybrán byl u nás dostupný LiFeYPO₄ akumulátor o napětí 12 V se jmenovitou kapacitou 90 Ah. Další parametry, které udává výrobce jsou uvedeny v příloze C.1. Jeho životnost je dána 5000 cykly při 80% DoD, při předpokladu jednoho cyklu denně je životnost okolo 14 let. Cena včetně DPH je 15 654 Kč [32]. Jak již bylo uvedeno těchto akumulátorů využijeme 8 kusů. Celková investice do akumulátorů potom bude 125 232 Kč.

Pro následnou cenovou rozvalu o úspoře využijeme zjednodušený výpočet. Po započtení ceny měniče (95 825 Kč) se dostáváme na počáteční investici 221 057 Kč bez uvažování dalšího příslušenství (kabel k bateriím, spojky a další elektromateriál).

Seznam položek:

- akumulátor LiFeYPO₄ (8ks): 125 232 Kč
- měnič Victron Quattro 48 V 8000VA: 95 825 Kč
- celkové náklady: 221 057 Kč

Jak bylo dříve zjištěno, celková energie kterou je možno uložit za životnost baterie při 80% DoD je 3888 kWh. Po započtení 90% účinnosti měniče a 5% ztrát na kabelech dostáváme přibližně 3509 kWh. Vynásobením počtem použitých 8 kusů dostaneme energii 28 072 kWh, kterou můžeme do všech baterií uložit za dobu jejich životnosti.

Přehled celkové energie, kterou můžeme uložit do akumulátoru za jeho životnosti při 80% DoD:

- pro jeden akumulátor 3 509 kWh,
- pro navržený počet 8 akumulátorů 28 072 kWh.

Z cenového kalkulátoru dostupného na internetových stránkách ERU [12] byly zjištěny ceny za 1 kWh spotřebované elektrické energie u dodavatele E.ON Energie, a.s. pro sazbu D45d:

- cena vysokého tarifu 2,912 Kč/ kWh,
- cena nízkého tarifu 2,217 Kč/ kWh,
- stálý plat 370,26 Kč/ měsíc, ceny jsou udávány včetně DPH.

Roční platba za elektřinu se skládá ze čtyř složek:

- platba za silovou elektřinu,
- platba za distribuci,
- platba ze ekologickou daň,
- ostatní regulované služby.

8.2.1 Zhodnocení úspory

Odhad spotřeby elektrické energie RD mimo dobu osvitu je:

- za letní období je 312,42 kWh (123 dní x 2,54 kWh = 312,42 kWh)
- za zimním období je 2545,84 kWh (242 dní x 10,52 kWh = 2545,84 kWh)

Z předešlých bodů stanovíme odhad průměrné spotřeby elektrické energie RD mimo dobu osvitu na 2858,26 kWh.

Dále víme, že roční uložená energie do akumulátorů:

- je 2005,14 kWh ($28072/14 = 2005,14$ kWh).

Můžeme tedy spočítat, že roční zisk neboli úspora za elektřinu, kterou jsme uložili do akumulátorů z FVE a nemusela tak být nakoupena v případě NT za 2,217 Kč/kWh je:

- 4445,4 Kč ($2005,14 \text{ kWh} \times 2,217 \text{ Kč/ kWh}$).

Dobu návratnosti okolo 50 let dostaneme podělením investičních nákladů (221 057 Kč) úsporou za elektřinu (4445,4 Kč). Při životnosti zvolených baterií 14 let je pořízení takto nakonfigurovaného systému zcela nevýhodné a není nutné tedy počítat zhodnocení efektivnosti investice pomocí různých metod.

8.2.2 Zhodnocení optimalizace

Pomocí jednoduchého výpočtu bylo určeno, že akumulátory jsou schopny pokrýt kolem 70% spotřeby RD v době mimo sluneční osvit (po setmění). V tabulce 8.6 můžeme vidět zvýšení procentní spotřeby elektrické energie vyrobené FV elektrárnou v domě. Optimalizací pomocí akumulátorů tak bylo dosaženo zvýšení využití vyrobené elektrické energie z FVE přibližně o 40%.

Tab. 8.6: Porovnání procentní spotřeby v domě před a po optimalizaci pomocí akumulátorů

Rok			Bez akumulace		S akumulací	
			2013	2014	2013	2014
Spotřeba	VT	[kWh]	640	933	640	933
	NT		5309	4620	5309	4620
	VT+NT		5949	5553	5949	5553
Výroba (zelený bonus)			5160	5325	5160	5325
Dodávka do sítě			3538	3918	1533	1913
Spotřeba z FVE (výr-dod)			1622	1407	3627	3412
Procentní spotřeba z FVE v domě			31,43	26,42	70,29	64,08

9 ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce byl návrh optimalizace spotřeby elektrické energie z fotovoltaické elektrárny. Práce je zaměřena na možnosti optimalizace spotřeby rodinného domu využívajícího elektřinu z fotovoltaické elektrárny a pracující paralelně se sítí.

Tato diplomová práce byla rozdělena do kapitol, ve kterých je postupně řešen teoretický základ pro následné možnosti optimalizace. Nejprve bylo provedeno seznámení s historií a teoretickými možnostmi sluneční energie, kterých vůbec lze v našich podmínkách dosáhnout. Byl vysvětlen fotovoltaický jev, složení fotovoltaického článku a v něm probíhající základní principy, kde byly také popsány možnosti připojení a složení fotovoltaického systému.

Následovalo krátké pojednání o typech záložních zdrojů, jejich rozdělení, popis a možnosti zapojení.

