



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

**ANALÝZA PROVOZU FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU
RODINNÉHO DOMU S AKUMULACÍ ELEKTRICKÉ
ENERGIE**

AN ANALYSIS OF OPERATION OF A FAMILY HOUSE PV SYSTEM WITH ELECTRICAL ENERGY
ACCUMULATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Daniel Hroděj

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Michal Jaroš, Dr.

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Energetický ústav
Student:	Daniel Hroděj
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojírenství
Vedoucí práce:	doc. Ing. Michal Jaroš, Dr.
Akademický rok:	2016/17

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

Analýza provozu fotovoltaického systému rodinného domu s akumulací elektrické energie

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V důsledku intenzivního vývoje fotovoltaických (PV) kolektorů se postupně zvyšuje jejich účinnost a snižuje cena, čímž se stávají vhodnými i pro nedotovanou výrobu elektrické energie, např. v hybridním provozu jako součást vybavení jednotlivých budov. Hlavním problémem však je akumulace elektrické energie, protože časové průběhy výroby a spotřeby elektřiny si zpravidla neodpovídají. Intenzivní vývoj nových typů akumulátorů však slibuje tento nedostatek v brzké době odstranit.

Cíle bakalářské práce:

Analyzujte provoz hybridního fotovoltaického systému rodinného domu s akumulací elektrické energie s ohledem na její využití (pro běžné spotřebiče, ohřev TV, případně pro klimatizaci nebo tepelné čerpadlo vytápění). Odhadněte potřebnou velikost PV panelů a kapacitu akumulátoru pro jednotlivé případy a různé stupně pokrytí. Proveďte rámcovou ekonomickou rozvahu systému a navrhněte doporučení pro jeho realizaci i provoz.

Seznam doporučené literatury:

LORENZO, E. Solar Electricity: Engineering of photovoltaic systems. PROGENSA, Sevilla (Spain), 1994.

CIHELKA, J. Solární tepelná technika, Nakl. T. Malina, Praha, 1994.

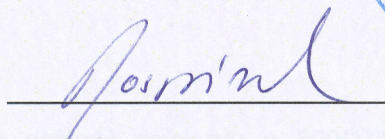
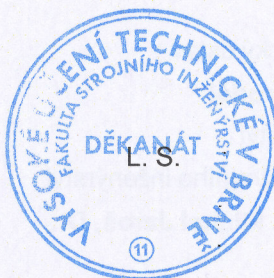
MURTINGER, K., TRUXA, J. Solární energie pro váš dům. ERA group, Brno, 2005.

THEMESSL, A., WEISS, W. Solární systémy. Grada Publ., Praha, 2005.

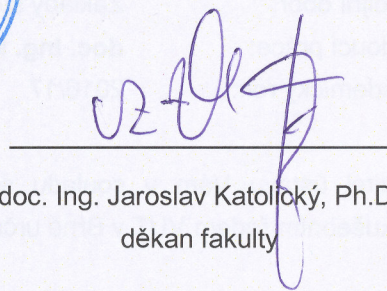
LADENER, H., SPATE, F. Solární zařízení. Grada Publ., Praha, 2003.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17.

V Brně, dne 30. 11. 2016



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



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

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá fotovoltaickým systémem rodinného domu s využitím akumulace elektrické energie. V teoretické části jsou uvedené základní charakteristiky fotovoltaických systémů. Dále jsou porovnány nejznámější způsoby akumulace elektrické energie. Výpočetní část představuje výběr a návrh systému na konkrétní rodinný dům. V závěru práce jsou porovnány hodnoty spotřeby a vyrobené energie.

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with a photovoltaic system of family house using accumulation of electrical energy. The basic characteristics of photovoltaic systems are listed in the theoretical part. In addition, the best known methods of energy storage are compared. The computational part presents the selection and proposal of the system for a particular family house. At the end of the thesis the values of consumption and produced energy are compared.

KLÍČOVÁ SLOVA

Fotovoltaika, akumulace, elektrická energie, fotovoltaický systém, baterie, spotřeba

KEYWORDS

Photovoltaics , accumulation, electrical energy, photovoltaic system, battery, consumption

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Hroděj, D. Analýza provozu fotovoltaického systému rodinného domu s akumulací elektrické energie. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 39 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Michal Jaroš, Dr.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Analýza provozu fotovoltaiického systému rodinného domu s akumulací elektrické energie“, vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Brně dne 26. května 2017

.....

Daniel Hroděj

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych zde poděkoval všem, kteří mi byli nápomocni při vypracování bakalářské práce, zejména pak vedoucímu práce doc. Ing. Michalu Jarošovi, Dr. za cenné rady a připomínky.

Obsah

1.	Úvod.....	10
2.	Fotovoltaický systém.....	11
2.1	Fotovoltaický jev.....	11
2.2	Fotovoltaický článek	11
2.3	Komponenty fotovoltaického systému.....	12
2.3.1	Panel.....	12
2.3.2	Měnič.....	12
2.3.3	Akumulátor.....	13
2.4	Vhodnost použití v ČR.....	13
2.5	Ostrovní systém off-grid	14
2.6	Síťový systém on-grid.....	14
2.7	Hybridní systém	15
3.	Akumulace elektrické energie.....	17
3.1	Olověné akumulátory.....	17
3.2	Ni-Cd akumulátory.....	18
3.3	Li-ion akumulátory.....	19
3.4	Přečerpávací elektrárna	20
3.5	Setrvačníky.....	20
3.6	CAES.....	21
3.7	Akumulátory budoucnosti	22
4.	Návrh fotovoltaického systému.....	24
4.1	Umístění	24
4.2	Energetická náročnost	24
4.3	Dopadající energie.....	25
4.4	Výběr komponentů.....	26
4.5	Výroba energie	28
4.6	Porovnání baterií	29
5.	Celkové zhodnocení	32
5.1	Návratnost	32
6.	Závěr.....	34
7.	Seznam použitých zdrojů	35
8.	Seznam použitých zkratk a symbolů	38

1 Úvod

Žijeme v době, kdy elektrická energie je všudypřítomná. Každý menší či větší systém je na ní naprosto závislý a život bez ní už bychom si jen těžko dokázali představit. Většina elektrické energie vzniká spalováním fosilních paliv v tepelných elektrárnách. Jejich provoz velmi výrazně zatěžuje životní prostředí naší planety a vede k rychlému úbytku zásob. Druhým nejrozšířenějším způsobem, jak získat elektrickou energii je štěpení atomů v jaderných reaktorech. V posledních letech však v tomto oboru dochází k útlumu. Jaderné elektrárny patří mezi velmi rizikové a následky případné havárie mohou být katastrofální, jak už jsme se několikrát přesvědčili. Proto dochází v poslední době k pozvolnému přechodu na ekologicky šetrné obnovitelné zdroje energie (dále jen „OZE“) s cílem minimalizovat podíl tepelných a jaderných elektráren. Mezi nejznámější obnovitelné energie patří vodní, sluneční, větrná a geotermální.

Tato bakalářská práce se zabývá přeměnou sluneční energie na elektrickou ve fotovoltaických systémech. Výroba elektrické energie z fotovoltaických panelů v ČR má v posledních letech vzrůstající tendenci a stává se snáze dostupnou i pro širší veřejnost. V rámci snižování nákladů na provoz byl založen státem organizovaný systém dotací s názvem „Zelený bonus“. Součástí dotace bylo stanovení vysoké ceny pro výkup vyrobené energie respektive její dodávku do rozvodné sítě. To způsobilo rychlý rozvoj fotovoltaických elektráren, který vedl až ke konci dotačního programu. V současné době se rozjiždí nový systém dotací na pořízení domácích fotovoltaických systémů „Nová zelená úsporám“.

S OZE jsou spojeny problémy s nepravdělnou dodávkou a s uskládáním vyrobené energie. Doba produkce se zpravidla neshoduje s dobou maximálního odběru, a tak nastává problém s jejím uložením. V poslední době se tak stále zvyšuje poptávka po efektivních akumulátorech, které nahromadí energii a v době nedostatku dodávají zpět.

Cílem této práce je navrhnout fotovoltaický systém s akumulací energie na rodinný dům, s ohledem na spotřebu, finanční dostupnost a omezený prostor. Dále je posuzována skutečnost, zda systém může posloužit jako rozumná investice do budoucna.

2 Fotovoltaický systém

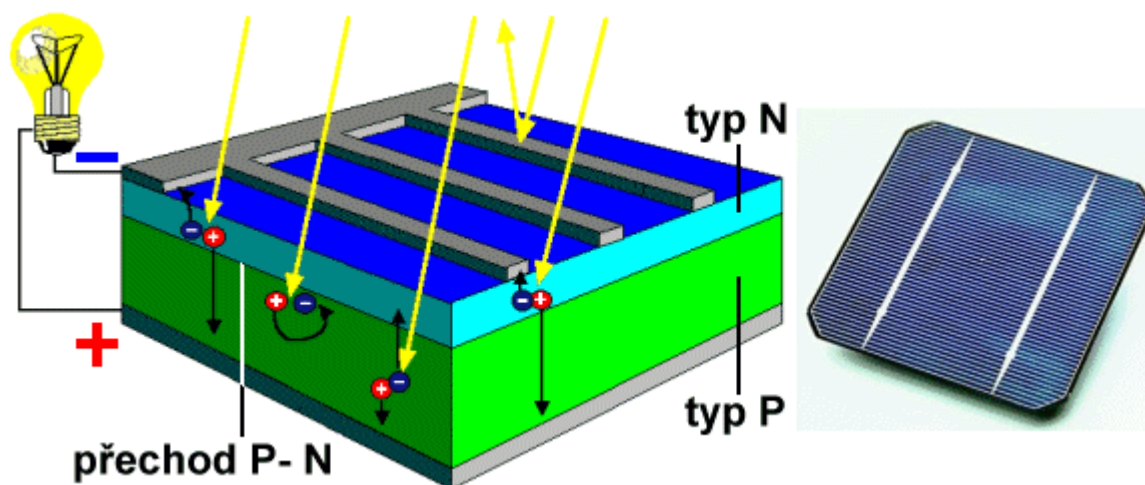
2.1 Fotovoltaický jev [1] [2]

Fotovoltaický jev je základním kamenem, na kterém stojí výroba elektrické energie ze slunečního záření. Prvním, kdo studoval tuto problematiku, byl roku 1876 britský profesor William Grylls Adams a jeho student Richard Evans Day. Společně dokázali vznik elektrické energie pomocí dopadajícího světla na PN přechod mezi selenem a platinou. Na rozdíl od fotoelektrického jevu vzniká elektrické napětí přímo a elektrony se neuvolňují, ale zůstávají v původním materiálu. Fotovoltaický jev je způsoben dopadem fotonů (částic záření) na povrch polovodiče. Aby se elektrony z krystalové mřížky mohly uvolnit, musí být energie fotonu minimálně 1,12 eV. Teoreticky lze využít téměř 50 % dopadajícího záření. V praxi se zatím dosahuje pouze hodnoty do 25 %.

2.2 Fotovoltaický článek [3] [4]

Fotovoltaický článek je polovodičová destička, ve které se vytváří elektrická energie po dopadu světla. Jako materiál se zpravidla používá křemík pro jeho polovodičové vlastnosti, schopnost absorbovat sluneční záření a nízkou cenu. V praxi se využívá polykrystalické a monokrystalické formy. Výhodou polykrystalické formy je vyšší účinnost při nižší intenzitě záření tzn. při odklonu článku od nejvhodnější polohy. Monokrystalická forma disponuje vyšší účinností při vyšší intenzitě záření, tím pádem je výhodnější při přímém naklonění ke slunci. Rozdíly mezi jednotlivými formami však nejsou výrazné.

Princip vzniku elektrického napětí spočívá v uvolnění elektronů z krystalické mřížky způsobené energií dopadajících fotonů. Článek je složen ze dvou vrstev. Vrchní vrstva je tvořena polovodičem typu N (využívá vlivu pětivazných příměsí, např. fosforu). Zde vzniká elektrický proud pohybujícími se elektrony. Spodní vrstva je tvořena polovodičem typu P (využívá vlivu třívazných příměsí, např. bóru), kde elektrický proud způsobuje pohyb volných míst (děr) v krystalické mřížce. Na přechodu mezi polovodiči typu P a N tak vzniká elektrické pole, které je způsobeno difuzí elektronů skrz oba polovodiče. Napětí u jednoho článku dosahuje kolem 0,5 V. Tato hodnota je velmi nízká, a tak se obvykle přistupuje k zapojení více článků najednou. Takto vytvořená soustava se nazývá fotovoltaický modul (panel).



Obr. 2.1 Fotovoltaický článek [3]

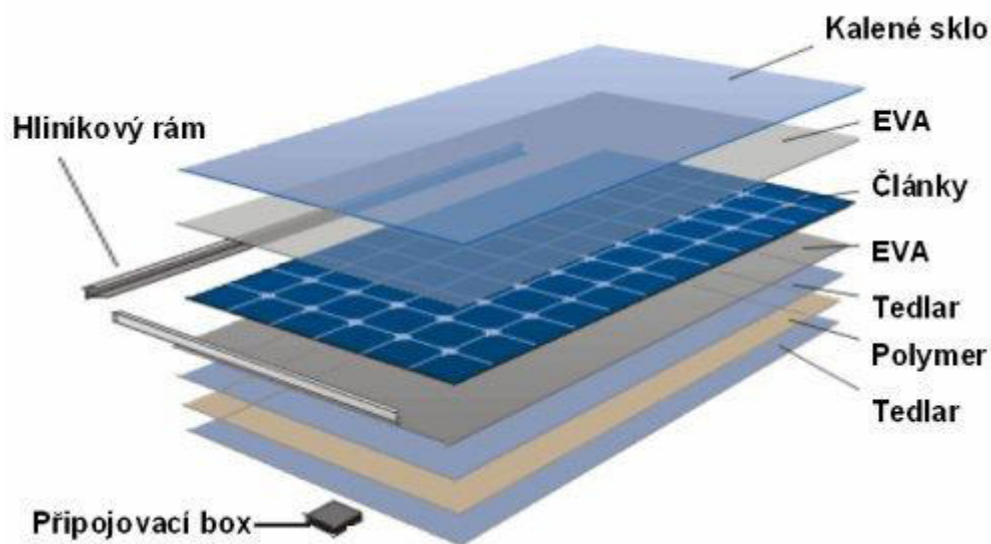
2.3 Komponenty fotovoltaického systému

2.3.1 Panel [5] [6]

Konstrukce fotovoltaického panelu:

Na přední straně panelu je odolné kalené sklo, které zajišťuje ochranu před vnějšími vlivy. Na skle je umístěna vrstva z etylen-vinyl-acetátu (EVA) a na ní se nachází složené fotovoltaické články. Přes články je znovu nanесena vrstva EVA a zadní stěnu tvoří umělohmotná fólie (např. tedlar). Z prostoru mezi jednotlivými vrstvami se odčerpává vzduch. Ze spodní strany umělohmotné fólie vedou výstupní kontakty článků skrze přípojovací krabici. Konečná podoba panelu je dána obvodovým hliníkovým profilem, který slouží k jeho uchycení. Jednotlivé panely se zapojují pomocí přípojovací krabice.

Fotovoltaický panel obvykle obsahuje větší počet (36, 48, 60, 72) spojených článků. Nejdůležitějším parametrem panelů je výstupní napětí. Vhodné napětí pro menší systémy, na které je konstruována většina měničů, ale i spotřebičů je 12 nebo 24 V. Aby bylo docíleno požadovaného napětí, dají se spojit i jednotlivé panely. Řetězec takto zapojených panelů se nazývá string.



Obr. 2.2 Konstrukce fotovoltaického panelu [7]

2.3.2 Měnič [8] [9]

Měnič neboli střídač je dalším základním komponentem fotovoltaického systému. Energie vyráběná z panelů je generována vždy ve formě stejnosměrného proudu. K připojení systému do rozvodné sítě a také k napájení základních domácích spotřebičů je zapotřebí střídavý proud. Funkcí střídače je transformovat stejnosměrný elektrický proud na střídavý. Většina střídačů na trhu má i doplňkové funkce, jako jsou monitoring celkového systému nebo ochranné funkce, které při poruše odpojí systém od sítě.

○ Střídač

Klasické střídače mají nevýhodné vlastnosti, které omezují maximální výkon celkového systému. V první řadě nejsou schopné zareagovat na nesoulad mezi silnějšími a slabšími panely. Každý panel je jiný a rozdíly, které vznikají už při výrobě, se časem zvětšují. Nejslabší panel ovlivňuje negativním způsobem výkon celého systému, což vede ke ztrátám.

Další faktory, které mohou snížit výkon panelů, jsou znečištění, případně zastínění nebo stačí i rychle se měnící intenzita záření, na kterou nejsou klasické měniče schopné dostatečně rychle reagovat.

- Mikrostrídač

Mikrostrídače plní stejnou funkci jako klasické strídače, ale jsou umístěny přímo na jednotlivých panelech. Jejich hlavní devízou je schopnost odstranit výše uvedené nedostatky u klasických strídačů. Mezi hlavní nevýhody patří nízká životnost zapříčiněná vyšší pracovní teplotou a vysoká cena. Mikrostrídače jsou kompatibilní pouze s šedesáticelávkovými panely a jejich celková účinnost nedosahuje takových hodnot jako u klasických. Další nevýhodou je, že neodpovídají nízkonapětovým normám platným v některých evropských zemích.

- Strídač s výkonovými optimizéry

Velký rozkvět ve fotovoltaice zažívá relativně nový typ, kde strídač je doplněn o výkonové optimizéry. Umístění optimizéru bývá často přímo na panelu, kde plní řídicí funkci a strídač pouze přeměňuje stejnosměrný proud na střídavý. Tímto způsobem je eliminován rozdíl napětí v jednotlivých panelech a každý pracuje nezávisle na sobě. Optimizéry jsou schopné na základě podrobného monitoringu prakticky okamžitě odhalit vadný nebo zastíněný panel a předchází tak nežádoucím ztrátám. Součástí je mimo jiné i ochranná funkce, která odpojí panel při vážných poruchách. Zařazením strídače s optimizéry lze zvýšit účinnost celého systému až o 25 %. Výhodou nezávislého řízení každého stringu je případné rozšíření systému nebo rozdílná velikost a umístění panelů. Nevýhodou je vyšší cena, která ale vyrovnává ztrátu větším množstvím vyrobené energie a vyšší životností.

2.3.3 Akumulátor

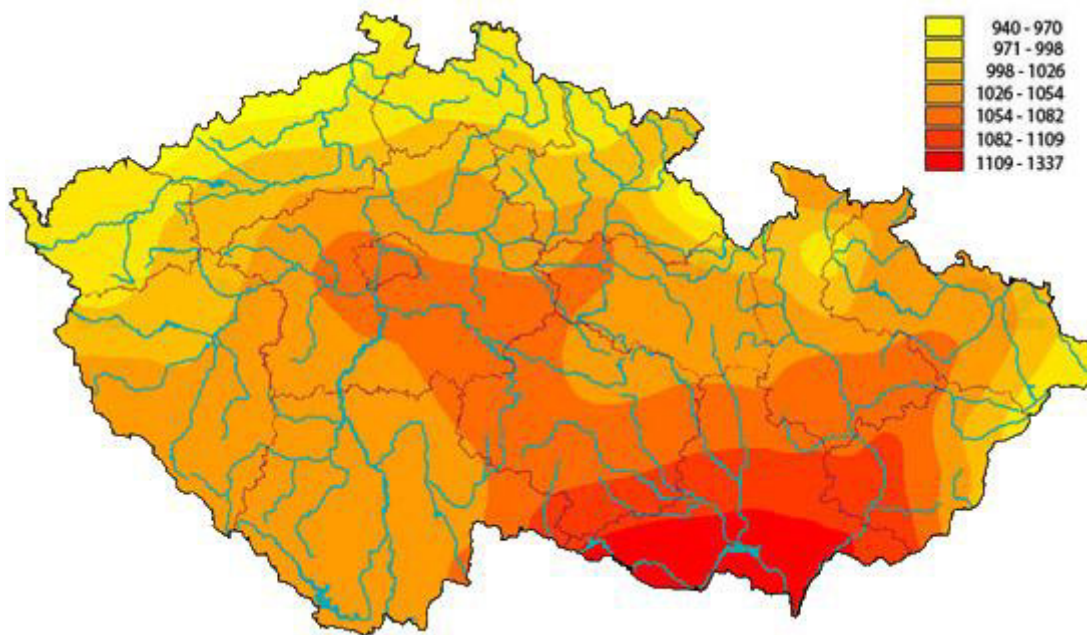
Akumulátor neodmyslitelně patří k ostrovnímu i hybridnímu fotovoltaickému systému. Pokud není úmyslem provozovatele elektrárny pouze dodávat vyrobenou energii do rozvodné sítě, bez akumulátoru se prakticky neobejde. Akumulátory lze rozdělit podle přeměny elektrické energie na chemické a fyzikální. Pod pojmem chemické akumulátory si lze představit různé druhy baterií. Fyzikální akumulátory využívají přeměnu na mechanickou energii (viz kap. 3).

2.4 Vhodnost použití v ČR [10]

Solární energie je dostupná všude na Zemi, avšak v různé míře. Mezi faktory ovlivňující množství dopadající energie patří zeměpisná šířka, roční doba, místní klima a v neposlední řadě sklon a orientace ozářené plochy.