Obsáhlejší kapitolou byly akumulátory, kde jsou popsány jednotlivé typy používaných sekundárních článků. Je zde uvedeno jejich základní rozdělení a ukazatele pro uchování energie. Podrobněji je popsán princip funkce nejpoužívanějšího olověného akumulátoru. Dále jsou zde popsány baterie na základě novějších technologií, ke kterým patří průtokové baterie.

V další kapitole jsem se zabýval možnostmi predikce výroby a spotřeby elektrické energie. Výroba závisí především na aktuálním počasí a jeho krátkodobé předpovědi. Dále existuje dlouhodobá předpověď, ke které slouží výpočetní programy, jako je PVGIS. A právě pro tento program bylo provedeno porovnání s naměřenými daty pro zjištění důvěryhodnosti tohoto nejčastěji používaného programu.

Pomocí naměřených hodnot z posledních dvou let byla průměrná roční výroba elektrické energie instalovaného fotovoltaického systému (5 kWp) stanovena na 14 kWh a celková spotřeba RD na 16 kWh. Z toho průměrné využití elektrické energie v domácnosti bylo 29 %.

Pro možnost optimalizace bylo nutné určit odběr jednotlivých spotřebičů, což bylo provedeno u některých spotřebičů pomocí zásuvkového elektroměru. U jiných, jako například u bojleru pomocí výpočtu. Bylo vypočteno, že ohřev celého bojleru (147 l, 2000 W) u dané domácnosti trvá více než 3 hodiny a spotřebuje se 6,6 kWh elektrické energie, což tvoří největší položku ve spotřebě domu. Při zjišťování doby chodu spotřebičů jsem vycházel z návyků posuzované domácnosti. Za tímto účelem byly vypracovány tabulky doby chodu jednotlivých spotřebičů pro různé časy a období, které nalezneme v příloze. Z těchto tabulek byly stanoveny hodnoty denní spotřeby elektrické energie a to v době osvětlení i mimo něj pro letní a zimní období v pracovní a víkendový den. Z těchto hodnot se dále vycházelo při návrhu potřebné kapacity baterií.

V předešlé kapitole byl z analýzy spotřeby RD zjištěn poměrně velký příkon světelných zdrojů a to 1400 W. V kapitole o optimalizaci byla uvedena skladba světelných zdrojů a k nim byly vybrány nové úspornější zdroje s přihlédnutím na poměr mezi investicí, která byla 3112,12 Kč a nižší spotřebou. Po optimalizaci byl příkon všech světelných zdrojů podstatně snížen na 384 W. Jako další optimalizační krok byl popsán již v předešlé kapitole, kdy byl přesunut čas ohřívání bojleru z nočních hodin na odpolední časy nízkého tarifu, kdy je pravděpodobnost největší výroby elektrické energie z FVE a přebytků. V části řízení spotřebičů byly popsány různé systémy, ale především zde byl podrobně popsán Wattrouter, jeho výhody, funkce a možné způsoby zapojení.

V další kapitole bylo pojednáno o vlivech na životnost akumulátorů a zjišťování technického stavu baterií podle dostupné kapacity. Dále zde byly popsány požadavky akumulátorů pro využití ve FV systémech. U jednotlivých baterií byly uvedeny jejich výhody, nevýhody a vhodnost použití s ohledem na jejich životnost v závislosti na hloubce vybíjení. Dále bylo provedeno dimenzování akumulátorů pro použití v analyzovaném domě s ohledem na již předem uvedenou spotřebu elektrické energie po západu slunce. Předběžně byla potřebná kapacita akumulátorů stanovena na 180 Ah. Při volbě 48 V systému a předpokladu akumulátoru o napětí 12 V a kapacitě 90Ah bude v sérioparalelním zapojení využito 8 kusů. Výběr přesného typu bude popsán v další kapitole. Jako měnič byl vybrán hybridní Victron Quattro 48 V 8000 VA za cenu 95 825 Kč, který je poměrně drahý, ale jako jeden z mála odpovídal zamýšlené představě použití v již stávajícím systému bez nutnosti větších úprav.

V poslední kapitole bylo provedeno ekonomické porovnání různých typů akumulátorů s ohledem na cenu za 1 kWh v závislosti na různých stavech hloubky vybití. Z porovnání vyplývá, že nejlepší z šesti porovnávaných akumulátorů je článek LiFePo₄, který má cenu za 1 kWh při 50% DoD 2,21 Kč a při 80% DoD 3,09 Kč. Z toho dále můžeme potvrdit, že je výhodnější provoz akumulčního systému při nižších hloubkách vybíjení. Jako další možnost srovnání byl proveden výpočet celkově uložené energie za životnost článku při různých DoD. Z porovnání vychází nejlépe opět akumulátor LiFePo₄ do kterého je možno naakumulovat za dobu jeho životnosti při 80% DoD elektrickou energii po započtení ztrát 3509 kWh.

Pro následnou optimalizaci byl z předešlých porovnání vybrán akumulátor LiFePo₄ o napětí 12 V se jmenovitou kapacitou 90 Ah. Celkové náklady na pořízení systému včetně střídače jsou 221 057 Kč. Celková vypočtená energie, kterou je možné do baterií uložit za teoretickou dobu životnosti 14 let při 80% DoD je 28 072 kWh. Z toho vyplývá, že při ceně 2,217 Kč/kWh získáme roční úsporu 4445,4 Kč. Doba návratnosti tedy bude okolo 50 let a vzhledem k poměrně krátké životnosti baterií je tedy optimalizace pomocí takto navrženého systému zcela nevýhodná.