Nejvíce slunečního záření dopadá na rovník a směrem k pólům intenzita slábne (míněno pro vodorovnou plochu). Množství záření také ovlivňuje roční období. Česká republika leží v mírném pásu, kde množství slunečního záření v průběhu roku kolísá. Dopadající energie je v létě značně vyšší než v zimních měsících. V zimě je den krátký, slunce nízko a častěji se objevuje oblačnost, která zabraňuje průchodu záření. V létě u nás dopadá při jasném počasí na plochu 1 m^2 orientovanou na jih přibližně 7–8 kWh za den. V zimě za stejného počasí pouze 3 kWh. Podrobné znázornění množství dopadajícího slunečního záření v ČR je uvedeno na obr. 2.3. Jak již bylo zmíněno, dalším faktorem je místní klima. Vysoký vliv na dopadající záření má znečištění atmosféry a míra oblačnosti. Při jasném počasí dopadá na zemský povrch skrz atmosféru kolem 75 % slunečního záření, což odpovídá 1 kW/m^2 . Při špatném počasí se hodnota až 5krát sníží. Problémem zůstává proměnlivost oblačnosti, kterou nelze předpovědět na delší časový úsek. Výpočty intenzity solárního záření tak vycházejí z průměrů získaných

v daném období i za desítky let. Dalším stěžejním faktorem při výstavbě fotovoltaických elektráren je orientace a sklon plochy, na kterou záření dopadá. Největší výkon ze slunečního záření lze získat na ploše kolmé k dopadajícím paprskům. Ovšem zařízení k otáčení panelů ke slunci není vzhledem ke své ceně a nutné pravidelné údržbě výhodné. Pro celoročně dobré výsledky se sklon panelů doporučuje kolem 45° . Pro větší efektivitu lze v zimní období zvýšit sklon až k 60° a v létě naopak snížit až ke 30° . Vzhledem k tomu, že v létě je intenzita slunečního záření vyšší a tím pádem i množství vyrobené elektrické energie, volí se pro statickou polohu panelů natočení kolem 35° . Horizontální orientace se pro nejlepší výsledky doporučuje směrem na jih, případně s mírnou odchylkou na jihozápad.



Obr. 2.3 Mapa intenzity záření na území ČR v kWh/m^2 [11]

2.5 Ostrovní systém off-grid [10]

Ostrovní systémy využívají pouze přímo vyrobenou elektřinu a nejsou připojeny k rozvodné síti. Využitelné jsou hlavně pro zásobování elektrickou energií v místech, kde není v blízkosti rozvodná síť. Jedná se zejména o odlehle stavby nebo obytné dopravní prostředky. Přímé využívání vyrobené energie z panelů je samozřejmě výhodou, ale spotřeba v průběhu dne značně kolísá. Proto je zapotřebí akumulací systém pro uložení energie na dobu, kdy fotovoltaické panely nebudou schopné pokrýt aktuální spotřebu. Dále je nutný regulační systém, který zajistí dobu nabíjení a vybíjení, aniž by byla ovlivněna jejich životnost. Pokud však v objektu není zajištěn dostatečný výkon panelů, obvykle se pořizují záložní zdroje energie.

2.6 Síťový systém on-grid [10] [12]

On-grid systém je neustále napojený na rozvodnou síť. K provozu není třeba žádného akumulátoru, jelikož nespotřebovaná energie je dodávána rovnou do distribuční sítě. Tyto systémy jsou nejčastěji realizované na větších plochách (pole, louky). On-grid systémy se pořizovaly zejména kvůli vysoké výkupní ceně elektřiny v podobě tzv. Zeleného bonusu. Dotace na vykupování vyrobené energie byly v minulých letech velmi štědré a z fotovoltaiky se stal výnosný byznys. Pro nově postavené elektrárny se výkupní ceny již nedotují

a přebytky se prodávají pouze za tržní cenu, která je individuální a v současnosti nedosahuje ani jedné koruny za kilowatthodinu.



Obr. 2.4 On-grid systémy [13]

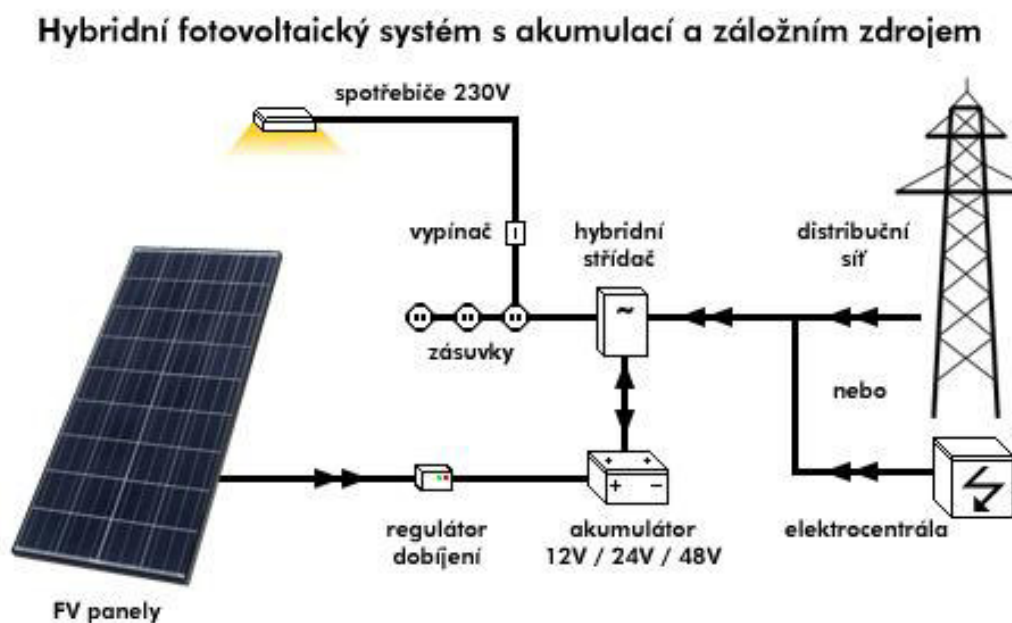
2.7 Hybridní systém [14]

Hybridní systém je v současnosti nejlepší způsob, jak využít vyrobenou energii z fotovoltaických panelů. Jedná se o kombinaci předchozích typů, kde se využívá akumulátor a zároveň připojení k rozvodné síti. Největší výhoda tkví v nezávislosti. Objekt využívající tento systém není zásadně omezen během provozu, ať už v případě špatného počasí nebo při výpadcích sítě. Hybridní systém v době přebytku elektřiny a plně nabitých akumulátorů může také dodávat energii do sítě. Při výpadku dodávky je systém automaticky oddělen a funguje nezávisle.

U menších systémů není výjimkou, že veškerá vyrobená energie se vyčerpá na dobíjení akumulátoru, provoz domácích spotřebičů a ohřev vody. Systém tedy nevydělává na prodeji, ale všechnu vyrobenou energii spotřebuje na místě. V tomto případě musí být systém oddělen od sítě a není nutné tak žádat o povolení ze strany energetického regulačního úřadu. Dalším rozdílem oproti ostrovnímu systému je nutnost hybridního střídače, který umožňuje příjem energie ze sítě.

V systému je možné nastavení primárního zdroje energie podle aktuálního výkonu. Při nižším výkonu může elektrárna fungovat jako záložní zdroj nebo pouze pro samostatné okruhy spotřeby (běžné spotřebiče, osvětlení). Při nadbytku vyrobené energie ji lze využít i k fotovoltaickému ohřevu vody. Tento způsob ohřevu není drahý a zajišťuje lepší účinnost za slunečných dní. Důvodem k pořízení hybridního systému může být dlouhodobá a relativně stabilní investice. Hlavní nevýhodou systému je vyšší cena. Podle výrobců se návratnost

pohybuje kolem 12 let, ale může být ovlivněna individuálními vlastnostmi objektu a nelze ji tak přesně určit.



Obr 2.5 Schéma hybridního systému [15]

3 Akumulace elektrické energie

Nejaktuálnějším problémem fotovoltaických elektráren je ukládání elektrické energie. Hlavním důvodem, proč přistupovat k akumulaci, jsou časové rozdíly maximální výroby a spotřeby. Pokud se přebytečná energie nedodává do distribuční sítě, vznikají obrovské ztráty a celý systém se stává neefektivním. Nejlepším způsobem, jak se tomuto problému vyhnout, je část vyrobené energie uložit a následně využívat, kdy jí bude potřeba. V současné době jde vývoj velmi rychle dopředu. Přibývá dalších způsobů, jak uložit energii, a také se zvyšuje výdrž a efektivita akumulčních zařízení. Princip akumulace spočívá v přeměně elektrické energie na jinou formu (chemickou, potenciální, kinetickou atd.), ve které lze uchovat a v době potřeby převést zpět. Při převodu mezi jednotlivými formami energie mohou vznikat ztráty. Rozhodující faktory akumulčních systémů jsou uvedeny v tab. 3.1 a dále budou porovnávány v následujících podkapitolách.

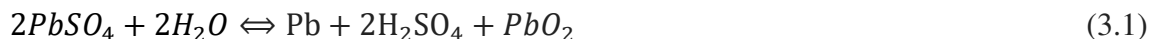
Tab 3.1 Druhy akumulace [16]

Technologie	Umístění	Výstupní energie	Účinnost (%)	Investiční náklady (USD/kW)	Hlavní účel využití
PVE	Výroba	Elektrická	50–85	500–4600	Dlouhodobé/denní uskladnění
UTES	Výroba	Tepelná	50–90	3400–4500	Dlouhodobé uskladnění
CAES	Výroba	Elektrická	27–70	500–1500	Dlouhodobé/denní uskladnění
Akumulace v izolované jámě	Výroba	Tepelná	50–90	100–300	Aplikace v rozmezí středních teplot (10–250 °C)
Roztavené soli	Výroba	Tepelná	40–93	400–7400	Vysokoteplotní aplikace (>250 °C)
Baterie	Výroba, Spotřeba	Elektrická	75–95	300–3500	Autonomní systémy (off-grid), krátkodobé uskladnění
Termochemické	Výroba, Spotřeba	Tepelná	80–99	1000–3000	Aplikace v nízkých, středních i vysokých teplotách
Vodík	Výroba, Spotřeba	Elektrická, Tepelná	22–50	500–750	Dlouhodobé uskladnění
Setrvačníky	Přenos a distribuce	Elektrická	90–95	130–500	Krátkodobé uskladnění
Superkapacity	Přenos a distribuce	Elektrická	90–95	130–515	Krátkodobé uskladnění
SMES	Přenos a distribuce	Elektrická	90–95	130–515	Krátkodobé uskladnění
Do pevného média	Spotřeba	Tepelná	50–90	500–3000	Aplikace v oblasti středních teplot
Do ledu	Spotřeba	Tepelná	75–90	6000–15000	Aplikace v oblasti nízkých teplot

3.1 Olověné akumulátory [17]

Historie olověného akumulátoru sahá až do roku 1859, kdy byl poprvé sestrojen francouzským fyzikem Gastonem Planté. Dnešní akumulátor se obvykle skládá z několika článků, které jsou tvořeny olověnými deskami (elektrodami), nejčastějším elektrolytem bývá

kyselina sírová. Jednotlivé články se zapojují sériově a každý dosahuje napětí 2 V. Chemický proces probíhající v akumulátoru lze popsat rovnicí:

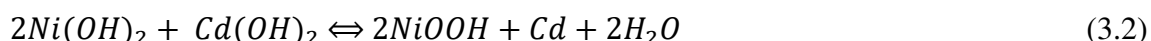


Aby se baterie začala nabíjet, je zapotřebí reakce síranu olovnatého s vodou, při které vzniká kyselina sírová, olovo a oxid olovičitý. Jakmile je baterie nabitá, na kladné elektrodě se nachází oxid olovičitý a na záporné elektrodě olovo. Charakteristickým jevem doprovázejícím nabíjení je zvyšující se hustota elektrolytu. Koncentrace kyseliny sírové při úplném nabití se pohybuje mezi 28–40 %. Naopak při vybíjení se hustota elektrolytu snižuje, což je způsobeno spotřebováním kyseliny sírové. Při úplném vybití se na kladné i záporné elektrodě nachází síran olovnatý, liší se pouze rozdílnou barvou.