LITERATURA

- [1] MURTINGER, Karel, Jiří BERANOVSKÝ a Milan TOMEŠ. *Fotovoltaika, elektřina ze slunce. 2. vyd. Brno: ERA, 2008, vii, 81 s. ISBN 978-80-7366-133-5.* [cit. 2014-11-05].
- [2] MURTINGER, Karel, Jiří BERANOVSKÝ a Milan TOMEŠ. *Fotovoltaika: elektrická energie ze slunce. 1. vyd. Praha: EkoWATT, 2009, 93 s. ISBN 978-80-87333-01-3.* [cit. 2014-11-08].
- [3] HASELHUHN, Ralf. *Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu. 1. české vyd. Ostrava: HEL, 2011, 176 s. ISBN 978-80-86167-33-6.* [cit. 2014-12-02].
- [4] *Fotovoltaika. Tzb-energ* [online]. 2014 [cit. 2014-11-20]. Dostupné z URL: <<http://www.tzb-energ.cz/fotovoltaika.html>>.
- [5] VANĚK, PH.D., Ing. Jiří, Ing. Petr KŘIVÍK, PH.D. a Ing. Vítězslav NOVÁK, PH.D. *Alternativní zdroje energie. Brno, 2006. Skripta. Vysoké učení technické v Brně.* [cit. 2014-12-02].
- [6] MASTNÝ, Petr, Jiří DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jan MACHÁČEK, Michal PTÁČEK, Lukáš RADIL, Tomáš BARTOŠÍK a Tomáš PAVELKA. *Obnovitelné zdroje elektrické energie. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, 254 s. ISBN 978-80-01-04937-2.* [cit. 2014-12-02].
- [7] RADIL, Lukáš a Jan MACHÁČEK. *Nekonvenční přeměny energie Elektronická skripta. Vysoké učení technické v Brně.* [online]. Brno [cit. 2015-05-08].
- [8] VRÁNA, Václav, Stanislav KOČMAN. *Náhradní zdroje elektrické energie [online]. 2006. VŠB-TU Ostrava.* [cit. 2014-12-22]. Dostupné z URL: <http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/BC_FBI/Prednasky/nahradni%20zdroje.pdf>.
- [9] POLÍVKA, František. *Náhradní zdroje elektrické energie v budovách [online]. Brno, 2010. 64 s. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Jan Novotný.* [cit. 2014-12-21]. Dostupné z URL: <https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=38519>.
- [10] VACOVSKÝ, Milan. *Ostrovní a fotovoltaické systémy. Plzeň, 2013. Bakalářská. ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI.* [cit. 2014-12-21]. Dostupné z URL: <<https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/handle/11025/9407/BP-prace-Vacovsky.pdf?sequence=1>>.

- [11] *Solární regulátor a MPPT měnič. Solarnimoduly.cz [online]. 2013 [cit. 2014-12-31]. Dostupné z URL: <<http://www.solarnimoduly.cz/jaky-solarni-regulator.html>>.*
- [12] *Energetický regulační úřad [online]. 2014. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z URL: <Dostupné z URL: <http://www.eru.cz/cs/1>>.*
- [13] *BRNĚNSKÉ VODÁRNY A KANALIZACE. 2015. Specifická spotřeba vody v litrech na obyvatele a den [online]. Brno [cit. 2015-05-10]. Dostupné z URL: <<http://www.bvk.cz/zakaznikum/odpovedi-faq/prumerna-spotreba-vody/>>.*
- [14] *TZB-info. 2015. Ohřev vody: Pomůcka pro výpočet doby ohřevu teplé vody v zásobníkovém ohříváči nebo pro stanovení potřebného příkonu zdroje tepla pro ohřev teplé vody [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z URL: <<http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/97-ohrev-vody>>.*
- [15] *Silektro ENERGY. Optimalizace spotřeby [online]. 2014 [cit. 2015-01-01]. Dostupné z URL: <<http://www.silektro.cz/solarni-elektrarny/solarni-elektrarny/optimalizace-spotreby>>.*
- [16] CERMAN, Bc. Marek. *Ekonomické aspekty využití energie z fotovoltaické elektrárny. Brno, 2013. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.* Dostupné z URL: <https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=65098>.
- [17] KOTĚŠOVEC, Bc. Jan. *Studie autonomního napájení rodinného domu elektrinou ze střešních fotovoltaických panelů. Plzeň, 2012. Diplomová. ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ. Vedoucí práce Ing. Jan Veleba.* Dostupné z URL: <<https://otik.uk.zcu.cz>>.
- [18] CHLEBNÝ, R. *Autonomní dům aneb život grid-off. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013. 85 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jan Macháček, Ph.D.* Dostupné z URL: <https://dspace.vutbr.cz/xmlui/bitstream/handle/11012/28056/Chlebny_Radek_Autonomni_dum_aneb_zivot_grid-off.pdf?sequence=1>
- [19] *COMMISSION REGULATION (EC): implementing Directive 2005/32/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for non-directional household lamps. In: 2005/32/EC. Official Journal of the European Union, 2009, č. 244.* Dostupné z URL: <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:076:0003:0016:en:PDF>>

- [20] JAN CENEK. *Žárovky.cz [online]. 2015 [cit. 2015-05-03].* Dostupné z URL: <<http://www.zarovky.cz/>>
- [21] BAŽANT, Bc. ZDENĚK. *RODINNÝ DŮM - AKTIVNÍ UZEL VE SMART GRID. Brno, 2014. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.* Dostupné z URL: <https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=83626>.
- [22] PRE, Energetické služby. *Tzb.info: Elektrotechnika [online]. 2013, 16.1.2013 [cit. 2015-04-08].* Dostupné z URL: <<http://elektro.tzb-info.cz/merici-a-regulacni-technika/9485-druha-generace-merici-sady-encontrol>>.
- [23] *SOLAR KERBEROS: Inovativní řešení pro úspory energií. Fotovoltaický ohřev vody [online]. 2015 [cit. 2015-04-26].* Dostupné z URL: <<http://www.solar-kerberos.cz/>>.
- [24] *SOLAR control, s.r.o.: Elektronické systémy pro obnovitelné zdroje, domovní automatizace. SOLAR CONTROL, s.r.o. WATTROUTER CWX - uživatelská příručka: Návod k instalaci a nastavení přístroje [online]. 2013, 28.3.2013 [cit. 2015-04-28].* Dostupné z URL: <<http://www.solarcontrols.cz/>>.
- [25] TROCHTA, Ing. Richard. *YORIX, s.r.o. Regulátor s plynulou regulací výkonu pro dokonalé využití přebytků FVE: GreenBonO (Green Bonus Optimizer) [online]. 2010, 21.04.2014 [cit. 2015-04-30].* Dostupné z URL: <<http://www.yorix.cz/cz/greenbono/greenbono.htm>>.
- [26] *Deramax.cz. 2015. HNILICA, Pavel. Jaké akumulátory použít [online]. [cit. 2015-05-05].* Dostupné z URL: <<http://www.deramax.cz/7-jake-akumulatory-pouzit-7-dil-ze-serialu-clanku>>.
- [27] JANEČKA, Jaromír. 2014. *Elektrická vozidla jako akumulární prvek pro obnovitelné zdroje. Brno. Diplomová. Vysoké učení technické v Brně.*
- [28] TOŠER, Pavel, Sebastian VACULÍK a Petr BAČA. *Náklady na akumulaci elektřiny v sekundárních člancích. TZB-info: Obnovitelná energie a úspory energie [online]. 2013. [cit. 2015-05-17].* Dostupné z URL: <<http://oze.tzb-info.cz/10362-naklady-na-akumulaci-elektriny-v-sekundarnich-clancich>>.
- [29] *Solární baterie Hoppecke. Neosolar: Energie a úsporné technologie [online]. 2015 [cit. 2015-05-18].* Dostupné z URL: <<http://eshop.neosolar.cz/>>.

- [30] KOLAŘÍK, Martin. *Ostrovni - Elektrárny.cz: Cesta k nezávislosti. Baterie [online]. 2015 [cit. 2015-05-18]. Dostupné z URL: <<http://www.ostrovni-elektrarny.cz/>>.*
- [31] BUCHMANN, Isidor. *Battery University [online]. 2015 [cit. 2015-05-18]. Dostupné z URL: <<http://batteryuniversity.com/>>.*
- [32] *I4wifi. Průmyslové LFP baterie [online]. 2015 [cit. 2015-05-21]. Dostupné z URL: <<http://www.i4wifi.cz/>>.*
- [33] VALACH, Josef. *Investiční rozhodování a dlouhodobé financování. 2. přeprac. vyd. Praha: Ekopress, 2005, 465 s. ISBN 80-869-2901-9.*

Obrázky

- [34] *Roční záření* Dostupné z URL: <<http://www.ceskeslunce.cz/solarni-mapa.html>>.
- [35] *Systémy* Dostupné z URL: <<http://www.tzb-energ.cz/fotovoltaika.html>>.
- [36] *Solartec. Princip fotovoltaiiky: Fotovoltaiický jev [online]. 2012 [cit. 2012-12-30]. Dostupné z URL: <<http://www.solartec.cz/male-instalace-do-30kwp/informace-o-fotovoltaiice/princip-fotovoltaiiky>>.*
- [37] *Elektrika.cz: Nikl-kadmiové baterie [online]. 2014 [cit. 2014-12-08]. Dostupné z URL: <<http://elektrika.cz/data/bleskovky/ferak-nikl-kadmiove-baterie>>.*
- [38] BECHNÍK, PH.D., Ing. Bronislav. *Nejpoužívanější pojmy ve fotovoltaiice. In: Tzbinfo [online]. 2014, 29.9.2014 [cit. 2014-12-13]. Dostupné z URL: <<http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaiika/11772-nejpouzivanejsi-pojmy-ve-fotovoltaiice>>.*
- [39] *Fotovoltaiický střídač: Účinnost není vše, důležitější je množství dodané energie. In: Czech RE Agency [online]. 2014 [cit. 2014-12-15]. Dostupné z URL: <<http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/fotovoltaiika/fv-stridac>>*
- [40] DVOŘÁK, Ing. Petr, Doc. Ing. Petr BAČA, PH.D. a Ing. David PLÉHA. *Akumulace elektriny. In: TZB-info: Obnovitelná energie a úspory energie [online]. Brno, 2011, 9.5.2011 [cit. 2014-12-23]. Dostupné z URL: <<http://oze.tzb-info.cz/7435-akumulace-elektriny>>*

- [41] *Fotovoltaický ohřev vody. In: Sunpi,s.r.o. [online]. 2014 [cit. 2015-04-24].* Dostupné z URL: <<http://www.sunpi.cz/solar-kerberos/ohrev-vody/>>
- [42] *Czech Nature Energy. 2015. Ohřev vody pomocí fotovoltaiky [online]. [cit. 2015-05-13].* Dostupné z URL: <<http://www.cne.cz/fotovoltaicke-systemy/ohrev-vody-fotovoltaikou/>>