Olověný akumulátor se pro svou schopnost dodávat vysoké hodnoty proudu používá v automobilním průmyslu. Další výhodou je poměrně nízká cena oproti ostatním druhům. Jako nevýhody se nejčastěji uvádí vysoká hmotnost, relativně nízká životnost (obvykle 3–8 let), samovybíjení a sulfatace. Samovybíjení je proces, kdy vlivem chemických reakcí (koroze olova, reakce elektrod s vodným roztokem) dochází k samovolnému vybíjení. Závisí na teplotě, koncentraci kyseliny sírové a počtu nabíjecích cyklů. Podle úrovně vyspělosti akumulátoru se pohybuje až do 30 % celkové kapacity za měsíc. Sulfatace elektrod spočívá v přeměně jemného síranu olovnatého na tvrdou hrubozrnnou vrstvu, která znemožňuje nabíjení. Je způsobena nedostatečným dobíjením akumulátoru nebo dlouhodobým uchováním ve vybitém stavu.

3.2 Ni-Cd akumulátory [18] [19]

Ni-Cd akumulátory byly objeveny na přelomu 19. a 20. století a v průběhu času se pro nás staly téměř nepostradatelnými. Články se skládají z kladné elektrody, kde aktivní složkou je hydroxid nikelnatý, a záporné elektrody, která obsahuje hydroxid kadmnatý. Jako elektrolyt se používá vodný roztok hydroxidu draselného. Nominální napětí jednoho článku je 1,2 V. Chemické procesy probíhající při nabíjení a vybíjení charakterizuje následující rovnice:



Ni-Cd akumulátory mají široké využití od UPS zdrojů až po záložní zdroje v dopravních prostředcích. Jejich hlavní výhoda spočívá v dlouhé životnosti. Obvykle se uvádí v intervalu 10–20 let. Oproti olověným akumulátorům je lze úplně vybit, aniž by to ovlivňovalo další životnost, mají nižší hmotnost, menší rozměry a lépe odolávají nepříznivým podmínkám. Mezi jejich nevýhody patří vysoký obsah kadmia, které je jedovaté a ekologicky škodlivé, nižší napětí a vyšší cena.

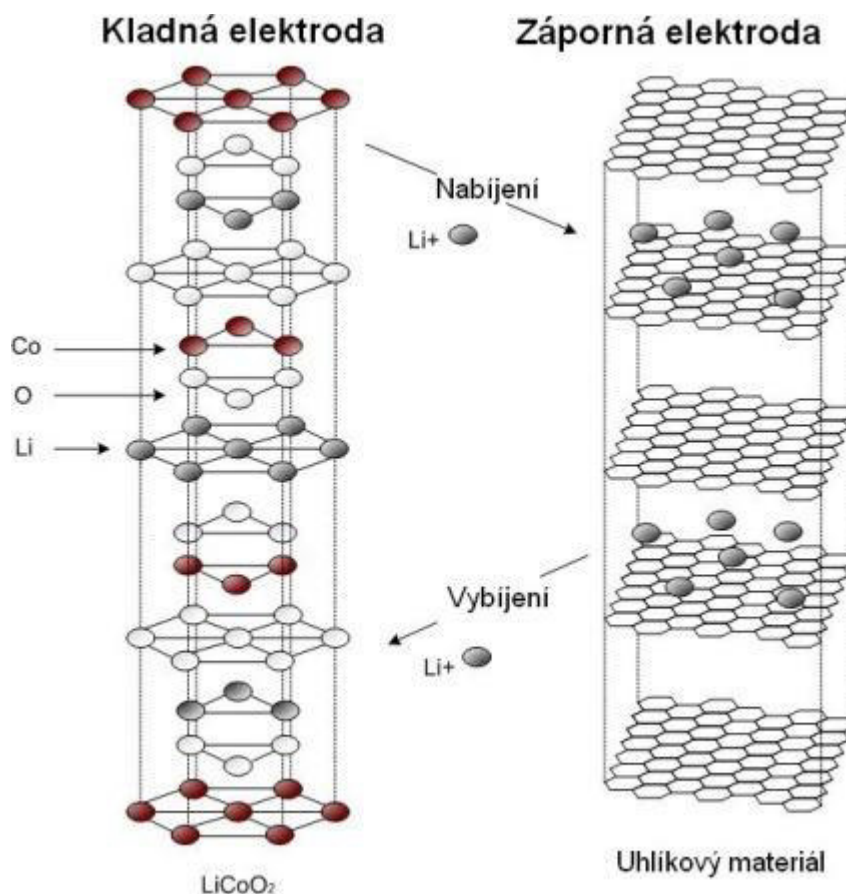


Obr. 3.1 Ni-Cd akumulátory [20]

3.3 Li-ion akumulátory [21] [22]

Li-ion akumulátory jsou oproti předešlým typům poměrně nové a jejich vývoj stále probíhá. Nabíjecí baterie se pro komerční využití začaly objevovat až od 90. let 20. století. Oficiálně se uvádí, že jejich napětí je 3,6 V. V praxi však tyto akumulátory potřebují k nabíjení až 4,0–4,2 V a vybíjecí napětí 2,5–3,0 V. Nejčastěji se s nimi lze setkat ve spotřebních elektronických zařízeních. Baterie obsahují tzv. balanční obvody, které kontrolují a regulují napětí na článcích. Důvodem je souměrné nabití všech článků. Při absenci těchto obvodů by mohlo dojít k poklesu výkonu akumulátoru nebo k přebití, které v krajním případě může způsobit požár či explozi.

Baterie pracují na principu přesunování lithiových iontů z kladné elektrody na zápornou při nabíjení a naopak při vybíjení. Ionty lithia se pouze přesunou do mřížky materiálu, ale nevzniká zde žádná chemická reakce. Baterie tak získají delší životnost než v ostatních případech. Složení kladné elektrody se může lišit, obvykle se používá lithium-kobalt oxid (LiCoO_2), lithium-mangan oxid (LiMn_2O_4) nebo lithium-nikl dioxid (LiNiO_2). Záporná elektroda je téměř vždy vyrobená z uhlíkového materiálu a elektrolytem je látka lithium hexafluorofosfát (LiPF_6).



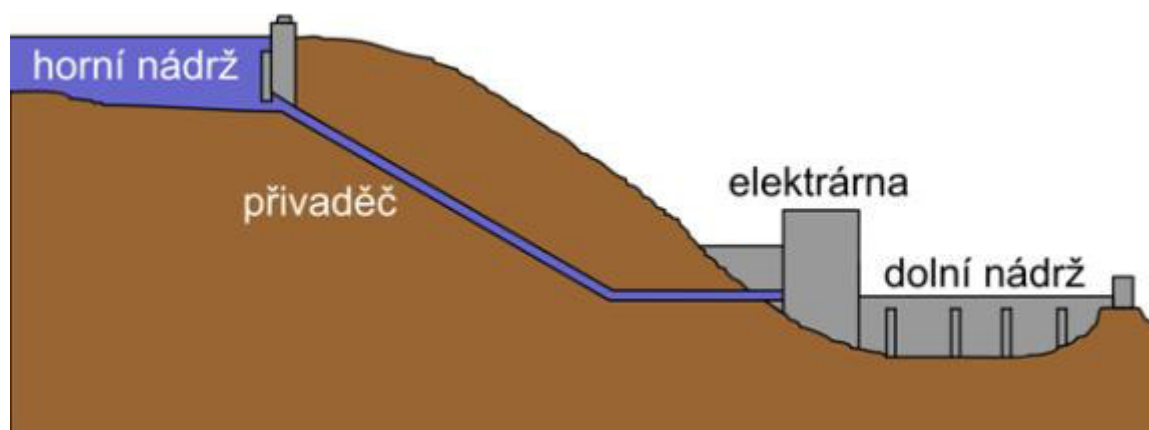
Obr. 3.2 Proces nabíjení a vybíjení v Li-ion akumulátoru [21]

Li-ion akumulátory se dnes nachází ve většině spotřební elektroniky. Jejich výhodou je vysoká energetická hustota, nízká hmotnost a nízká hodnota samovybíjení, naopak mezi nevýhody se řadí postupná ztráta kapacity a pokles výkonu při nízkých teplotách.

3.4 Přečerpávací elektrárna [23] [24]

Přečerpávací elektrárna je v současnosti nejvíce využívanou technologií k akumulaci většího množství elektrické energie na dlouhou dobu. Je to soustava dvou vodních nádrží v rozdílné výšce, které jsou spojené potrubím s reverzní turbínou. Původně se začaly stavět z důvodu vyrovnávání nerovnoměrné spotřeby a jako úložiště energie pro jaderné elektrárny, ale jejich důležitost stoupá také s rozvojem obnovitelných zdrojů energie.

Princip funkce je jednoduchý. V době, kdy elektrická spotřeba v síti roste, voda z výše položené nádrže pohání turbínu a generuje tak elektrickou energii. Když je energie dostatek, přečerpává se voda z níže položené nádrže pomocí reverzní turbíny zpět. Tím je zajištěn stálý provoz.



Obr. 3.3 Schéma přečerpávací vodní elektrárny [25]

Výhodou přečerpávací elektrárny je její vysoká životnost a možnost regulovat nerovnoměrný odběr elektrické energie. Na plný výkon je schopná se dostat ve velmi krátkém čase, a to v řádech desítek sekund až minut. Nevýhodou je prostorová náročnost a s ní spojené vysoké náklady na stavbu. Z tohoto důvodu jsou např. v ČR pouze 3 přečerpávací elektrárny (Dlouhé Stráně, Dalešice a Štěchovice).

3.5 Setrvačníky [24] [26]

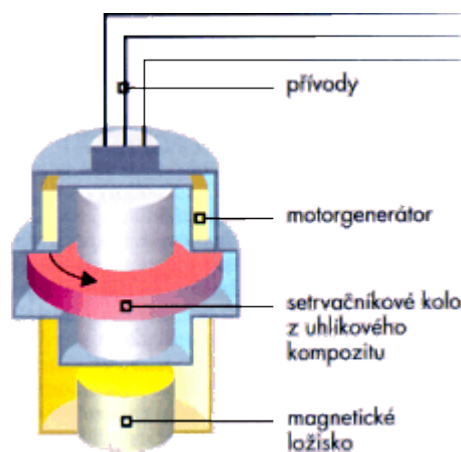
Setrvačníky jsou jedním z nejstarších způsobů ukládání energie. Princip jejich funkce je velmi jednoduchý a spočívá v přeměňování elektrické energie na kinetickou, kterou lze vyjádřit vztahem:

$$E = \frac{1}{2} I \omega^2 \quad [\text{J}] \quad (3.3)$$

kde I ... moment setrvačnosti $[\text{kg} \cdot \text{m}^2]$
 ω ... úhlová rychlost $[\text{rad/s}]$

V praxi rozdělujeme setrvačníky na dva typy. První z nich je nízkootáčkový, který disponuje vysokou hmotností a jeho výkon je dán hlavně vysokým momentem setrvačnosti. Počet otáček se obvykle pohybuje v řádech několika tisíc. Druhým typem je vysokootáčkový, kde se klade důraz na hodnotu úhlové rychlosti, protože kinetická energie roste s její druhou mocninou. Počet otáček se může blížit i k hodnotě sto tisíc za minutu. Tyto setrvačníky se vyrábí z materiálů s vysokou pevností v tahu a jsou velmi náročné na přesnost. Tomu odpovídá i jejich cena.