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

FV	fotovoltaika
FVE	fotovoltaická elektrárna
MPP	Maximum Power Point - bod maximální energie
PVGIS	Photovoltaic geographical Information system - fotovoltaický geografický informační systém
ERÚ	Energetický Regulační Úřad
RD	Rodinný dům
NT	Nízký tarif
VT	Vysoký tarif
TUV	teplá užitková voda
SSR	Solid State Relay - polovodičový spínací prvek (bezkontaktní relé)
SOC	State Of Charge - dostupná kapacita akumulátoru
DOD	Depth Of Discharge - hloubka vybití akumulátoru
SOH	State Of Health - životnost akumulátoru
NiCd	Nickle-Cadmium – Nikl-kadmiový akumulátor
VRLA	Valve Regulated Lead Acid battery - ventilem řízené olověné baterie
AGM	Absorbed Glass Mat - absorbující skleněný materiál (netkaná tkanina ze skelných vláken)
LiFePo ₄	Lithium-železo-fosfátový akumulátor
LiFeYPO ₄	Lithium-železo-fosfátový akumulátor (železo dotováno Yttriem)
VRB	Vanadium Redox Battery – Vanadová redoxní baterie
BMS	Battery Management System – systém řízení baterie

SEZNAM PŘÍLOH

A	Tabulka predikce výroby elektrické energie z FVE	80
B	Tabulka predikce spotřeby	81
	B.1 Letní období	81
	B.2 Zimní období	82
C	Parametry akumulátorů	83
	C.1 Článek LiFeYPO_4	83
	C.2 Baterie Li - Ion včetně BMS	84
	C.3 Baterie Hoppecky OPzV	85
	C.4 Baterie Hoppecky AGM	86
D	Parametry měniče	87

A TABULKA PREDIKCE VÝROBY ELEKTRICKÉ ENERGIE Z FVE

Rok	Popis	Měsíc	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	
		Počet dnů	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	
2013	Spotřeba	VT	[kWh]	70	72	67	47	35	31	27	47	57	53	53	81
		NT	[kWh]	0	630	567	390	319	340	300	486	543	567	565	602
		VT+NT	[kWh]	70	702	634	437	354	371	327	533	600	620	618	683
	Výroba	Bonus	[kWh]	0	156	433	579	584	610	820	720	450	509	179	120
	Dodávka	Do sítě	[kWh]	0	147	421	455	309	318	497	512	308	344	152	75
	Spotřeba z FVE	(výr-dod)	[kWh]	0	9	12	124	275	292	323	208	142	165	27	45
2014	Spotřeba	VT	[kWh]	67	48	45	50	75	100	100	100	48	100	100	100
		NT	[kWh]	283	223	330	349	400	302	328	358	495	503	573	476
		VT+NT	[kWh]	350	271	375	399	475	402	428	458	543	603	673	576
	Výroba	Bonus	[kWh]	155	306	612	631	646	696	714	549	500	271	98	147
	Dodávka	Do sítě	[kWh]	112	249	465	475	490	512	529	385	359	185	63	94
	Spotřeba z FVE	(výr-dod)	[kWh]	43	57	147	156	156	184	185	164	141	86	35	53

B TABULKA PREDIKCE SPOTŘEBY

B.1 Letní období

Letní víkendový den	Čas [hodina]																								Hodin provozu [h]	Průměrný příkon za hod [Wh]	Spotřeba			
	noc					Výroba FVE														noc							Celkem kWh/den	mimo osvit kWh/den	v osvitu kWh/den	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24						
Kombinovaná chladnička	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24	20	0,48	0,20	0,28		
Mikrovlnná trouba						1												1						2	1300	2,60	0,00	2,60		
Varná konvice						1																		1	1950	1,95	0,00	1,95		
LCD televize																					1	1	1	1	1	5	24	0,12	0,12	0,00
Notebook	1	1									1	1	1								1	1	1	1	1	10	100	1,00	0,70	0,30
Pračka									1	1	1														3	610	1,83	0,00	1,83	
Žehlička																		1	1						2	200	0,40	0,00	0,40	
Horkovzdušný fén																					1				1	600	0,60	0,60	0,00	
Myčka A++													1	1	1										3	930	2,79	0,00	2,79	
Vestavná trouba									1	1	1														3	870	2,61	0,00	2,61	
Varná deska									1	1	1														3	3000	9,00	0,00	9,00	
Vysavač													1	1											2	850	1,70	0,00	1,70	
Bojler												1	1	1											3	2000	7,80	0,00	7,80	
Osvětlení																					1	1	1	1	4	384	1,54	1,54	0,00	
Celkem														66	12838	34,42	3,16	31,26												

Letní pracovní den	Čas [hodina]																								Hodin provozu [h]	Průměrný příkon za hod [Wh]	Spotřeba		
	noc					Výroba FVE														noc							Celkem kWh/den	mimo osvit kWh/den	v osvitu kWh/den
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24					
Kombinovaná chladnička	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24	20	0,48	0,20	0,28	
Mikrovlnná trouba						1												1						2	1300	2,60	0,00	2,60	
Varná konvice						1																		1	1950	1,95	0,00	1,95	
LCD televize																					1	1			2	24	0,05	0,05	0,00
Notebook																		1	1	1	1			4	100	0,40	0,30	0,10	
Pračka																								0	610	0,00	0,00	0,00	
Žehlička																								0	200	0,00	0,00	0,00	
Horkovzdušný fén																					1				1	600	0,60	0,60	0,00
Myčka A++																									0	930	0,00	0,00	0,00
Vestavná trouba																									0	870	0,00	0,00	0,00
Varná deska																		1							1	3000	3,00	0,00	3,00
Vysavač																									0	850	0,00	0,00	0,00
Bojler															1	1								2	2000	6,00	0,00	6,00	
Osvětlení																					1	1			2	384	0,77	0,77	0,00
Celkem														39	12838	15,85	1,92	13,93											