Nejnovější typy setrvačníků se vyrábí z velmi lehkých druhů kompozitů (např. karbonová vlákna). Hlavní součástí je rotor, který se točí ve vakuové komoře a je urychlován pomocí elektromagnetů. Při pohybu tak na něj nepůsobí žádné tření a jeho životnost se výrazně zvyšuje. Další součástmi jsou motor/generátor a magnetická ložiska k upevnění setrvačniku.



Obr 3.4 Části setrvačniku [27]

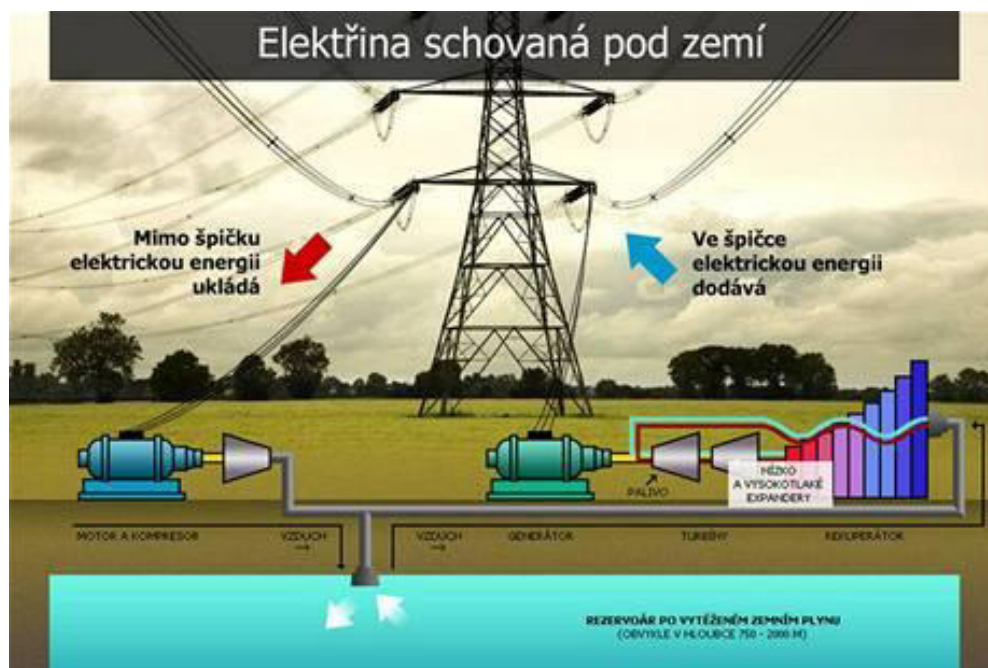
Mezi hlavní výhody se řadí velmi rychlá aktivace a vysoký výkon. Setrvačník disponuje relativně vysokou účinností (obvykle kolem 85 %) a nejnovější typy i velmi vysokou životností. Ve spojení s obnovitelnými zdroji energie lze zmínit schopnost regulace nerovnoměrné výroby energie. Mezi nevýhody se naopak řadí jeho vysoká cena. Možnosti využití jsou omezené, jelikož setrvačník je schopen uchovat velmi vysoký výkon ale pouze po krátkou dobu. Slouží proto pouze jako záložní zdroje nebo v kombinaci s jiným typem akumulátoru.

3.6 CAES [28] [29]

Compressed air energy storage (v překladu „ukládání energie ve stlačeném vzduchu“) je dalším způsobem jak akumulovat vyrobenou energii. Ve skutečnosti existuje velmi málo elektráren využívajících tento typ. Hlavním důvodem jsou specifické požadavky, které neumožňují rozšíření. K maximálnímu využití jsou zapotřebí obrovské zásobníky (nejčastěji podzemní prostory), do kterých se vhání stlačený vzduch.

Tlakovzdušné elektrárny fungují na podobném principu jako přečerpávací. V době, kdy není třeba dodávat energii do sítě, se jí využívá ke stlačování vzduchu do zásobníků. V opačném případě natlakovaný vzduch pohání turbínu a produkuje elektrickou energii. Tímto způsobem lze efektivně regulovat nerovnoměrnou výrobu.

Oproti přečerpávací elektrárně je zde nižší účinnost, a to pouze kolem 50 %. Hlavním důvodem takto nízké účinnosti je fakt, že vzduch se při stlačování zahřívá, během skladování vychladne a při návratu do turbíny se musí znovu zahřívát, aby nedocházelo ke kondenzaci. K ohřátí se využívá zemní plyn. K vylepšení účinnosti byl vyvinutý nový systém AA-CAES (Advanced Adiabatic CAES), který akumuluje teplo vzniklé při stlačení vzduchu. Hodnota účinnosti se tak navýšila až na 70 %.



Obr. 3.5 Schéma CAES [29]

3.7 Akumulátory budoucnosti [30] [31]

Vodík je jedním z nejperspektivnějších zdrojů energie pro blízkou budoucnost. V současnosti se vyvíjí způsoby, jak ho co nejefektivněji využít. Výhodou vodíku je jeho snadná výroba. Provádí se elektrolýzou vody v elektrolyzáru a dále se skladuje v tlakových lahvích. V kombinaci s fotovoltaickým systémem ho lze využít jako krátkodobý akumulátor. Pro zpětný převod na elektrickou energii se vodík používá jako palivo pro palivový článok. Nevýhodou může být provoz více zařízení včetně elektrolyzáru a palivového článku. Každá část systému má vlastní účinnost a tím klesá účinnost celková. Následující tabulka uvádí účinnosti jednotlivých komponentů.

Tab. 3.2 Průměrné energetické účinnosti v různých částí hybridního systému [30]

Komponenta	Energetická účinnost (%)
FV články	11,2–12,4
Akumulátory	85
Střídač	90
Elektrolyzáru	56
Úložiště vodíku	100
Palivové články	30–44

Další revoluční akumulátor vyvinula česká firma HE3DA. [24] Jedná se o lithiové baterie s elektrodami silnými několik milimetrů tvořené ze speciálních nanomateriálů. Akumulátor oplývá velkým množstvím výhod oproti ostatním druhům. Díky separátorům oddělujícím elektrody a absenci pojiv je baterie velmi bezpečná a spolehlivá. Pro chlazení a čištění zevnitř je možná výměna elektrolytu. Nižší bude také cena, jelikož výrobní proces je jednodušší, elektrody se pouze lisují, a tak odpadají další náročné operace (např. tažení). Dále je baterie schopna tzv. potenciostatického režimu, tedy možnosti přepínání mezi režimy nabíjení a vybíjení podle toho, zda energie proudí dovnitř nebo ven, bez systému řídicí elektroniky.

To je samozřejmě velkou výhodou pro fotovoltaické systémy. Budoucnost baterií bude směřovat do automobilového průmyslu a do obnovitelných zdrojů energie.



Obr. 3.6 Baterie HE3DA [32]

4 Návrh fotovoltaického systému

4.1 Umístění

Pro návrh fotovoltaické elektrárny byl zvolen objekt, který se nachází ve východních Čechách v obci Sloupnice na souřadnicích 49°55'42.8" severní šířky a 16°17'14.3" východní délky. Střecha objektu, která bude využita pro umístění panelů, směřuje na jih s mírným odklonem na jihozápad. Úhel odklonu je asi 9°. Sklon střechy svírá úhel přibližně 40° s rovinou. Plocha střechy je úplná a nenachází se zde žádné předměty, které by mohly ovlivnit dopad slunečního světla. Maximální rozměry střechy určené pro panely jsou 13 m na délku a 3,5 m na výšku. Využitelná plocha pro realizaci panelů je tedy 45,5 m².

4.2 Energetická náročnost

Cílem návrhu není dosáhnout minimální spotřeby v objektu a cesta k nezávislosti na rozvodné síti, ale zlevnění nákladů na energetický provoz rodinného domu. Systém je tedy navrhován na aktuální spotřebu a je brán jako investice s předpokládanou návratností.

Pro určení spotřeby objektu je zapotřebí uvést bilanci spotřebičů, které jsou nejvíce energeticky náročné a určit jejich průměrné používání. Objekt je obýván celoročně a spotřebiče jsou tedy využívány každý den. Analýza spotřeby bude proto prováděna bez ohledu na úsporu energie. Předpokládané hodnoty spotřeby v tab. 4.1 jsou uvedené na základě osobního sdělení Romana Hroděje (vedoucího projektanta firmy elektro-sychra, spol. s r.o., Jilemnického 233, Ústí nad Orlicí) dne 20. května 2017.

Tab. 4.1 Bilance předpokládané spotřeby rodinného domu [33]

Spotřebič	P _i [kW]	β	P _s [kW]	t _l [h]	t _z [h]
Osvětlení	2	0,5	1	3	5
Ohřev TUV	2,2	1	2,2	6	6
Elektrické vytápění	12	0,7	8,4		12
Kuchyňské spotřebiče	15	0,4	6	3	3
Filtrace bazénu	0,8	1	0,8	8	
Zavlažování	1,5	1	1,5	1	
Ostatní spotřebiče	4	0,5	2	1	1
Celkem	37,5		21,9	22	27
Celková soudobost		0,7			
Celkový příkon	37,5		15,33		
Celkový příkon v letním období	27,1		9,45		
Celkový příkon v zimním období	35,2		13,72		

P_i....instalovaný příkon [kW]

P_s....soudobý příkon (maximální odběr, který může nastat v průběhu dne) [kW]

β....součinitel soudobosti [-]

t_l....průměrný čas používání za 1 den v letním období (tj. květen - září) [h]

t_z....průměrný čas používání za 1 den v zimním období (tj. říjen - duben) [h]

.....zimní provoz

.....letní provoz

Celková spotřeba v letním období za den:

$$E_l = \sum P_s \cdot t_l = 3 \cdot 1 + 6 \cdot 2,2 + 3 \cdot 6 + 8 \cdot 0,8 + 1 \cdot 1,5 + 1 \cdot 2 = 44,1 \text{ kWh} \quad (4.1)$$

Celková spotřeba v zimním období za den:

$$E_z = \sum P_s \cdot t_z = 5 \cdot 1 + 6 \cdot 2,2 + 12 \cdot 8,4 + 3 \cdot 6 + 1 \cdot 2 = 139 \text{ kWh} \quad (4.2)$$

Celková spotřeba v letním období:

$$E_{cl} = E_l \cdot n_l = 44,1 \cdot 153 = 6,75 \text{ MWh} \quad (4.3)$$

Celková spotřeba v zimním období:

$$E_{cz} = E_z \cdot n_z = 139 \cdot 212 = 29,47 \text{ MWh} \quad (4.4)$$

Celková spotřeba za rok:

$$E_r = E_{cz} + E_{cl} = 29,47 + 6,75 = 36,22 \text{ MWh} \quad (4.5)$$

Celková spotřeba bez elektrického vytápění za rok:

$$E_{r2} = E_{cl} + 212 \cdot (139 - 12 \cdot 8,4) = 14,85 \text{ MWh} \quad (4.6)$$

Celková spotřeba bez elektrického vytápění a bez ohřevu TUV:

$$E_{r3} = 153 \cdot (44,1 - 6 \cdot 2,2) + 212 \cdot (139 - 12 \cdot 8,4 - 6 \cdot 2,2) = 10,03 \text{ MWh} \quad (4.7)$$

Celková spotřeba v letním období bez ohřevu TUV:

$$E_{cl2} = 153 \cdot (44,1 - 6 \cdot 2,2) = 4,73 \text{ MWh} \quad (4.8)$$

4.3 Dopadající energie

Pro získání hodnot dopadající solární energie na vybrané území byl použit volně přístupný online systém PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System). Systém porovnává data z několika předchozích let, na základě kterých určí průměr. Hodnoty jsou porovnávány z databáze Climate-SAF PVGIS, kde jsou data založená na satelitních snímcích za 13 let v období od roku 1998 do 2011. Po zadání lokality, sklonu střechy a její orientaci vygeneruje hodnoty dopadající energie na uvedené místo (tab. 4.2).

Tab. 4.2 Množství dopadajícího záření na jižně orientovanou plochu pod úhlem 40°

Měsíc	E_p [Wh/m ² /den]
Leden	1030
Únor	1820
Březen	3540
Duben	5050
Květen	5140
Červen	5230
Červenec	5210
Srpen	4960
Září	3930
Říjen	2700
Listopad	1310
Prosinec	856
Průměr	3400

Fotovoltaický panel dokáže přeměnit pouze 15–18 % dopadajícího záření v závislosti na typu panelů. Při výpočtu získané elektrické energie je nutné započítat i ztráty způsobené jednotlivými komponenty systému, odrazivostí, teplotou atd. Celkové ztráty budou započítány při výpočtu výroby elektřiny z panelů.

4.4 Výběr komponentů

Pro porovnání fotovoltaických systémů bylo vybráno několik typů různých firem. Prvním typem je hybridní systém od firmy Neosolar:

- **EasySolar 3000VA/48V - 3,18 kWp** [34]

Seznam komponentů, které sestava obsahuje:

- 1x EasySolar 48V/3000VA/70-50A MPPT 150/70 (centrální jednotka systému)
- 12x solární panel Amerisolar 250Ah/12V
- 4x solární baterie Hoppecke 250Ah/12V
- 1x sledovač stavu BMV-700
- 1x montážní rámeček pro BMC-700
- 1x VE. direct kabel 1,8 m
- 1x kompletní háková konstrukce pro 12 panelů na šikmou střechu, 3 řady po 4 panelech (hliník, nerez)
- Cena: 220 970 Kč (včetně DPH)

Solární systém EasySolar je tvořen centrální jednotkou, na kterou jsou připojené panely, baterie, přípojka k síti i spotřebiče. Jde o přístroj s funkcemi měniče, solárního MPPT regulátoru (přístroj, který sleduje bod maximálního dosažitelného výkonu a tím zvyšuje celkovou účinnost systému [35]) i vzdáleného monitoringu celkové soustavy. Systém je určen pro provoz s rozvodnou sítí, ale upřednostňuje vyrobenou a naakumulovanou energii před dodávkou ze sítě. S funkcí GridAssist odebírá ze sítě pouze energii, kterou nedokáže dodat z vlastních zdrojů. Solární systém EasySolar je schopen fungovat i v kombinaci se záložním zdrojem nebo pouze v ostrovním provozu. Nemá problém ani s případným rozšířením stávajícího počtu fotovoltaických panelů.

Solární panel Amerisolar 250Ah/12V [36] je polykrystalický fotovoltaický modul s rozměry $1640 \times 992 \times 40$ mm a hmotností 18 kg. Panel se skládá z 60 fotovoltaických článků a jeho nominální výkon je 265 Wp. Mezi jeho klíčové vlastnosti patří vysoká účinnost až 16,3 %.



Obr. 4.1 Schéma systému EasySolar [34]

○ **HOME GRID RD Klasik 2** [37]

Systém HOME-GRID RD Klasik 2 obsahuje:

- 18 ks fotovoltaických panelů OMSUN 250 Wp + konstrukce pro uchycení solárních panelů na střechu
- 3 ks LiFePO4 akumulátoru BYD B-PLUS 2.5
- 1 ks regulátoru nabíjení Studer Innotec VT 80A
- 1 ks měniče napětí Studer Innotec XTM 4000-48 (48V / 230V / čistá sinusoida)
- příslušenství k systému Studer Innotec - RCC-03, BTS-01, RCM-10, Xcom-CAN
- kabeláž a materiál elektro
- Cena 429 288 Kč (včetně DPH)

HOME-GRID RD Klasik 2 je ucelený fotovoltaický systém pro vlastní spotřebu s výkonem 4,5 kWp a s možností dotace v programu Nová zelená úsporám. HOME-GRID umožňuje snížení energetické závislosti na síti současně s maximálním využitím vyrobené energie. Pomocí funkce nepřerušitelného záložního zdroje (UPS) se systém při výpadku dodávky ze sítě prakticky okamžitě přepne na ostrovní provoz. Další z funkcí je možnost plynule odebírat elektřinu ze sítě při nedostatečném slunečním záření. V případě pořízení baterie je umožněn výběr kteréhokoliv druhu. Novinkou je případné využití sekundárního akumulátoru s technologií vodního zásobníku. Fotovoltaické panely, které jsou součástí sestavy, mají výkon 250 Wp s účinností 15,2 %. Jeden modul váží 20,5 kg a délkové rozměry

v milimetrech jsou $1640 \times 991 \times 40$. Plocha panelů zakrývá $30,6 \text{ m}^2$ střechy. Záruka na 80 % procent výkonu panelů je 25 let.

○ **Ostrovní fotovoltaická elektrárna 4680 Wp [38]**

Sestava obsahuje:

- 18x FV solární panel 260 Wp (BENQ AUO poly)
- 1x montážní konstrukce pro 6 sad po 3 panelech pro taškovou střechu
- 1x akumulátor BMZ ESS 7.0 (6,7 kWh nominálně / 5 kWh každodenní kapacita)
- 1x hybridní měnič Victron EasySolar 5 kVA (v hybridním režimu až 14kW)
- 1x barevný displej - monitoring s dálkovou správou a zobrazováním grafů
- solární kabel, kabely k bateriím, MC4 konektory, spojky a další elektromateriál
- Cena 376 540 Kč (včetně DPH)

Hybridní systém s výkonem 4,7 kWp vyhovuje podmínkám dotačního programu Nová zelená úsporám. Elektrárna má mnoho specifických funkcí. Mezi nejdůležitější patří ochrana baterií před hloubkovým vybitím. Dále je zde možnost kontroly a ovládání celého systému přes internet. Elektrárna dokáže během slunečného dne vyrobit až 29 kWh energie, která bohatě postačí na napájení kompletního odběru rodinného domu. Měnič EasySolar zvládá v hybridním režimu napájet i náročné spotřebiče s motory a kompresory. Systém je možné rozšířit o tři nebo více panelů bez nutnosti výměny ostatních komponentů. Použité panely jsou polykrystalického typu s výkonem 260 Wp a účinností 16,1 %. Rozměry jednoho panelu jsou $1639 \times 983 \times 40 \text{ mm}$ a váží 18,5 kg.

4.5 Výroba energie

Výpočet teoretické výroby energie probíhal opět v online systému PVGIS. Na základě požadovaných charakteristik získaných z jednotlivých hybridních systémů byly vyhodnoceny předpokládané hodnoty vyrobené energie pro každý měsíc. Do výpočtu jsou započítány i ztráty způsobené ostatními komponenty systému.

Tab. 4.3 EasySolar 3000VA/48V - 3,18

Měsíc	E_d	E_m
Leden	2,79	86,6
Únor	4,82	135
Březen	9,01	279
Duben	12,3	370
Květen	12,3	382
Červen	12,4	371
Červenec	12,1	375
Srpen	11,6	360
Září	9,52	286
Říjen	6,82	212
Listopad	3,41	102
Prosinec	2,28	70,6
Letní období	9,4*	1775
Zimní období	5,9*	1255
Celkem		3030

Tab. 4.4 HOME GRID RD Klasik 2

Měsíc	E_d	E_m
Leden	3,93	122
Únor	6,78	190
Březen	12,7	393
Duben	17,4	521
Květen	17,3	538
Červen	17,4	521
Červenec	17	528
Srpen	16,3	506
Září	13,4	402
Říjen	9,6	297
Listopad	4,8	144
Prosinec	3,2	99,3
Letní období	16,3*	2495
Zimní období	8,3*	1765
Celkem		4260

Tab. 4.5 Ostrovní fotovoltaická elektrárna 4680 Wp

Měsíc	E_d	E_m
Leden	4,1	127
Únor	7,08	198
Březen	13,2	410
Duben	18,1	544
Květen	18,1	562
Červen	18,2	545
Červenec	17,8	551
Srpen	17	528
Září	14	420
Říjen	10	311
Listopad	5,01	150
Prosinec	3,34	104
Letní období	17*	2606
Zimní období	8,7*	1844
Celkem		4450

* průměr za dané období

E_d průměrná denní výroba el. energie [kWh/m²]

E_mprůměrná měsíční výroba el. energie [kWh/m²]

4.6 Porovnání baterií

- Solární baterie Hoppecke 250Ah/12V [39]

Pro porovnání s dalšími akumulátory je nutný převod z Ah na kWh podle vzorce (4.9).

$$E = U \cdot C = 12 \cdot 250 = 3000 \text{ Wh} \quad (4.9)$$



Obr. 4.2 Solární baterie Hoppecke 250Ah/12V [39]

Solární baterie Hoppecke 250Ah/12V je vyvinuta přímo pro provoz v solárních systémech. Nabízí cyklickou odolnost 3200 cyklů při 40% vybití. Kapacita baterie dosahuje 250 Ah a váží 41 kg. Celková kapacita všech 4 baterií uvedených v sestavě je 12 kWh.

○ **LiFePO4 akumulátor BYD B-PLUS 2.5 [40]**

Využitelná kapacita jedné baterie udávaná výrobcem je 2,4 kWh, využitelná kapacita všech akumulátorů uvedených v sestavě je 7,2 kWh. Účinnost baterie se uvádí větší než 97 % a záruční doba je 10 let. Životnost baterie se uvádí více než 6000 cyklů.



Obr. 4.3 LiFePO4 akumulátor BYD B-PLUS 2.5 [40]

○ **Akumulátor BMZ ESS 7.0 [38]**

Do akumulátoru BMZ ESS 7.0 lze uschovat až 6,7 kWh elektrické energie. Životnost baterie se odhaduje při šetrném užívání až na 7000 cyklů a při vybíjení od 0 do 80 % zhruba 5000 cyklů.



Obr. 4.3 Akumulátor BMZ ESS 7.0 [41]

Z důvodu vysoké energetické náročnosti objektu budou baterie využívány pouze na osvětlení a provoz běžných spotřebičů (kuchyňských a ostatních, viz tab. 4.1) v letním období (23 kWh/den). Vypočítaný čas výdrže je pouze orientační, protože baterie není schopná využít 100 % své kapacity a s časem se bude tato hodnota dále snižovat. Pro udržení požadované výdrže baterie se nedoporučuje nabíjení a vybíjení do krajních hodnot.