B.2 Zimní období

Zimní víkendový den	Čas [hodina]																								Hodin provozu [h]	Průměrný příkon za hod [Wh]	Spotřeba			
	noc							Výroba FVE								noc											Celkem kWh/den	mimo osvit kWh/den	v osvitu kWh/den	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24						
Kombinovaná chladnička	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24	20	0,48	0,30	0,18	
Mikrovlnná trouba							1											1							2	1300	2,60	2,60	0,00	
Varná konvice							1																		1	1950	1,95	1,95	0,00	
LCD televize																		1	1	1	1	1	1	1	7	24	0,17	0,17	0,00	
Notebook											1	1	1								1	1	1	1	8	100	0,80	0,50	0,30	
Pračka								1	1	1															3	610	1,83	0,00	1,83	
Žehlička																		1	1						2	200	0,40	0,40	0,00	
Horkovzdušný fén																					1				1	600	0,60	0,60	0,00	
Myčka A++													1	1	1										3	930	2,79	0,00	2,79	
Vestavná trouba								1	1	1															3	870	2,61	0,00	2,61	
Varná deska								1	1	1															3	3000	9,00	0,00	9,00	
Vysavač													1	1											2	850	1,70	0,00	1,70	
Bojler													1	1	1	0,5									3,5	2000	8,70	0,00	8,70	
Osvětlení																		1	1	1	1	1	1	1	7	384	2,69	2,69	0,00	
Celkem																										69,5	12838	36,32	9,21	27,11

Zimní pracovní den	Čas [hodina]																								Hodin provozu [h]	Průměrný příkon za hod [Wh]	Spotřeba			
	noc							Výroba FVE								noc											Celkem kWh/den	mimo osvit kWh/den	v osvitu kWh/den	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24						
Kombinovaná chladnička	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24	20	0,48	0,30	0,18	
Mikrovlnná trouba							1											1							2	1300	2,60	2,60	0,00	
Varná konvice							1																		1	1950	1,95	1,95	0,00	
LCD televize																		1	1	1	1				4	24	0,10	0,10	0,00	
Notebook																					1	1			2	100	0,20	0,20	0,00	
Pračka																									0	610	0,00	0,00	0,00	
Žehlička																									0	200	0,00	0,00	0,00	
Horkovzdušný fén																		1							1	600	0,60	0,60	0,00	
Myčka A++																									0	930	0,00	0,00	0,00	
Vestavná trouba																									0	870	0,00	0,00	0,00	
Varná deska																		1							1	3000	3,00	3,00	0,00	
Vysavač																									0	850	0,00	0,00	0,00	
Bojler													1	1	0,5										2,5	2000	6,90	0,00	6,90	
Osvětlení																		1	1	1	1	1	1	1	8	384	3,07	3,07	0,00	
Celkem																										45,5	12838	18,90	11,82	7,08