Spotřeba v letním období za 1 den (pouze osvětlení a domácí spotřebiče dle tab 4.1):

$$E_{n1} = \Sigma P_s \cdot t_l = 3 \cdot 1 + 3 \cdot 6 + 1 \cdot 2 = 23 \text{ kWh} \quad (4.10)$$

Spotřeba v zimním období za 1 den (pouze osvětlení a domácí spotřebiče dle tab 4.1):

$$E_{n2} = \Sigma P_s \cdot t_l = 5 \cdot 1 + 3 \cdot 6 + 1 \cdot 2 = 25 \text{ kWh} \quad (4.11)$$

Čas napájení běžných spotřebičů z plného nabití:

$$t_s = \frac{C}{E_n} \quad [\text{dny}] \quad (4.12)$$

kde C.....kapacita akumulátoru [kWh]

Čas nabíjení akumulátoru:

$$t_n = \frac{C}{E_d} \quad [\text{dny}] \quad (4.13)$$

kde E_d....průměrná energie vyrobená příslušným systémem za 1 den za období [kWh]

Tab. 4.6 Čas nabíjení a napájení běžných spotřebičů v různých obdobích

	4 × Solární baterie Hoppecke 250Ah/12V	3 × LiFePO4 akumulátor BYD B-PLUS 2.5	Akumulátor BMZ ESS 7.0
t ₁ [dny]	1,28	0,44	0,39
t ₂ [dny]	2,03	0,87	0,77
t ₃ [dny]	0,52	0,31	0,29
t ₄ [dny]	0,48	0,29	0,27

t₁..... Čas nabíjení v letním období

t₂..... Čas nabíjení v zimním období

t₃..... Čas napájení běžných spotřebičů z plného nabití v letním období

t₄..... Čas napájení běžných spotřebičů z plného nabití v zimním období

Z důvodu energetické náročnosti nejsou uvedené baterie schopné zásobovat objekt ani 1 celý den. Pro pokrytí plné spotřeby alespoň 1 dne je zapotřebí akumulátor s kapacitou nejméně 23 kWh. U akumulátoru Hoppecke 250Ah/12V to znamená minimálně 8 kusů, pro LiFePO4 akumulátor BYD B-PLUS 2.5 minimálně 4 kusy a pro akumulátor BMZ ESS 7.0 minimálně 4 kusy. S takto razantním navýšením je nutné počítat také se zvýšenou cenou.

5 Celkové zhodnocení

Pro celkové zhodnocení se nabízí porovnání vyrobené elektrické energie s různými stupni spotřeby. Podle tab. 4.5 vyrobí nejvíce elektřiny za rok Ostrovní fotovoltaická elektrárna 4680 Wp. Z důvodu relativně vysoké spotřeby tento systém nejlépe poslouží k podrobnému srovnání.

Tab 5.1 Porovnání výroby nejvýkonnějšího systému a jednotlivých stupňů spotřeby energie

	Ostrovní fotovoltaická elektrárna 4680 Wp [kWh]	S ₁ [kWh]	S ₂ [kWh]	S ₃ [kWh]
Den v letním období	17	44,1	44,1	30,9
Den v zimním období	8,7	139	38,2	25
Letní období	2606	6750	6750	4728
Zimní období	1844	29470	8100	5300
Rok	4450	36220	14850	10030

S₁..... celková spotřeba objektu

S₂.....spotřeba bez elektrického vytápění

S₃.....spotřeba bez elektrického vytápění a ohřevu TUV

Z výše uvedené tabulky vyplývá, že ani nejvýkonnější z vybraných fotovoltaických systémů nedokáže plně pokrýt celkovou spotřebu objektu. Nejvíce se jí blíží ostrovní fotovoltaická elektrárna 4680 Wp v letním období, ale ani ta není schopna dosáhnout požadovaného výkonu u žádného stupně pokrytí.

$$\frac{P_f}{E_{l2}} = \frac{P}{E_{n1}} \rightarrow \frac{4,7}{17} = \frac{P}{23} \rightarrow P = \frac{23 \cdot 4,7}{17} = 6,6 \text{ kWp} \quad (5.1)$$

kde

P_f.....výkon ostrovní fotovoltaické elektrárny 4680 kWp [kWp]

E_{n1}.....spotřeba v letním období za 1 den pro osvětlení a domácí spotřebiče dle tab 4.1 [kWh]

E_{l2}.....energie vyrobená v letním období za 1 den ostrovní fotovoltaickou elektrárnou 4680 kWp [kWh]

Pro dostatečné pokrytí nejnižšího stupně spotřeby (tj. osvětlení a běžné spotřebiče) v letním období dle tab. 4.1, je zapotřebí výkon alespoň 6,6 kWp (viz rovnice 5.2).

5.1 Návratnost

Při ceně 4 Kč za 1 kWh je návratnost systému úměrná vztahu:

$$n = \frac{p_n}{c \cdot E_1} \quad [\text{let}] \quad (5.2)$$

kde

p_n.....cena jednotlivých systémů [Kč]

c.....cena energie za 1 kWh [Kč]

E₁.....energie vyrobená daným systémem za 1 rok [kWh]

Porovnání jednotlivých systémů z hlediska návratností je uvedeno v tab. 5.2

Tab 5.2 Návratnost jednotlivých systémů

	EasySolar 3000VA/48V - 3,18 kWp	HOME GRID RD Klasik 2	Ostrovní fotovoltaická elektrárna 4680 Wp
Cena [Kč]	220 970	429 288	376 540
Vyrobena energie [kWh/rok]	3030	4260	4450
Návratnost [roky]	18,23	25,19	21,15

6 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo analyzovat provoz fotovoltaického systému s akumulací elektrické energie rodinného domu. V teoretické části jsou stručně popsány základní pojmy od fotovoltaického jevu přes související komponenty systému až po typy celých elektráren. Dále jsou uvedeny nejběžnější způsoby akumulace elektrické energie. U každého způsobu je uvedeno seznámení s principem funkce a základní charakteristiky.

Výpočetní část analyzuje modelový případ rodinného domu a bilanci jeho energetické spotřeby. Návrh systému je uveden pro aktuální spotřebu, v níž jsou zahrnuty všechny energeticky náročné spotřebiče včetně elektrického vytápění a ohřevu TUV. Stanovené příkony a soudobosti je velmi těžké přesně určit, proto se mohou lišit od skutečných hodnot. Spotřeba je rozdělena na letní (květen–září) a zimní období (říjen–duben). Následuje přehled vybraných fotovoltaických systémů volně dostupných na trhu a seznámení s jejich komponenty. U všech systémů byla pomocí volně dostupného online systému PVGIS vypočítána výroba energie za každý měsíc.

Při porovnání vyrobené elektrické energie a spotřeby bylo zjištěno, že žádný z uvedených systémů nedokázal pokrýt veškerou vypočtenou spotřebu. Ukázalo se, že elektrické vytápění je velmi energeticky náročné a má téměř 9krát vyšší spotřebu, než dokáže vyrobit nejvýkonnější uvažovaný systém. Pro nejnižší stupeň pokrytí (osvětlení a domácí spotřebiče) je potřeba systém s minimálním výkonem 6,6 kWp.

Je nutné zdůraznit, že účinnost fotovoltaických panelů se stále pohybuje do 20 % a zdá se, že se tato hodnota blíží ke svým limitům. Jediným možným způsobem, jak zvýšit výkon fotovoltaických systémů, je zvětšit jeho plochu.

Pro autora byla největším zklamáním skutečnost, že návratnost uvedených systémů se ukázala jako velmi dlouhá. Nejkratší návratnost prokázal systém EasySolar 3000VA/48V - 3,18, a to 18,2 let. Naopak nejdelší návratnost 25,2 let byla vypočtena u systému HOME GRID RD Klasik 2.

Dlouhá doba návratnosti je do jisté míry způsobena vysokou cenou daných systémů. Ukazuje se, že současné hybridní systémy s akumulátory pořád ještě nejsou výhodné. Stále se však vyvíjejí nové technologie s příslibem delší životnosti a vyšší kapacity a současně klesá cena stávajících typů. S očekáváním se sleduje pokrok ve firmách He3da a Tesla, které slibují dodat velmi výkonné akumulátory již letos. Budoucnost hybridních fotovoltaických systémů je tak stále otevřená.

7 Seznam použitých zdrojů

- [1] KUSALA, Jaroslav. *Fotovoltaický jev* [online]. 2006 [cit. 2017-03-25]. Dostupné z: <<https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/f8.htm>>.
- [2] BECHNÍK, Bronislav. *Stručná historie fotovoltaiky* [online]. 2014-09-01 [cit. 2017-03-25]. Dostupné z: <<http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/11652-strucna-historie-fotovoltaiky>>.
- [3] KUSALA, Jaroslav. *Solární (fotovoltaické) články* [online]. 2006 [cit. 2017-03-25]. Dostupné z: <<https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k32.htm>>.
- [4] VOBOŘIL, David. *Fotovoltaické elektrárny - princip funkce a součásti, elektrárny v ČR* [online]. 2016-12-16 [cit. 2017-03-25]. Dostupné z: <<http://oenergetice.cz/technologie/obnovitelne-zdroje-energie/fotovoltaicka-elektrarna-princip-funkce-a-soucasti/>>.
- [5] POULEK, Vladislav a Martin Libra. *Konstrukce a výroba fotovoltaických článků a panelů* [online]. 2010-03 [cit. 2017-04-05]. Dostupné z: <<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/40646.pdf>>.
- [6] HASELHUHN, Ralf. *Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu*. Ostrava: HEL, 2011, 176 s. : il. (převážně barev.), mapy ; 21 cm. ISBN 978-80-86167-33-6.
- [7] MARFI 70. *Fotovoltaická cesta* [online]. 2012-02-22 [cit. 2017-03-25]. Dostupné z: <https://www.geocaching.com/geocache/GC2XR3P_fotovoltaicka-cesta?guid=f0d1ce3d-56a5-4ac5-9c58-b2e2f7670df0>.
- [8] SOLÁRNÍ-NOVINKY. *Doporučujeme: Jak vybrat správný střídač pro Vaši elektrárnu?* [online]. 2017-02-08 [cit. 2017-04-05]. Dostupné z: <<http://www.solarninovinky.cz/?zpravy/2013021401/doporucujeme-jak-vybrat-spravny-stridac-pro-vasi-solarni-elektrarnu>>.
- [9] KLIMEK, Petr a Bronislav Bechník. *Střídač pro fotovoltaickou elektrárnu. Jaký střídač zvolíte?* [online]. 2013-02-11 [cit. 2017-04-05]. Dostupné z: <<http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/9555-stridac-pro-fotovoltaickou-elektrarnu-jakou-technologiei-zvolite>>.
- [10] MURTINGER, Karel a Jan TRUXA. *Solární energie pro váš dům*. Brno: Computer Press, 2010, 107 s. : il. (některé barev.) ; 21 cm. ISBN 978-80-251-3241-8.
- [11] Solární novinky. *Vliv slunečního záření na výkon solárních elektráren v podmínkách České republiky* [online]. 2010-01-21 [cit. 2017-04-05]. Dostupné z: <http://www.solarninovinky.cz/index.php?par=rs_4-rl_2010012104-rm_15:91#.V0YTZ5OLTPB>.
- [12] PONCAROVÁ, Jana. *Za kolik dodavatelé vykupují elektřinu z fotovoltaiky?* [online]. 2016-10-21 [cit. 2017-05-03]. Dostupné z: <<https://www.finance.cz/477630-vykup-fotovoltaicke-elektriny/>>.
- [13] DKNV-STAVEBNÍ. *Reference* [online]. [cit. 2017-04-05]. Dostupné z: <<http://www.dknv-stavebni.cz/reference>>.

- [14] DOLEŽEL, Michal. *Hybridní fotovoltaická elektrárna - časem bude v každém domě* [online]. 2017-05-19 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <<http://www.nazeleno.cz/energie/solarni-energie/hybridni-fotovoltacka-elektrarna-casem-bude-v-kazdem-dome.aspx>>.
- [15] SOLARENVI. *Hybridní fotovotaický systém* [online]. 2014 [cit. 2017-04-05]. Dostupné z: <<http://www.solarencvi.cz/a-7-hybridni-fotovoltacky-system.html>>.
- [16] BUDÍN, Jan. *Technologický plán akumulace energie (elektrické a tepelné)* [online]. 2017-05-06 [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <<http://oenergetice.cz/elektrina/akumulace-energie/technologicky-plan-v-oblasti-akumulace-energie/>>.
- [17] HAMMERBAUER, Jiří. *Olověné akumulátory* [online]. [cit. 2017-04-05]. Dostupné z: <<http://canov.jergym.cz/elektro/clanky2/olov.pdf>>.
- [18] BATTEX. *NiCd akumulátory* [online]. 2012 [cit. 2017-04-05]. Dostupné z: <<http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/nicd-akumulatory>>.
- [19] HAMMERBAUER, Jiří. *Akumulátory NiFe a NiCd* [online]. [cit. 2017-04-05]. Dostupné z: <http://www.malavoda.cz/akum_nife_nicd.pdf>.
- [20] WIKIPEDIE. *Nikl-kadmiový akumulátor* [online]. 2017 [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Nikl-kadmiov%C3%BD_akumul%C3%A1tor>.
- [21] TICHÝ, Jiří. *Lithiové akumulátory* [online]. 2015-12-21 [cit. 2017-04-06]. Dostupné z: <<http://elektro.tzb-info.cz/akumulace-elektriny/13612-lithiove-akumulatory>>.
- [22] BATTEX. *Li - akumulátory* [online]. 2012 [cit. 2017-04-06]. Dostupné z: <<http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/li-akumulatory>>.
- [23] BUDÍN, Jan. *Přečerpávací vodní elektrárna - princip a uspořádání* [online]. 2015-03-03 [cit. 2017-04-06]. Dostupné z: <<http://oenergetice.cz/typy-elektraren/precerpavaci-vodni-elektrarna-princip-usporadani-2/>>.
- [24] MAREŠ, Jan, Martin Libra a Vladislav Poulek. *Akumulace elektrické energie* [online]. 2011-02 [cit. 2017-05-03]. Dostupné z: <<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/42869.pdf12>>.
- [25] MURTINGER, Karel. *Ukládání elektriny z fotovoltaických a větrných elektráren* [online]. 2011-05-03 [cit. 2017-04-15]. Dostupné z: <<http://www.nazeleno.cz/energie/energetika/ukladani-elektriny-z-fotovoltackych-a-vetrnych-elektraren.aspx>>.
- [26] ZAJAC, Jaromír. *Jak uložit energii* [online]. 2006-06-08 [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: <<http://www.3pol.cz/cz/rubriky/fyzika-a-klasicka-energetika/744-jak-ulozit-energii>>.
- [27] ENERGYWEB. *Cesty k akumulaci elektrické energie* [online]. [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://www.energyweb.cz/web/index.php?display_page=2&subitem=1..&ee_chapter=6.1.6>.
- [28] TECHNICKÝ TÝDENÍK. *Velkokapacitní zásobníky spolehlivě usnadní přebytky elektriny* [online]. 2006-01-01 [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: <http://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/velkokapacitni-zasobniky-spolehlive-uskladni-prebytky-elektriny_17387.html>.

- [29] JANČAR, Rost'a. *ČEZ zkoumá skladování elektřiny pod zemí. Podívejte se, jak to funguje* [online]. 2009-11-09 [cit. 2017-04-15]. Dostupné z: <http://technet.idnes.cz/cez-zkouma-skladovani-elektriny-pod-zemi-podivejte-se-jak-to-funguje-1jd-/tec_tecnika.aspx?c=A091022_140139_tec_tecnika_rja>.
- [30] BAČA, Petr. *Akumulace energie z OZE - vodíkové hospodářství* [online]. 2011-07-20 [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <<http://oze.tzb-info.cz/7134-akumulace-energie-z-oze-vodikove-hospodarstvi>>.
- [31] ZILVAR, Jiří. *HE3DA: chceme vyrábět akumulátory do automobilů a pro solární pole* [online]. 2016-07-04 [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <<http://elektro.tzb-info.cz/akumulace-elektriny/14422-he3da-chceme-vyrabet-akumulatory-do-automobilu-a-pro-solarni-pole>>.
- [32] HE3DA. *Elon Musk by mal byť v strehu. VČRsa začíná sériová výroba revolučnejbatérie HE3DA* [online]. 2017-01-06 [cit.2017-05-15]. Dostupné z: <<https://www.he3da.cz/single-post/2017/01/06/Elon-Musk-by-mal-by%C5%A5-v-strehu-V-%C4%8CR-sa-za%C4%8D%C3%ADna-s%C3%A9riov%C3%A1-v%C3%BDroba-revolu%C4%8Dnej-bat%C3%A9rie-HE3DA>>.
- [33] HRODĚJ, Roman. *Ústní sdělení* (vedoucí projektant firmy elektro-sychra, spol. s r.o., Jilemnického 233, Ústí nad Orlicí) [cit. 2017-05-20].
- [34] NEOSOLAR. *Hybridní solární systém EasySolar 3000VA/48V - 3,18kWp* [online]. [cit.2017-05-05]. Dostupné z: <<https://eshop.neosolar.cz/hybridni-solarni-system-easysolar-3000va-48v-3-18kwp>>.
- [35] HNILICA, Pavel. *Solární regulátor a MPPT měnič* [online]. [cit. 2017-05-05]. Dostupné z: <<https://www.deramax.cz/6-jaky-solarni-regulator-pouzit-6-dil-ze-serialu-clanku>>.
- [36] NEOSOLAR. *AS-6P30 Polycrystalline module* [online]. 2015 [cit. 2017-05-05]. Dostupné z: <https://www.eshop.neosolar.cz/images_content/1011/3836-O-as-6p30-module-specification-1.pdf>.
- [37] SOLÁRNÍ-PANELY. *HOME-GRID - RD Klasik 2* [online]. [cit. 2017-05-05]. Dostupné z: <<http://solarni-panely.cz/katalog-produktu/home-grid-vase-vlastni-domaci-sit/home-grid-rd-klasik-2>>.
- [38] OSTROVNÍ-ELEKTRÁRNY. *Ostrovni fotovoltaická elektrárna 4680Wp* [online]. [cit. 2017-05-05]. Dostupné z: <http://www.ostrovni-elektrany.cz/index.php?category=kompletni-elektrany&detail=RIZFMTcwMDM=&detail_name=ostrovni-fotovoltaicka-elektrarna-4680wp>.
- [39] NEOSOLAR. *Solární baterie Hoppecke 250 Solar.bloc (Sun Power VRM)* [online]. 2017 [cit. 2017-05-05]. Dostupné z: <<https://www.eshop.neosolar.cz/solarni-baterie-hoppecke-250-solar-bloc-sun-power-vrm>>.
- [40] PROSOLAR. *Akumulace/úložiště energie* [online]. [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <<http://www.prosolar.net/akumulace.php>>.
- [41] E-SHOP.TERMS. *BMZ ESS 7.0 Lithium Iontové Baterie* [online]. [cit.2017-05-20]. Dostupné z: <<http://eshop.terms.eu/cz/e-shop/1291396/c68820-baterie/bmz-ess-70-spanlithium-iontove-baterie-span.html>>.

8 Seznam použitých zkratk a symbolů

Veličina	Symbol	Jednotka
Kinetická energie	E_k	[J]
Moment setrvačnosti	I	[kg.m ²]
Úhlová rychlost	ω	[rad/s]
Instalovaný příkon	P_i	[kW]
Soudobý příkon	P_s	[kW]
Soudobost	β	[-]
Průměrný čas použití v letním období za 1 den	t_l	[h]
Průměrný čas použití v zimním období za 1 den	t_z	[h]
Celková spotřeba v letním období za den	E_l	[MWh]
Celková spotřeba v zimním období za den	E_z	[MWh]
Celková spotřeba v letním období	E_{cl}	[MWh]
Celková spotřeba v zimním období	E_{cz}	[MWh]
Celková spotřeba za rok	E_r	[MWh]
Celková spotřeba za rok bez el. vytápění	E_{r2}	[MWh]
Celková spotřeba za rok bez el. vytápění a ohřevu TUV	E_{r3}	[MWh]
Celková spotřeba v letním období bez ohřevu TUV	E_{cl2}	[MWh]
Množství dopadajícího záření na jižně orientovanou plochu pod úhlem 40°	E_p	[kWh/m ² /den]
Průměrná denní výroba el. energie	E_d	[kWh/m ²]
Průměrná měsíční výroba el. energie	E_m	[kWh/m ²]
Napětí	U	[V]
Kapacita akumulátoru	C	[Ah]
Energie akumulátoru	E	[kWh]
Spotřeba osvětlení a běžných spotřebičů za den v letním období	E_{n1}	[kWh]
Spotřeba osvětlení a běžných spotřebičů za den v zimním období	E_{n2}	[kWh]
Čas napájení běžných spotřebičů z plného nabití	t_s	[Dny]
Čas nabíjení akumulátoru	t_n	[Dny]
Čas nabíjení v letním období	t_1	[Dny]
Čas nabíjení v zimním období	t_2	[Dny]

Čas napájení běžných spotřebičů z plného nabití v letním období	t_3	[Dny]
Čas napájení běžných spotřebičů z plného nabití v zimním období	t_4	[Dny]
Celková spotřeba objektu	S_1	[kWh]
Spotřeba bez elektrického vytápění	S_2	[kWh]
Spotřeba bez elektrického vytápění a ohřevu TUV	S_3	[kWh]
Výkon potřebný pro pokrytí nejnižšího stupně spotřeby	P	[kWp]
Výkon ostrovní fotovoltaické elektrárny 4680 kWp	P_f	[kWp]
Energie vyrobená v letním období za 1 den ostrovní fotovoltaickou elektrárnou 4680 kWp	E_{l2}	[kWh]
Návratnost	n	[Roky]
Cena jednotlivých systémů	p_n	[Kč]
Cena energie za 1 kWh	c	[Kč]
Energie vyrobená daným systémem za 1 rok	E_1	[kWh]

Zkratka	Význam
AA-CAES	Advaned-adiabatic CAES - vylepšená-adiabatická akumulace stlačeného vzduchu
CAES	Compressed air energy storage - akumulace pomocí stlačeného vzduchu
ČR	Česká republika
EVA	Etylen-vinyl-acetát
Li-ion	Lithium iontový akumulátor
OZE	Obnovitelné zdroje energie
PVGIS	Photovoltaic Geographical Information System - systém pro určení dopadajícího slunečního záření a pro předpokládanou výrobu energie
RD	Rodinný dům
TUV	Teplá užitková voda
UPS	Uninterruptible power supply - zdroj nepřerušovaného napájení