C PARAMETRY AKUMULÁTORŮ

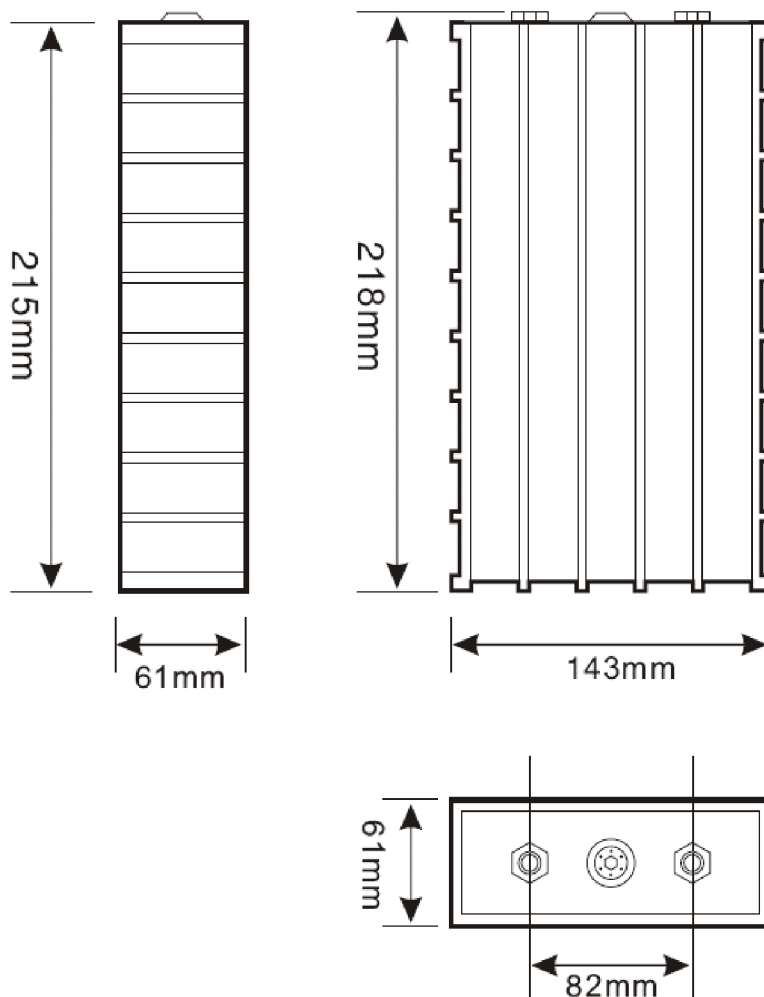
C.1 Článek LiFeYPO₄

www.ostrovni-elektrarny.cz Power for the Future

LFP090AH – WB-LYP90AHA



Model name	LFP090AHA	Older product marking TS-LFP90AHA, TS-LYP90AHA
Nominal voltage	3.2 V	Operating voltage under load is 3.0 V
Capacity	90 AH	+/- 5%
Operating voltage	max 4.0V - min 2.8V	At 80% DOD
Deep discharge voltage	2.5 V	The cells is damaged if voltage drops bellow this level
Maximal charge voltage	4.0 V	The cells is damaged if voltage exceeds this level
Optimal discharge current	< 45 A	0.5 C
Maximal discharge current	< 270 A	3 C, continuous for max 15 minutes from full charge
Max peak discharge current	< 1800 A	20 C, maximal 5 seconds in 1 minute
Optimal charge current	< 45 A	0.5 C
Maximal charge current	< 270 A	< 3 C with battery temperature monitoring
Maximal continuous operating temperature	80 °C	The battery temperature should not increase this level during charge and discharge
Dimensions	143x61x218 mm	Millimeters (tolerance +/- 2 mm)
Weight	3.1 kg	Kilograms (tolerance +/- 150g)



1 Introduction

iON Storage is a new modular lithium-ion energy storage, which stores the surplus of the generated solar power in battery modules for later consumption. Energy can either be fed into the grid by an inverter when suitable or be accumulated in the energy storage.

The energy is available when required: in the evening, at night and on days with less sunshine. With iON storage, producers of solar energy are more independent and use their green energy when they need it.

Advantages

- Store and consume during the day; consume in the evening and at night
- Independence from daylight and power grid.
- Economical, cost-cutting and ecofriendly
- Light in weight, safe and space-saving
- Modular design: The modules can be adapted to your special needs depending on the desired intermediate circuit voltage and storage capacity.

Technical Characteristics

- ✓ Powerful energy storage
- ✓ New lithium-ion technology: five-year guarantee
- ✓ High degree of effectiveness: 97 %
- ✓ Great discharge depth: 90 % DOD
- ✓ Durable: 4 000 full cycles
- ✓ Modules connectable in series and in parallel (max. 1S-16P or 2S-8P)
- ✓ High operational safety



2 Technical Data

2.1 Technical Characteristics

Characteristics of single module

Energy	2 685 Wh
Nominal voltage	25.2 V
Final charging voltage	29,05 V
Final discharging voltage	21 V
Nominal charge	104 Ah
Maximum charge	108 Ah
Maximum discharge current	180 A
Maximum discharge power	4 500 W
Weight	24.3 kg
Dimensions (mm)	577,5 x 218,5 x 253,5
Volume	32 l
Battery Chemistry	Li-Ion NMC

Battery composition

Number of cells	336
Cell housing	Steel cylinder safety cell
Capacity per cell	2.25 Ah
Nominal voltage per cell	3,6 V
Cell connection	7S-48P

Performance data

Energy density (Weight)	110.5 Wh/kg
Energy density (Volume)	84 Wh/l
Power density (Weight)	180 W/kg
Power density (Volume)	141 W/l

Usage information

Cell operating temperature	-20° to +60°C
Cell charging temperature	0° to +55°C
Recommended storage temp.	10° to 25 °C
Self-discharge of cells	ca. 4 % per year
Max. connections	2S-8P or 1S-16P
Protection class	IP 67

OPzV bloc solar.power

Ventilem řízené olověné baterie
pro cyklický provoz

NEOSOLAR
ENERGIE A ÚSPORNÉ TECHNOLOGIE

Výhody baterií Hoppecke OPzV bloc solar.power

- **Dlouhá životnost v cyklickém provozu** – optimalizovaná konstrukce elektrod
- **Bezúdržbovost** – Gelový elektrolyt – není nutné dolévat vodu do baterie
- **Maximální spolehlivost** – v akumulaci energie v ostrovních / hybridních systémech
- **Kompatibilita se stávajícími aplikacemi**



Typické aplikace baterií Hoppecke OPzV bloc solar.power

- **Solární/-ostrovní (Off-grid) aplikace**
Zdroj elektrické energie pro ostrovní aplikace a izolované distribuční sítě, domovní solární systémy, veřejné osvětlení, zdravotnická zařízení
- **Akumulátor pro uložení energie z fotovoltaické, větrné či vodní elektrárny**
- **Telekomunikace**
Mobilní telefonní stanice, BTS stanice, off-grid/on-grid aplikace
- **Dopravní systémy**
Signální zařízení, osvětlení

OPzV bloc solar.power

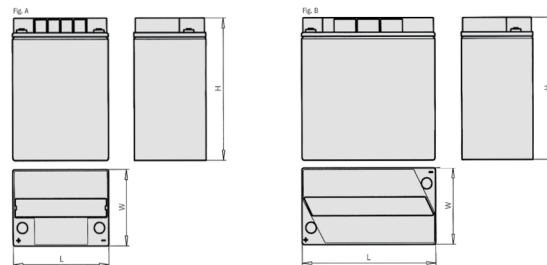
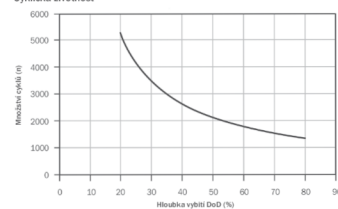
Typy

Kapacity, rozměry a hmotnosti

Typ	C ₁₀₀ /1,85 V Ah	C ₅₀ /1,85 V Ah	C ₂₄ /1,83 V Ah	C ₁₀ /1,80 V Ah	C ₅ /1,77 V Ah	Max. hmotnost kg	délka mm	šířka mm	výška mm	Fig.
12V 1 OPzV bloc solar.power 70	70.0	55.0	55.2	48.0	42.5	38.0	272	205	383	A
12V 2 OPzV bloc solar.power 120	120.0	120.0	110.4	96.0	84.0	52.0	272	205	383	A
12V 3 OPzV bloc solar.power 180	180.0	175.0	165.6	144.0	126.5	74.0	380	205	383	A
6V 4 OPzV bloc solar.power 250	250.0	235.0	220.8	192.0	168.5	51.0	272	205	383	B
6V 5 OPzV bloc solar.power 300	300.0	295.0	276.0	240.0	210.5	66.0	380	205	383	B
6V 6 OPzV bloc solar.power 370	370.0	350.0	333.6	288.0	252.5	73.0	380	205	383	B

C₁₀₀, C₅₀, C₂₄, C₁₀, C₅ = kapacita při 100 h, 50 h, 24 h, 10 h a 5 h vybití.

Cyklická životnost



12 V 1 OPzV bloc solar.power 70 - 12 V 3 OPzV bloc solar.power 180

6 V 4 OPzV bloc solar.power 250 - 6 V 6 OPzV bloc solar.power 370

IEC 60896-21 Vyrobeno dle DIN40737-3
IEC 61427



Váš odborný dodavatel: **NEOSOLAR**

Neosolar, spol.s r.o.
Stavbařů 4334/41
58601, Jihlava
tel/fax: +420 567 313 562
e-mail: info@neosolar.cz
www.neosolar.cz

solar.bloc

Ventilem řízené olověné baterie
pro cyklický provoz

NEOSOLAR
ENERGIE A ÚSPORNÉ TECHNOLOGIE

solar.bloc

C.4 Baterie Hoppecke AGM

Výhody baterií Hoppecke solar.bloc

- **Bezúdržbovost - není nutné doplňování vody** – AGM elektrolyt nasáknut ve skelném rounu
- **Odolnost vůči cyklickému provozu** – optimalizovaná konstrukce elektrod umožňuje efektivní nabíjení
- **Vysoká bezpečnost provozu** – centrální odvětrávací systém a ventily proti zpětnému šlehnutí
- **Ochrana proti zkratům i během instalace** – systém originálních bateriových propojů Hoppecke
- **Dlouhodobá výdrž** – udržení náboje - nízké samovybíjení

Typické aplikace baterií HOPPECKE solar.bloc

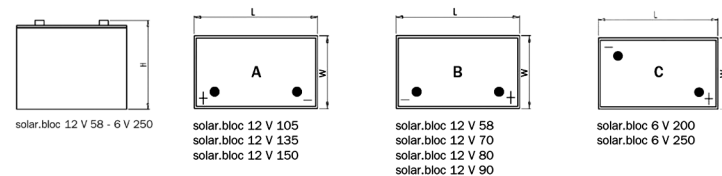
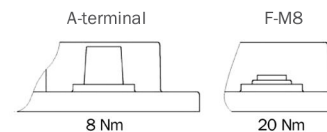
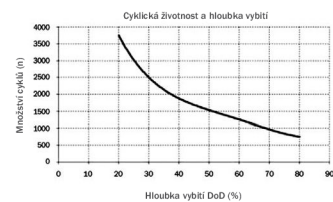
- **Solární/-ostrovní (Off-grid) aplikace**
Zdroj elektrické energie pro ostrovní aplikace a izolované distribuční sítě, domovní solární systémy, veřejné osvětlení, zdravotnická zařízení
- **Akumulátor pro uložení energie z fotovoltaické elektrárny**
- **Telekomunikace**
Mobilní telefonní stanice, BTS stanice, off-grid/on-grid aplikace
- **Dopravní systémy**
Signální zařízení, osvětlení

Typy

Kapacity, rozměry, hmotnosti

Typ	C ₁₀₀ /1,85 V Ah	C ₄₈ /1,80 V Ah	C ₂₄ /1,80 V Ah	C ₁₀ /1,80 V Ah	Délka L mm	Šířka W mm	Výška H mm	Hmotnost kg	Propojení	Držadlo	Obř.
solar.bloc 12 V 58	58,3	54,0	53,3	50,0	247	175	190	19,00	A-terminal	ano	B
solar.bloc 12 V 70	70,0	64,8	64,0	60,0	278	175	190	23,00	A-terminal	ano	B
solar.bloc 12 V 80	81,7	75,6	74,6	70,0	315	175	190	24,00	A-terminal	ano	B
solar.bloc 12 V 90	93,3	86,4	85,3	80,0	353	175	190	28,00	A-terminal	ano	B
solar.bloc 12 V 105	105,0	97,2	95,9	90,0	344	177	230	38,00	F-M8	ne	A
solar.bloc 12 V 135	134,2	124,2	122,6	115,0	344	170	275	46,00	F-M8	ne	A
solar.bloc 12 V 150	151,7	140,4	138,6	130,0	498	177	230	55,00	F-M8	ne	A
solar.bloc 6 V 200	198,3	183,6	181,2	170,0	242	170	275	32,00	F-M8	ne	C
solar.bloc 6 V 250	251,0	237,0	234,0	220,0	308	170	275	41,00	F-M8	ne	C

C₁₀₀, C₄₈, C₂₄ a C₁₀ = kapacita při 100 h, 48 h, 24 h a 10 h vybití



Šetrnost k životnímu prostředí – systém recyklace materiálů v akreditovaném recyklačním systému Hoppecke.
IEC 60896-21
IEC 61427

Váš odborný dodavatel: **NEOSOLAR**

Neosolar, spol.s r.o.
Stavbařů 4334/41
58601, Jihlava
tel/fax: +420 567 313 562
e-mail: info@neosolar.cz
www.neosolar.cz

